
COMPOSTS QUE ES PRODUEIXEN A CATALUNYA: CARACTERITZACIÓ I VIABILITAT DEL SEU ÚS COM A SUBSTRAT

Rafaela Cáceres, Conrad Cunill i Oriol Marfà

Gestió Integral de Residus Orgànics (GIRO), Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA)

REBUT: 27 de novembre de 2014 - ACCEPTAT: 10 de desembre de 2014

RESUM

A Catalunya es produeixen quantitats considerables de compost. Una de les aplicacions d'aquests productes és la del seu ús en barreges de substrats. Aquest estudi pretén caracteritzar diferents tipologies de compost provinents de diferents plantes de compostatge de Catalunya. Les tipologies que s'han considerat són: el compost de la fracció orgànica dels residus municipals, el compost de residus vegetals de jardineria, el compost d'escorça de pi (o a base d'escorça) i el compost de fems. Se n'han determinat les propietats físiques, fisicoquímiques, químiques i biològiques.

Els resultats mostren que les propietats físiques dels diferents materials són prou adequades. Les propietats fisicoquímiques (pH i salinitat) són bastant limitadores per a l'aplicació del compost que es pretén. A més, la composició iònica de l'extracte aquós dels materials és, sovint, desequilibrada pel que fa als macronutrients principals (N, P i K).

Els residus vegetals de jardineria compostats amb matèries primeres riques en nitrogen poden ser un material amb possibilitats reals de ser incorporats de manera habitual en barreges per a la preparació de substrats.

PARAULES CLAU: fracció orgànica dels residus municipals, residus vegetals de jardineria, escorça de pi, fems.

COMPOST PRODUCIDOS EN CATALUÑA: CARACTERIZACIÓN Y VIABILIDAD DE SU USO COMO SUSTRATO

RESUMEN

En Cataluña se producen cantidades considerables de compost. Una de las aplicaciones de estos productos es su uso en mezclas de sustratos. Este estudio tiene como objetivo caracterizar diferentes tipologías de compost de diferentes plantas de compostaje de Cataluña. Las tipologías que se han considerado son: el compost de la fracción orgánica de los residuos municipales, el compost de residuos vegetales de jardinería, el compost de corteza de pino (o a base de este material) y el compost de estiércol. Se han determinado sus propiedades físicas, fisicoquímicas, químicas y biológicas.

Los resultados muestran que las propiedades físicas de los diferentes materiales son adecuadas. Las propiedades fisicoquímicas (pH y salinidad) son bastante limitantes para la aplicación que se persigue. Además, la composición iónica del extracto acuoso de los materiales suele ser desequilibrada respecto a los macronutrientes principales (N, P y K).

Los residuos vegetales de jardinería compostados con otras materias primas ricas en nitrógeno podrían ser un material con posibilidades reales de ser incorporados de forma habitual en mezclas para la preparación de sustratos.

PALABRAS CLAVE: fracción orgánica de los residuos municipales, residuos vegetales de jardinería, corteza de pino, estiércol.

COMPOST PRODUCED IN CATALONIA: CHARACTERIZATION AND USE IN GROWING MEDIA MIXTURES

ABSTRACT

Large amounts of compost are produced in Catalonia. The use of compost in substrate mixtures is a potential use of this material. The main goal of this study is to characterize different kinds of compost produced in composting plants in Catalonia. The following types have been considered: municipal waste organic fraction compost, green waste compost, pine bark compost (or compost based on pine bark) and manure compost. Physical, physico-chemical, chemical and biological properties were examined.

Results show that the physical properties of the different materials are appropriate. However, the physico-chemical properties (pH and salinity) showed inadequate values for the specific use of compost as a substrate.

Moreover, the ionic composition of the aqueous solution with respect to its main nutrients (N, P and K) is unbalanced.

If composted properly with other supplementary materials rich in nitrogen, green waste would be a suitable product to use in substrate mixtures.

KEYWORDS: organic fraction of municipal waste, green waste, pine bark, manure.

1. INTRODUCCIÓ

A Catalunya, com a molts d'altres països del món occidental, es produeixen quantitats importants de subproductes orgànics que són susceptibles de ser emprats en agricultura. Mitjançant processos de transformació de la matèria orgànica, fonamentalment el compostatge, s'obtenen composts que tenen una qualitat agronòmica variable en funció de les matèries primeres de les quals provenen i, en part, del procés que s'ha seguit per obtenir els productes finals.

Segons dades de l'Agència de Residus de Catalunya, el potencial de producció de compost a Catalunya s'estima en unes 240.000 tones anuals (Giménez *et al.*, 2005), exceptuant els composts que es poden obtenir després de la transformació de dejeccions ramaderes.

L'ús del compost com a substrat o per a preparar substrats per al cultiu en contenidor constitueix una de les opcions d'aprofitament agrícola dels subproductes orgànics. Al contrari del que succeeix quan s'aplica el compost en el sòl, l'ús del compost com a substrat implica que aquest producte ha d'entrar en contacte directe, en gran manera, amb les arrels. Per tant, qualsevol propietat desfavorable del material pot afectar directament el sistema radicular i, de retruc, el creixement vegetal. En conseqüència, els composts que s'incorporen en barreges de substrats han de reunir determinades característiques pel que fa a les seves propietats físiques, fisicoquímiques, químiques i biològiques.

Gràcies a les investigacions dutes a terme en els darrers anys, particularment mitjançant el finançament d'un projecte de transmissió de coneixement a l'empresa (TRACE) que, a més, va rebre el suport de diferents entitats del país, es va fer un treball l'objectiu del qual va ser estudiar la viabilitat de l'aprofitament de diferents tipologies de compost que es produeixen a Catalunya. L'estudi comprenia des de la caracterització de tipologies de composts produïts en diferents plantes de compostatge fins a l'experimentació duta a terme en determinats vivers del país per a comprovar la viabilitat d'aquesta aplicació.

L'objecte d'aquest article és difondre els resultats obtinguts en la primera part d'aquest estudi, consistent a caracteritzar diversos composts produïts a

Catalunya amb relació a la seva possible aplicació com a substrats o medis de cultiu fora del sòl natural.

2. MATERIALS I MÈTODES

2.1. Selecció de materials

Es van identificar quatre grans grups de composts susceptibles de ser emprats com a substrats o components en la preparació de substrats.

En primer lloc, es va considerar el compost de la fracció orgànica dels residus municipals o FORM (C-FORM), atesa la magnitud de la seva producció, així com pel fet que d'aquest material se'n produeix arreu del territori. Aquest compost s'obté, normalment, mitjançant el cocompostatge de dues matèries primeres: les restes de menjar d'origen domiciliari amb restes vegetals d'esporga que, normalment, provenen de jardineria municipal o també domèstica.

En segon lloc, es va creure molt interessant d'incloure en l'estudi el compost de residus vegetals de jardineria (C-RVJ); sovint, els C-RVJ es produeixen a les mateixes plantes de FORM ja que, com s'ha avançat, és un dels materials que es cocomposten i aquestes plantes tenen una línia de producció d'aquest tipus de compost. Però, al nostre país, també hi ha plantes de compostatge de titularitat privada que només tracten RVJ.

En tercer lloc, es va considerar interessant mostrejar materials que són d'ús habitual en la fabricació de substrats, i que també es composten abans de ser utilitzats. És el cas del compost d'escorces de pi o materials preparats en el qual intervé compost d'escorça (C-ESC). Els C-ESC són àmpliament utilitzats com a substrats o components de substrats en la producció de plantes en tot tipus de vivers (Fonteno, 1996); tot i així, la substitució del C-ESC com a substrat comença a ser considerada atès l'alt poder calorífic de l'escorça de pi, que obre la possibilitat d'emprar-la com a combustible en plantes de biomassa.

Finalment, també es van mostrejar alguns composts de fems (C-FEMS) que són subproductes àmpliament disponibles en tot el territori. Tot i que les seves propietats no són del tot favorables pensant en l'aplicació com a substrat del compost que se'n deriva, alguns materials com la fracció sòlida dels purins (FSP) tenen característiques adequades per a l'aplicació que ens ocupa (Raviv *et al.*, 2005; Cáceres *et al.*, 2006; Zhang i He, 2006).

2.2. Mostreig dels composts

Es van mostrejar set composts de FORM (C-FORM) de plantes de compostatge de FORM recollida selectivament que tenien diferents nivells de

qualitat, pel que fa a la presència més o menys gran d'impropis. Inicialment, es van mostrejar els materials amb uns nivells d'impropis més baixos però, més endavant, veient que la representativitat d'aquestes plantes en el conjunt de les plantes de FORM era molt baixa, es va optar per ampliar el ventall d'instal·lacions. En algunes de les plantes de FORM també es van mostrejar composts de RVJ, a part d'haver-ho fet també en d'altres plantes que tracten exclusivament RVJ. Una planta de fabricació de substrats va ser objecte del mostreig de materials a base d'escorça (sola o barrejada amb restes vegetals de jardineria). Finalment, es van mostrejar dos composts a base de fems de vaquí en una planta de compostatge d'aquest material; també, es va considerar el compost de fracció sòlida del purí de porcí compostat en la planta pilot de compostatge del centre de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA) de Cabrils (Maresme).

La caracterització analítica es va fer als laboratoris del centre de Cabrils de l'IRTA. Cada mostra es va analitzar per triplicat i, per tant, se'n va calcular la mitjana i l'error (e) corresponent a partir del nombre de repeticions (n), la desviació estàndard (s) i un factor ω dependent de n ($e = \omega \cdot s / (n - 1)^{1/2}$). De cada compost se'n va analitzar una sola mostra representativa.

2.3. Mètodes fisicoquímics

Per determinar el pH i la conductivitat elèctrica (CE) es va fer servir el mètode d'obtenció d'extracte aquós en la proporció volumètrica 1:1,5 (mL mostra / mL aigua); la mostra volumètrica humida es va obtenir amb un mesurador de 500 mL, sobre el qual es va aplicar una pressió de $10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ (Cáceres, 2003). El pH es va mesurar amb un elèctrode de pH Ross Ultra® Triode of pH/ATC (marca Thermo Scientific Orion, Nijkert, Holanda) connectat a un analitzador de ions (model EA 920, Orion Research Inc., Beverly, MA, EUA), i la CE amb un conductímetre (GLP 31, Crison Instruments, SA, Barcelona).

2.4. Mètodes químics i biològics

Els mètodes químics comprenien els relacionats amb la matèria orgànica i la seva qualitat (matèria orgànica [MO], nitrogen orgànic [N_{org}], grau d'estabilitat de la matèria orgànica [GE], nitrogen no hidrolitzable [N_{nh}]). També es va determinar la concentració iònica dels macronutrients principals (nitrats [NO_3^-], fòsfor total soluble [P_i] i potassi soluble [K^+]) en un extracte aquós del compost. La taula 1 recull les metodologies emprades per a determinar aquests paràmetres.

TAULA I. Mètodes emprats per a la determinació dels paràmetres químics i biològics (índex de germinació [I_g])

Paràmetre	Mètode	Referències
MO	Gravimetria indirecta per calcinació de mostra seca.	Huerta <i>et al.</i> , 2010
N _{org}	Mètode Kjeldahl i quantificació amb elèctrode selectiu d'amoni connectat a un analitzador de ions (model EA 920, Orion Research Inc., Beverly, MA, EUA).	Huerta <i>et al.</i> , 2010
GE	Digestió en fred i calent amb àcid sulfúric (72 %) i gravimetria indirecta. Expressat en percentatge sobre matèria orgànica.	Huerta <i>et al.</i> , 2010
N _{nh}	Digestió en fred i calent amb àcid sulfúric (72 %), mètode Kjeldahl del residu i destil·lació.	Huerta <i>et al.</i> , 2010
N- NH ₄ ⁺	Extracte amb KCl 2 M i quantificació amb elèctrode selectiu d'amoni connectat a un analitzador de ions (model EA 920, marca Orion Research Inc., Beverly, MA, EUA).	Cáceres, 2003
Concentració de nutrients en solució aquosa del compost	Extracte aquós 1:1,5 (v/v) (vegeu el punt 2.3) i quantificació de nitrats per cromatografia iònica (equip 761 Compact IC, Metrohm AG, Herisau, Suïssa) i el P _i i K ⁺ per ICP (equip <i>inductively coupled plasma-optical emission spectrometer</i> ICP-OES-730-ES, marca Varian Inc., Santa Clara, CA, EUA).	Cáceres, 2003
Relació C/N _{org}	Càlcul $C/N_{org} = 0,58 \cdot MO (\%) / N_{org}$	Jolanum i Towprayoon, 2010
Índex de germinació (I_g)	Índex que quantifica la proporció de germinació i elongació de les radicles d'enciam (<i>Lactuca sativa</i>) en extractes aquosos dels composts respecte d'un control amb aigua destil·lada.	Cáceres, 2003

Font: Elaboració pròpia.

2.5. Mètodes físics

Es van determinar els paràmetres següents: densitat real, densitat aparent, paràmetres característics de les relacions aire/aigua obtinguts a partir de la corba d'alliberament d'aigua del substrat (Boodt *et al.*, 1974; Martínez, 1992) (taula II). També es va mesurar la granulometria (o distribució percentual de partícules) i els paràmetres estadístics de la distribució granulomètrica (diàmetre geomètric mitjà de les partícules [d_g] i desviació estàndard de la mitjana geomètrica [σ_g]) (Orozco, 1995; Shirazi i Boersma, 1984). La distribució de les partícules es relaciona amb la porositat dels materials i, per tant, les relacions aire/aigua del substrat; així, per exemple, les partícules més petites de 0,5 mm afavoreixen la retenció d'aigua i les més grans afavoreixen l'aireig del substrat.

TAULA II. Paràmetres físics i metodologia emprada

Paràmetre	Definició	Referències
Densitat real (D_r)	Relació entre la massa del material sòlid sec i el volum real ocupat per les partícules que el formen, excloent-hi l'espai porós entre partícules.	Martínez, 1992
Densitat aparent (D_{ap})	Relació entre la massa del material sòlid sec i el volum que ocupa en unes condicions determinades, incloent-hi l'espai porós entre les partícules.	Boodt <i>et al.</i> , 1974 Martínez, 1992
Porositat total (EPT)	Volum total del substrat no ocupat per partícules respecte del volum aparent total. Es calcula a partir de la densitat real i de la densitat aparent.	Martínez, 1992
Capacitat d'aireig (CA), en percentatge	Diferència entre l'EPT i el percentatge volumètric d'aigua a 10 cm de columna d'aigua (c. a.).	Corba d'alliberament d'aigua (Boodt <i>et al.</i> , 1974)
Aigua fàcilment disponible (AFD), en percentatge	Volum d'aigua alliberada pel substrat quan la tensió augmenta de 10 a 50 cm de c. a.	Corba d'alliberament d'aigua (Boodt <i>et al.</i> , 1974)
Aigua de reserva (AR), en percentatge	Volum d'aigua alliberada pel substrat quan la tensió augmenta de 50 a 100 cm de c. a.	Corba d'alliberament d'aigua (Boodt <i>et al.</i> , 1974)
Aigua difícilment disponible (ADD), en percentatge	Volum d'aigua retingut pel substrat a 100 cm de c. a.	Corba d'alliberament d'aigua (Boodt <i>et al.</i> , 1974)

Font: Martínez, 1992; Boodt *et al.*, 1974.

3. RESULTATS I DISCUSSIÓ

3.1. Propietats fisicoquímiques

pH

El pH és un dels factors que més limita la utilització dels composts com a substrats, ja que solen presentar valors alts que determinen condicions d'alcalinitat no favorables per a la majoria de plantes (García de la Fuente *et al.*, 2007). L'elevat pH dels substrats té efectes negatius sobre la disponibilitat per a les plantes de determinats nutrients com el fòsfor, el ferro, el manganès o el bor (Papafotiou *et al.*, 2004).

Els resultats mostren que el pH dels set C-FORM analitzats depassen els valors que es consideren adequats (5,2-6,3) per a l'ús de qualsevol material com a substrat (figura 1) (Bunt, 1988; Handreck i Black, 2005). Els nivells determinats en els composts es troben dins d'un interval ampli (7,5-9,0).

També els C-RVJ presenten valors de pH alts i inadequats, com d'altres autors han mostrat per a aquest tipus de materials (Benito *et al.*, 2006).

Els C-ESC han mostrat uns valors d'alcalinitat més moderats, com s'ha descrit per a aquesta tipologia de compost (Burés, 1997).

Quant als C-FEMS, es constata una gran variabilitat entre els diferents materials. Normalment, aquests productes tenen una alcalinitat elevada (Marfà *et al.*, 1998), com es va donar en dos dels materials, però el tercer compost analitzat presenta un pH força adequat ja que es va acidificar de manera natural gràcies a la nitrificació que va tenir lloc durant el compostatge (Cáceres *et al.*, 2006); aquest darrer material es va produir en la planta de compostatge de Cabrils.

Salinitat (conductivitat elèctrica)

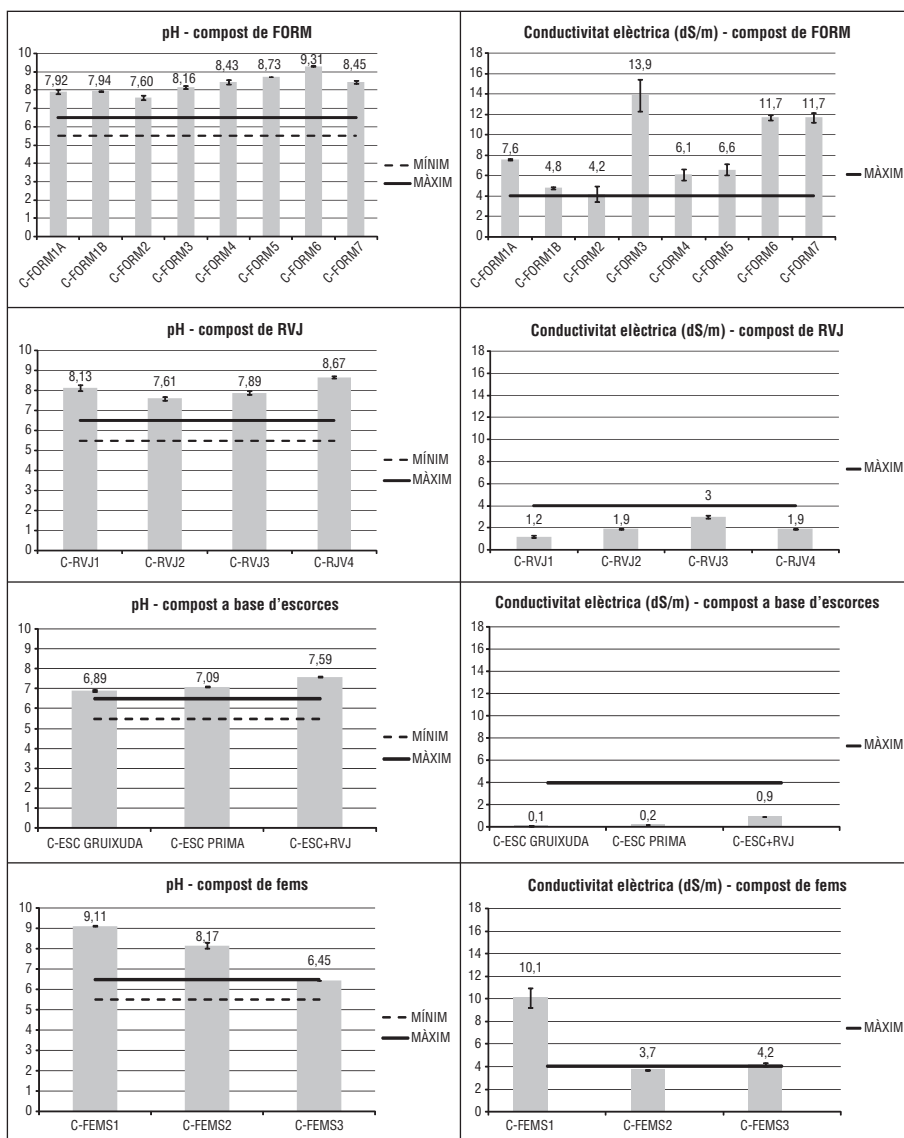
Els resultats de conductivitat elèctrica (CE) dels C-FORM mostren una gran variabilitat (figura 1); alguns dels composts mostren nivells de salinitat totalment incompatibles amb el seu ús com a substrat, ja que depassen els $10 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. D'altres materials se situen prop del nivell de $4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ que s'ha establert com a límit màxim acceptable per a l'ús del compost com a substrat. Cal dir que aquest nivell de salinitat ja és relativament alt per a l'aplicació que es persegueix; així, Abad *et al.* (2001) estableixen el límit de $0,5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$; però també s'ha de tenir present que, normalment, els composts —com d'altres materials— no s'utilitzen com a components únics en la preparació dels substrats comercials. La salinitat pot limitar la proporció de compost en la formulació d'un substrat (Pérez-Murcia *et al.*, 2006). També cal tenir en compte que la salinitat inicial dels substrats es pot reduir aplicant regs inicials per rentar les sals excedentàries (Bunt, 1988; Papafotiou *et al.*, 2004; Cáceres, 2003) i que els nivells de salinitat limitants depenen, en gran manera, de l'espècie cultivada.

Pel que fa als C-RVJ, es detecta un nivell de salinitat moderadament elevat —per sota de $3 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ — i, per tant, compatible per a incorporar-los en la preparació de substrats (figura 1). Benito *et al.* (2006) van determinar valors similars en aquest mateix tipus de compost. No obstant això, aquest paràmetre sol assolir nivells molt variables en funció de si la planta de compostatge és o no coberta, ja que episodis eventuais de pluja poden rentar el compost.

Com era esperable, els C-ESC presenten uns nivells de CE molt baixos i molt favorables per a la seva aplicació com a substrat; la CE per a aquest tipus de compost varia entre 0,1 i $0,6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ (Burés, 1997).

Els composts a base de fems (C-FEMS) presenten una variabilitat alta pel que fa a la CE (figura 1). El compost produït en la planta pilot de compostatge de l'IRTA a Cabrils (Maresme) en presentava un nivell moderat, ja que, d'una banda, es tractava de la FSP, que, com s'ha dit, presenta una salinitat molt inferior als fems sòlids; d'una altra banda, aquesta FSP es va cocompos-

FIGURA 1. Propietats fisicoquímiques (pH i conductivitat elèctrica, CE) dels diferents tipus de composts



FORM: fracció orgànica dels residus municipals; RVJ: residus vegetals de jardineria.

FONT: Elaboració pròpia.

tar amb restes vegetals de jardineria, en part de naturalesa lignocel·lulòsica, fet que permet una dilució de la salinitat per la barreja dels dos materials (Cáceres *et al.*, 2006).

3.2. Propietats químiques

Matèria orgànica i nitrogen orgànic

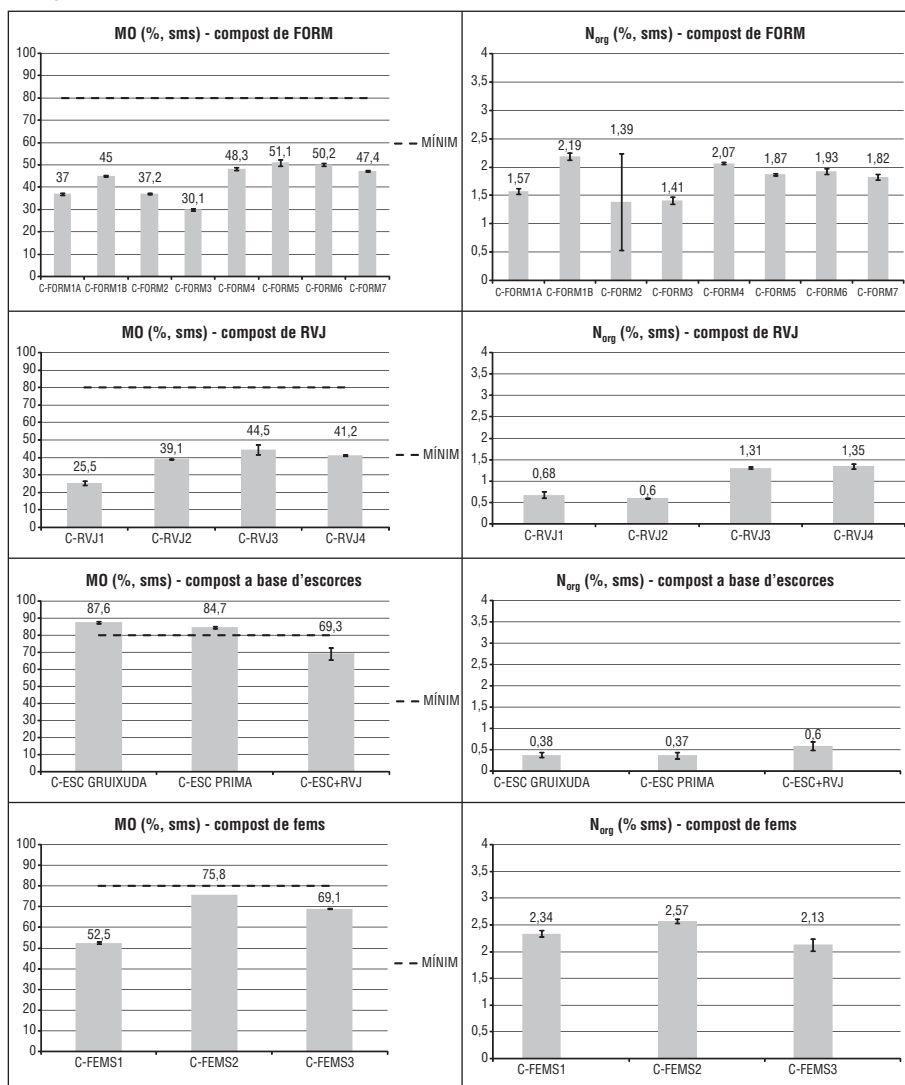
La matèria orgànica total (MO) i el nitrogen orgànic (N_{org}) són paràmetres que informen sobre la naturalesa dels subproductes orgànics. En cas que siguin productes ja compostats, el nivell de MO indica el grau de mineralització que ha experimentat el compost o la seva possible contaminació amb restes de sòl o d'altres impureses que s'hagin incorporat durant el procés de separació, recollecció o compostatge. Així mateix, el contingut de N_{org} sol explicar la naturalesa més o menys proteica del subproducte orgànic, i també se'n pot deduir, en certa manera, el grau de mineralització, ja que, durant el compostatge, el valor d'aquest paràmetre sol augmentar a causa de l'increment relatiu dels nutrients quan el carboni que forma part de les estructures orgàniques passa a CO_2 . En general, és desitjable que els materials que formen part de barreges de substrats tinguin valors alts d'aquests paràmetres; Abad *et al.* (2001) suggereixen valors mínims de 80 % per a la MO.

Els C-FORM presentaven, en general, un contingut de MO variable i, en general, de nivell intermedi (al voltant de 50 % o inferior); aquests resultats poden tenir diferents causes. Alguns dels composts, visualment, presentaven impureses com ara vidres o plàstics; aquests, especialment els vidres, que tenen una densitat alta, contribueixen a augmentar la fracció inorgànica del material. En d'altres casos, el material estava visiblement mineralitzat; és a dir, el seu procés de compostatge havia estat força perllongat. El N_{org} també va ser relativament variable entre els materials, però molts presentaven un contingut pròxim a l'1,5 %, nivell que es pot considerar normal per a aquest tipus de material (Benito *et al.*, 2006).

La MO dels residus vegetals de jardineria va ser molt baixa, així com el percentatge de N_{org} . La literatura refereix valors lleugerament superiors per a aquest tipus de compost (Benito *et al.*, 2006). Les possibles causes del baix percentatge de MO ja s'han descrit en l'apartat corresponent al C-FORM. Pel que fa al N_{org} , s'ha de tenir en compte que la composició dels RVJ pot ser molt variable: des de components molt lignificats fins a petites branques més o menys llenyoses o bé fraccions tendres (fulles, brots...). En general, la contribució de materials de naturalesa proteica sol ser relativament baixa i, per aquest motiu, es tracta de materials poc nitrogenats.

Els C-ESC presentaven continguts de MO alts, en general. Tot i que són materials el procés de compostatge dels quals sol ser perllongat (més de sis mesos), la matèria orgànica està força lignificada i per això, tot i que durant

FIGURA 2. Percentatge de matèria orgànica total (MO) i nitrogen orgànic (N_{org}) dels diferents tipus de composts



FORM: fracció orgànica dels residus municipals; RVJ: residus vegetals de jardineria; sms: sobre matèria seca.

FONT: Elaboració pròpia.

el compostatge el material evoluciona, no es mineralitza excessivament. Per contra, el contingut de nitrogen del C-ESC és extremament baix, per la qual cosa, abans de la plantació, s'ha de fer una fertilització de fons adequada i el compost estar suficientment estabilitzat per tal que no doni lloc a fenòmens d'immobilització del nitrogen (Tyler *et al.*, 1993). S'ha de tenir present que les plantes que creixen en contenidors tenen limitacions a causa del petit volum en què es desenvolupen i, per tant, el proveïment de nitrogen és molt limitat (Bunt, 1988).

Els C-FEMS van presentar continguts moderats de MO, i va ser superior el contingut del material produït en la planta pilot de compostatge de l'IRTA a Cabriels. Pel que fa a la concentració de N_{org} , es registraren els valors més elevats de tots els composts mostrejats, atesa la naturalesa proteica d'aquests materials.

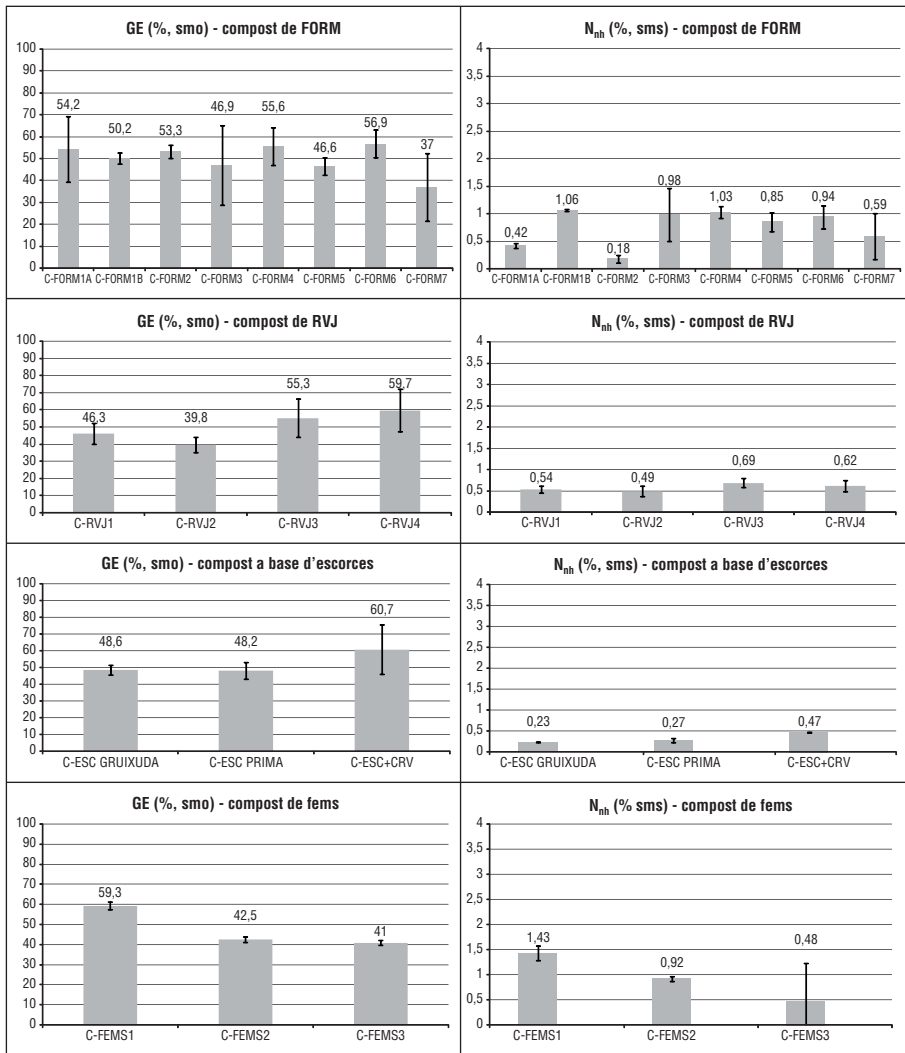
Grau d'estabilitat i nitrogen no hidrolitzable

El grau d'estabilitat (GE) informa de la qualitat de la matèria orgànica pel que fa a l'estabilitat. Valors alts mostren que la matèria orgànica és difícilment degradable, probablement, perquè el producte ja ha experimentat un llarg procés de compostatge o envelliment. Per al cas de l'aplicació del compost com a substrat, GE alts —en comparació dels inicials— garanteixen que els substrats no evolucionin un cop són al contenidor on es cultiven. Al contrari, si el substrat continués amb la seva descomposició en condicions de cultiu, podria requerir els nutrients i l'oxigen que també necessiten les plantes per a desenvolupar-se, i entrarien en competència els requeriments associats a l'estabilització de la matèria orgànica amb els inherents al creixement vegetal. El nitrogen no hidrolitzable (N_{nh}) informa del percentatge de nitrogen que forma part de compostos químics més estables i que, per tant, s'alliberarà lentament i estarà disponible per al cultiu a llarg termini. El N_{nh} també es pot considerar un indicador d'estabilitat del compost, ja que, com més proporció de nitrogen formi part de molècules orgàniques complexes, més evolucionat serà el compost.

Pràcticament tots els C-FORM van mostrar un GE superior al 45 % (figura 3). Des d'aquest punt de vista, es pot considerar que aquests materials tenen una estabilitat entre mitjana i alta. El N_{nh} es va situar per sota de l'1 %, excepte algun cas en el qual el percentatge era molt més baix. Per tant, es pot dir que aproximadament la meitat del nitrogen del C-FORM forma part de compostos orgànics molt estables i la resta del N_{org} estaria disponible a mitjà termini.

Els C-RVJ també presenten GE relativament alts, per sobre del 40 %, i el contingut de N_{nh} s'apropa al 0,5 %. Els C-ESC són els productes que van mostrar nivells de GE més alts (entre el 50 i el 60 %) i uns valors de N_{nh} molt baixos, d'acord amb els nivells també molt baixos de N_{org} que presentaven aquests materials. Els C-FEMS exhibeixen valors variables de GE (entre el 40

FIGURA 3. Grau d'estabilitat (GE) i nitrogen no hidrolitzable (N_{nh}) dels diferents tipus de composts



FORM: fracció orgànica dels residus municipals; RVJ: residus vegetals de jardineria; smo: sobre matèria orgànica; sms: sobre matèria seca.

Font: Elaboració pròpia.

i el 60 %), mentre que els valors de N_{nh} van ser molt alts, d'acord amb el percentatge alt de N_{org} d'aquest tipus de subproducte.

Nivell de fertilitat dels composts: nitrats (NO_3^-), P_i i K^+

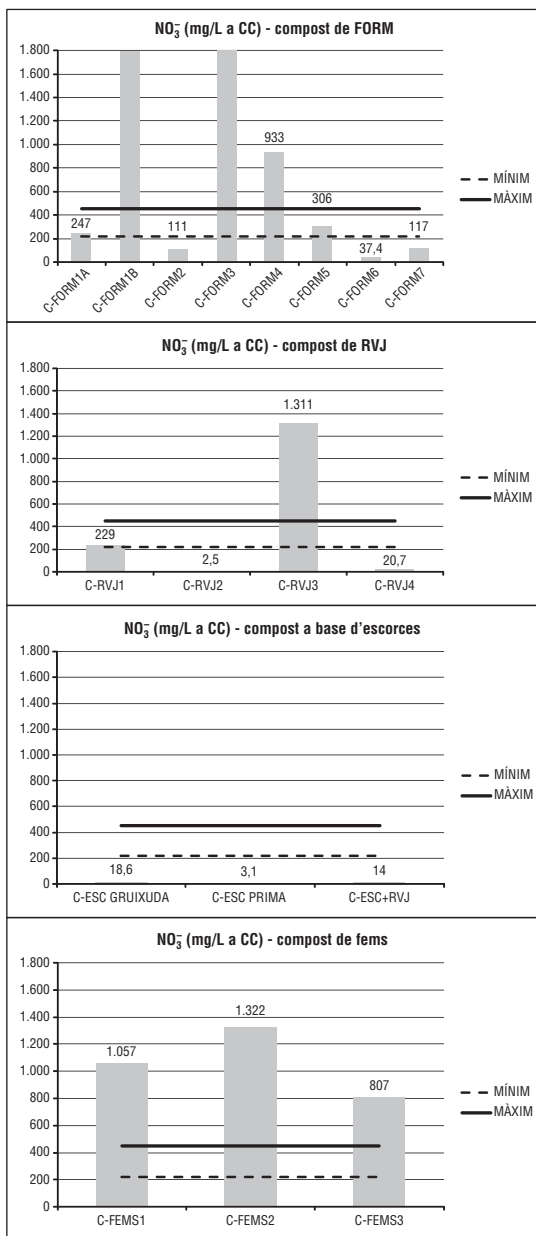
La composició iònica de la solució aquosa dels composts pel que fa als elements fertilitzants principals (N, P i K) és un dels paràmetres més importants per tal de preveure la fertilització dels substrats d'acord amb els requeriments dels cultius. Els nitrats, el K i el P dels substrats se solen determinar en un extracte aquós obtingut d'una mostra volumètrica. En aquest cas, a més, els resultats s'han expressat amb relació al contingut hídric que tenen aquests materials a capacitat de contenidor per tal de fer comparables aquests resultats amb els d'altres materials que tindran continguts hídrics diferents.

Pel que fa als nitrats, es pot comprovar la gran variabilitat que presenten els C-FORM respecte a aquest material (figura 4). Probablement, aquests composts hauran experimentat nivells diferents de nitrificació durant el compostatge, que, normalment, està relacionada amb el contingut nitrogenat de la matèria primera i la durada del procés, a part d'altres factors que hi poden influir (Cáceres *et al.*, 2006). Els C-RVJ poden presentar nivells més baixos de nitrats, depenent de l'origen concret de les restes vegetals, però, en algun cas, els nivells depassen els òptims aconsellables. En general, s'ha descrit que aquests materials tenen nivells baixos de nitrats, especialment en comparar-los amb d'altres composts de subproductes com els C-FORM o C-FEMS (Benito *et al.*, 2006). Els C-ESC van presentar nivells pràcticament nuls d'aquest paràmetre, atesa la naturalesa que tenen, i d'acord amb el que refereix la bibliografia (Burés, 1997); per tant, cal tenir en compte que aquest material s'ha de fertilitzar convenientment a l'inici del cultiu i/o aplicar-hi solució fertilitzant de manera continuada. Els composts de fems presenten nivells alts d'aquest paràmetre, que superen l'interval òptim recomanat per als substrats.

El nivell de P_i dels composts va ser molt feble en pràcticament tots els C-FORM, C-RVJ i C-ESC, mentre que els composts de fems van presentar nivells molt superiors als intervals recomanats (figura 5). Per contra, tots els materials analitzats a excepció dels C-ESC tenen unes concentracions de K^+ molt altes, i en destaquen els C-FORM i C-FEMS. La concentració elevada de K^+ respecte de nitrats o P_i en els C-RVJ ha estat descrita per d'altres autors (Benito *et al.*, 2006). Aquestes determinacions es van fer sobre un extracte aquós; això significa que els nutrients es troben dissolts en la fase aquosa del substrat i poden ser perduts per lixiviació amb molta facilitat (Tyler *et al.*, 1993).

D'aquests resultats es dedueix que els composts són materials heterogenis i llur aplicació com a substrat s'ha de restringir a alguns materials. Atesa la composició que tenen, algunes de les matèries primeres que han donat lloc als composts analitzats presenten característiques complementàries i es

FIGURA 4. Concentració de nitrats (NO_3^-) dels diferents tipus de composts

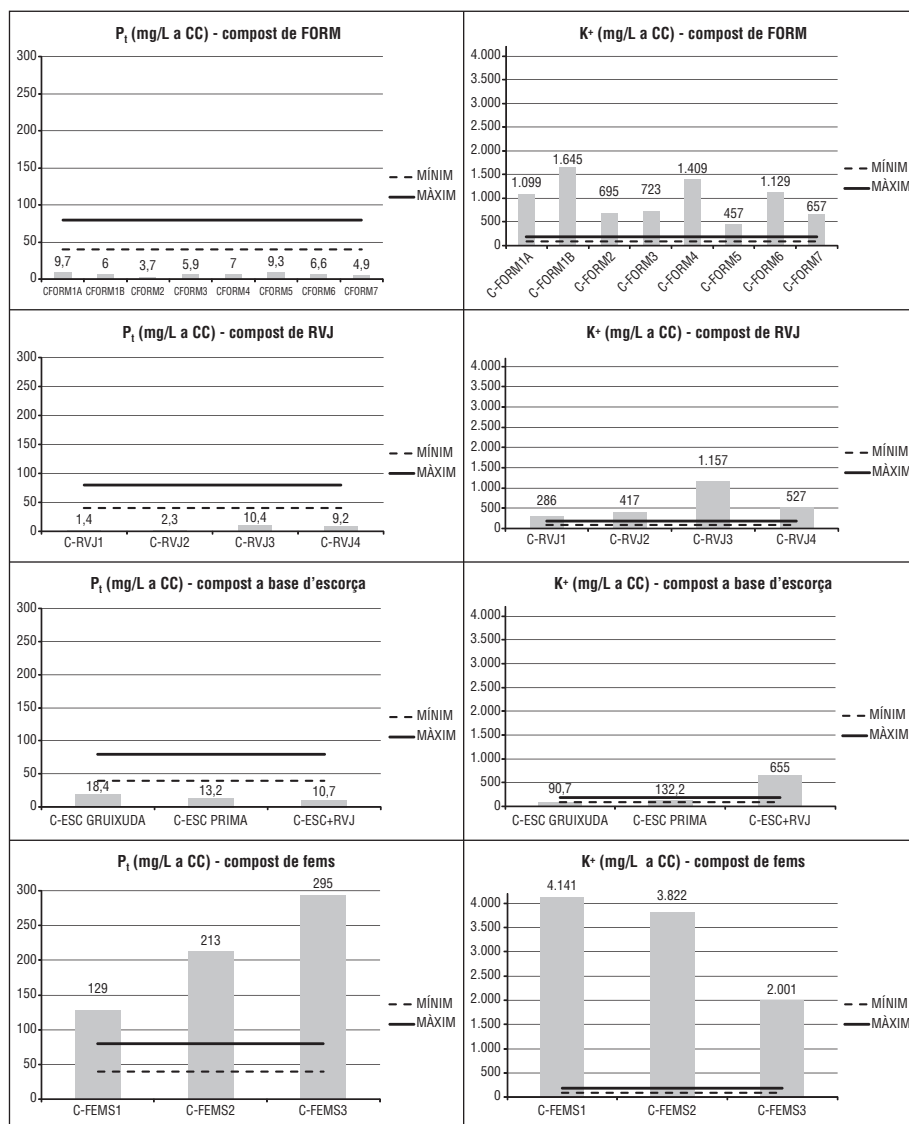


FORM: fracció orgànica dels residus municipals; RVJ: residus vegetals de jardineria.

NOTA: Les concentracions s'expressen en pes (mg) per unitat volumètrica (L) de substrat a capacitat de contenidor (CC).

FONT: Elaboració pròpia.

FIGURA 5. Concentració de fòsfor total (P_t) i potassi (K^+) solubles dels diferents tipus de composts



FORM: fracció orgànica dels residus municipals; RVJ: residus vegetals de jardineria.

NOTA: Les concentracions s'expressen en pes (mg) per unitat volumètrica (L) de substrat a capacitat de contenidor (CC).

FONT: Elaboració pròpia.

podrien cocompostar per tal d'obtenir productes més equilibrats i amb més possibilitats de ser emprats com a substrats.

3.3. Propietats físiques

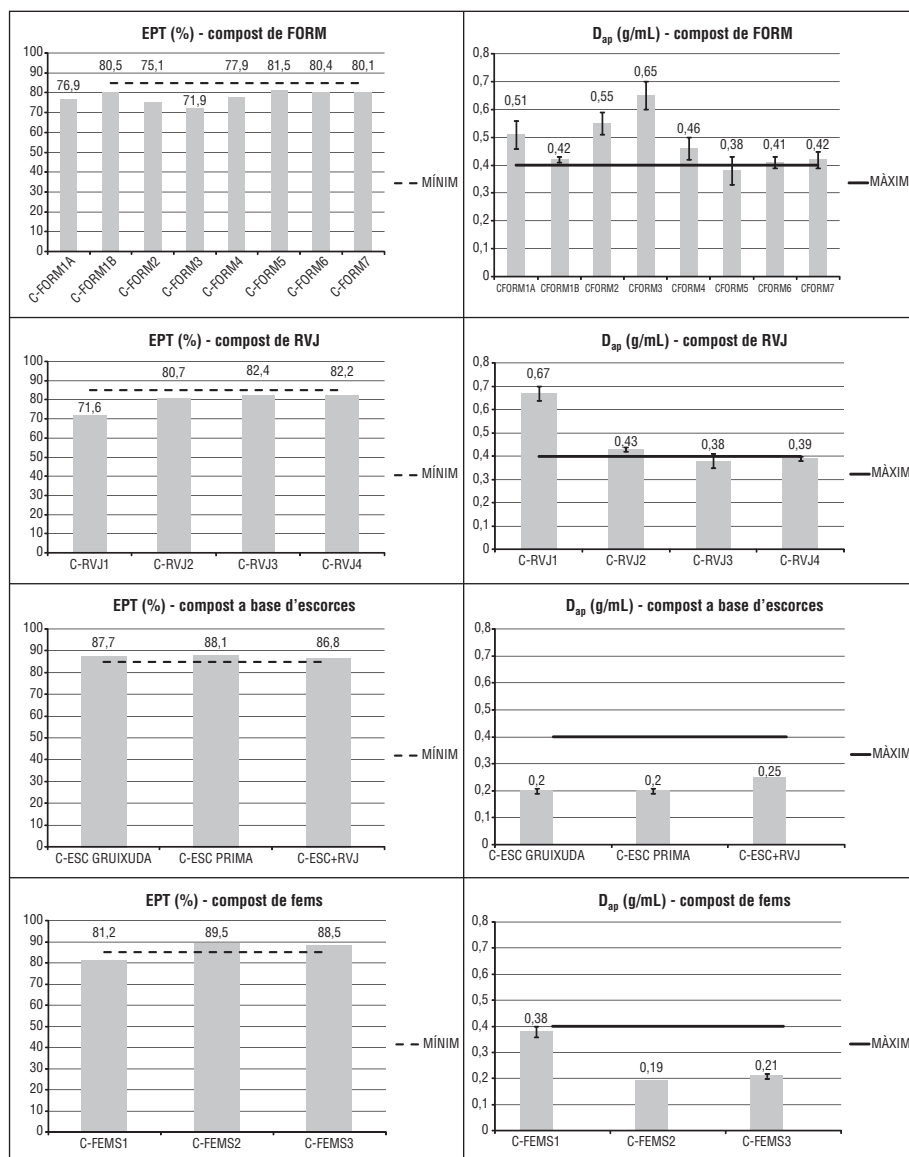
S'ha demostrat que les propietats físiques dels substrats, en especial les que tenen a veure amb la porositat, i les relacions aigua-aire del volum que poden explorar les arrels, determinen en gran manera el desenvolupament de les plantes cultivades (Bilderback *et al.*, 2005).

Espai porós total i densitat aparent

L'espai porós total (EPT) és un paràmetre físic important que cal considerar en els materials que es poden fer servir com a medi de cultiu. S'ha descrit que, com a mínim, el 85 % del volum dels substrats hauria d'estar disponible per a la retenció d'aigua o bé per a l'aïreig del substrat (Boodt, 1975; Abad *et al.*, 2001). Els C-FORM presenten porositats entre el 70 % i el 82 % (figura 6); tot i no tractar-se de valors òptims, són relativament acceptables per a l'aplicació dels composts com a substrat i per això aquests materials s'haurien de barrejar amb d'altres per millorar-ne l'EPT. Els resultats per als C-RVJ també són similars. Per contra, els C-ESC presenten, en tots els casos, porositats per sobre del 85 % i, per tant, dins de l'interval considerat òptim per a l'aplicació com a substrat (Burés, 1997). S'ha vist que els C-FEMS també poden tenir valors d'EPT entre òptims i acceptables. En conjunt, els valors obtinguts són els habituals en medis de cultiu orgànics (75-85 %) (Fonteno, 1996).

La densitat aparent (D_{ap}) del substrat és un paràmetre important que cal considerar, ja que, a part d'altres consideracions relatives a la hidrologia dels substrats, la baixa densitat del substrat permet la manipulació adequada dels contenidors; aquest aspecte és especialment rellevant en tests relativament grans. D'aquesta manera, es considera que els valors han de trobar-se per sota de $0,4 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, encara que alguns autors estableixen el valor ideal de D_{ap} en $0,215 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$. Valors massa baixos d'aquest paràmetre comportarien problemes si els substrats s'empressin en vivers a l'exterior ubicats a zones amb vents forts, pels problemes de maneig que comportaria la caiguda dels contenidors i per les mesures addicionals que s'haurien d'adoptar, com ara la instal·lació d'elements de suport o tallavents. En general, els valors de D_{ap} del C-FORM són relativament alts i superiors, en molts casos, al llindar esmentat (figura 6). Els C-RVJ presenten valors prou adequats d'aquest paràmetre amb l'excepció d'un cas en què és superior al límit establert. Els C-ESC prenen valors al voltant de $0,2 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, el mateix que succeeix amb alguns dels C-FEMS, tal com descriu la bibliografia (Fonteno, 1996). En aquests casos, la D_{ap} s'atansa als valors que presenten les torbes rosses d'esfagne (Boodt, 1975; Handreck i Black, 2005).

FIGURA 6. Espai porós total (EPT) i densitat aparent (D_{ap}) dels diferents tipus de composts



FORM: fracció orgànica dels residus municipals; RVJ: residus vegetals de jardineria.

Font: Elaboració pròpia.

Capacitat d'aireig

La capacitat d'aireig del substrat (CA) s'associa al percentatge d'espai porós disponible que possibilita la respiració a escala del sistema radicular de les plantes en condicions de capacitat de contenidor. Es recomanen valors per sobre del 10 %, tot i que molts autors recomanen valors més alts (20-30 %) (Abad *et al.*, 2001). Fins i tot, en la pràctica, són admesos valors superiors per a evitar la humectació excessiva del substrat i, per tant, prevenir condicions favorables per al desenvolupament de malalties originades per fitopatògens radiculars o vasculars. Tant els C-FORM com els C-RVJ mostren valors de CA per sota del 30 % (figura 7); en general, es tracta de valors prou adequats. Per contra, els valors de CA dels C-ESC se situen en l'interval del 30-50 % en funció de les condicions i de la granulometria dels composts. Els C-FEMS van mostrar valors molt variables.

Aigua fàcilment disponible i aigua de reserva

L'aigua fàcilment disponible (AFD) del substrat informa sobre la proporció d'aigua que està continguda en els porus de diàmetre comprès entre 100 i 300 μm , és a dir, els porus de mida mitjana de l'espai porós dels substrats. La bibliografia recomana valors dins de l'interval del 20-30 %. Tant per al cas dels C-FORM com per al cas dels C-RVJ, els valors d'AFD se situen pràcticament en tots els casos lleugerament per sota del límit inferior recomanat. Per als C-ESC i C-FEMS, els valors de totes les mostres no assoleixen el nivell mínim de l'interval indicat (figura 8). Aquesta tendència es repeteix per al següent paràmetre mesurat, l'aigua de reserva (AR), amb valors generalment febles (figura 8). Per augmentar els valors de retenció d'aigua del compost d'escorça es poden addicionar materials amb AFD més elevats, ja que això faria possible, a més, la millora de l'absorció de nutrients per part de la planta cultivada (Tyler *et al.*, 1993).

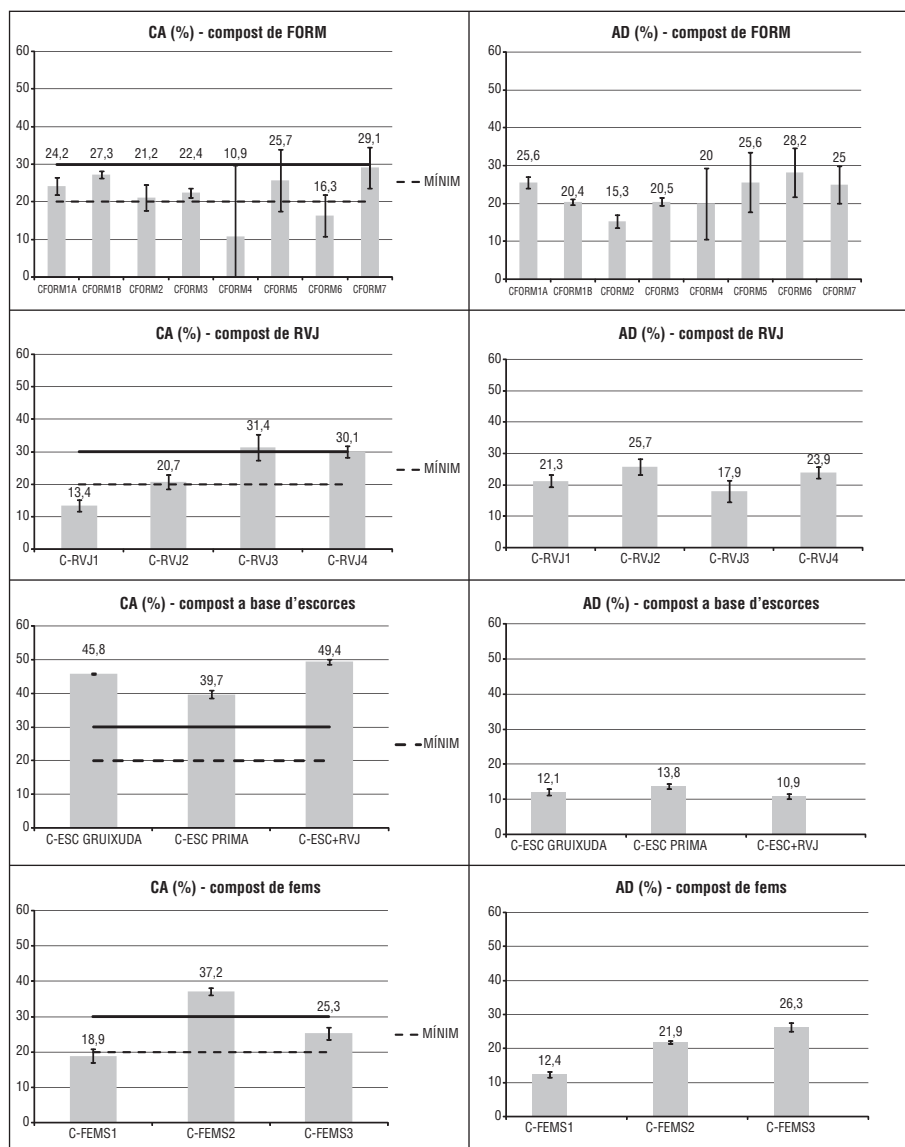
En qualsevol cas, el coneixement de les característiques físiques i hidrològiques dels composts i de les seves possibles barreges per a conformar substrats de cultiu permet establir programacions adequades del reg per tal d'optimitzar al màxim l'ús de l'aigua i dels nutrients (Tyler *et al.*, 1993; Bustamante *et al.*, 2012).

Aigua difícilment disponible i densitat real

Finalment, l'aigua difícilment disponible (ADD) dels substrats estudiats, que és la que retenen els porus de diàmetre més petit (de 50 μm o inferior, habitualment localitzats dins de les partícules del substrat), se situa dins l'interval desitjable (figura 9).

Quant a la densitat real (D_r), la bibliografia situa els intervals òptims entre 1,4 i 2,0 $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$. Els composts C-FORM i C-RVJ presenten uns valors similars i que depassen el límit superior establert, mentre que la resta de materials (C-ESC i C-FEMS) mostren valors dins l'interval òptim (figura 9).

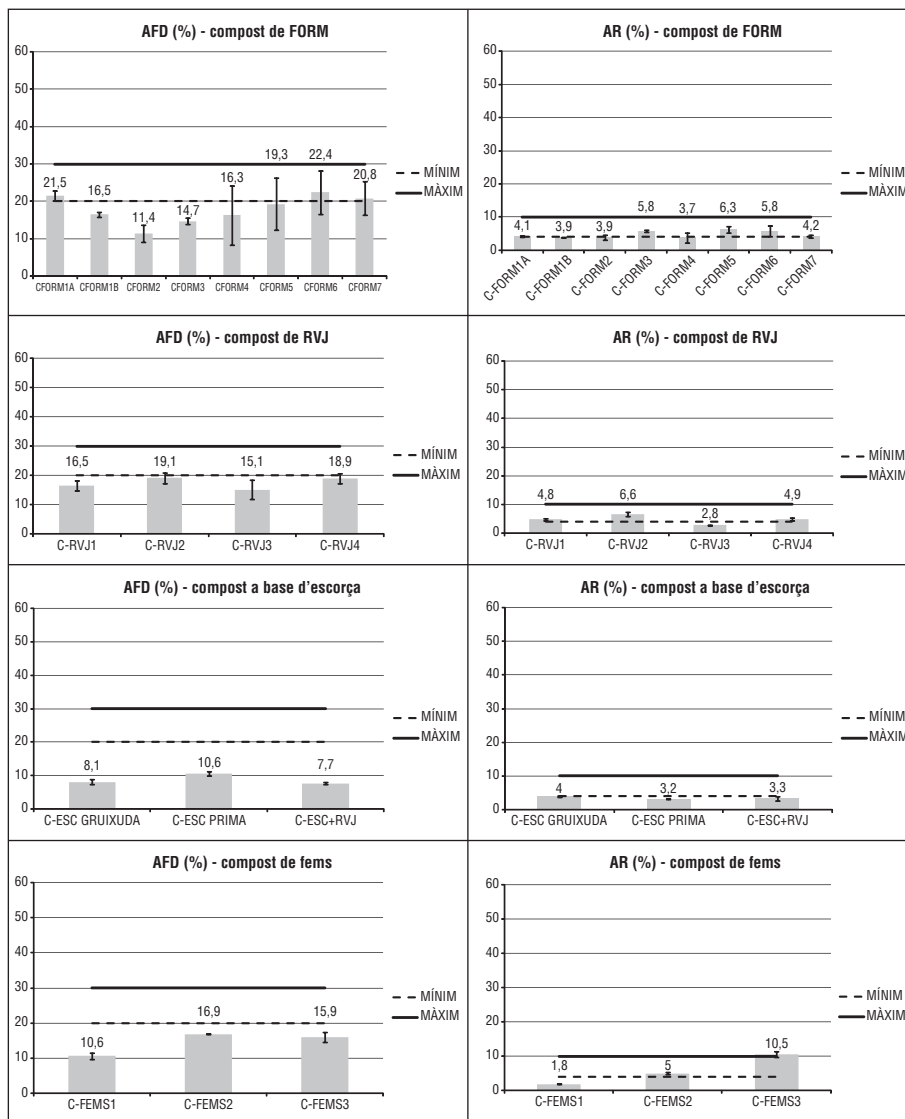
FIGURA 7. Capacitat d'aireig (CA) i aigua disponible (AD) dels diferents tipus de composts



FORM: fracció orgànica dels residus municipals; RVJ: residus vegetals de jardineria.

Font: Elaboració pròpia.

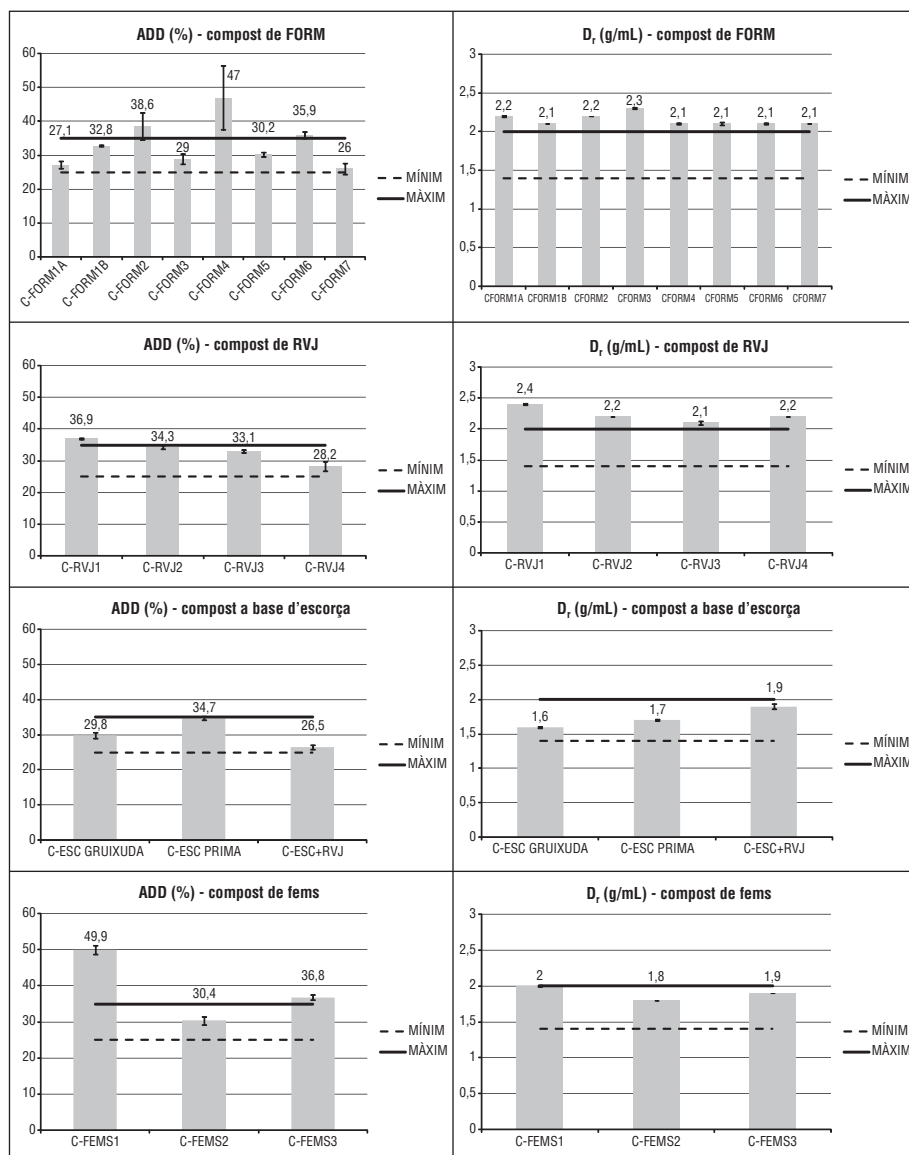
FIGURA 8. Aigua fàcilment disponible (AFD) i aigua de reserva (AR) dels diferents tipus de composts



FORM: fracció orgànica dels residus municipals; RVJ: residus vegetals de jardineria.

Font: Elaboració pròpia.

FIGURA 9. Aigua difícilment disponible (ADD) i densitat real (D_r) de diferents tipus de composts



FORM: fracció orgànica dels residus municipals; RVJ: residus vegetals de jardineria.

FONT: Elaboració pròpia.

Diàmetre de les partícules i desviació estàndard de la mitjana geomètrica

La distribució de la mida de les partícules sòlides dels substrats i, per tant, la porositat interparticular, afecta l'equilibri entre l'aigua disponible ($AD = AFD + AR$) i la capacitat d'aireig del material (figura 7) (Tian *et al.*, 2012). S'ha documentat que l'interval òptim del diàmetre geomètric mitjà de les partícules (d_g) se situa entre 1 i 2,3 mm (Marfà i Cáceres, 1998); aquest interval permetria obtenir una retenció suficient d'aigua junt amb una capacitat d'aireig del material adequada (Abad *et al.*, 2001; Benito *et al.*, 2006). Una alta proporció de partícules de diàmetre entre 0,25 i 0,35 mm podria comportar limitacions d'aireig del substrat. S'ha determinat que les partícules inferiors a 0,5 mm (en particular, entre 0,1 i 0,25 mm) influencien de manera determinant la porositat i la retenció d'aigua, la seva abundància genera problemes d'embassament i d'asfíxia de les plantes (Handreck, 1983).

Els resultats mostren que els composts C-FORM i C-RVJ presentaven diàmetres de partícula al voltant d'1 mm i, per tant, se situen a prop del límit inferior ideal per a materials que es facin servir com a substrats (figura 10). Per contra, els composts C-ESC i C-FEMS mostren valors més alts, en general, quasi sempre dins l'interval òptim. La mida de les partícules dels C-ESC s'adiu amb la descrita a la bibliografia per a aquesta mena de composts, que situa la major part de les partícules en l'interval d'1,0 a 2,5 mm (Tyler *et al.*, 1993). Òbviament, el diàmetre geomètric mitjà del compost d'escorça de mida gruixuda és molt més gran que el corresponent a l'escorça de mida prima.

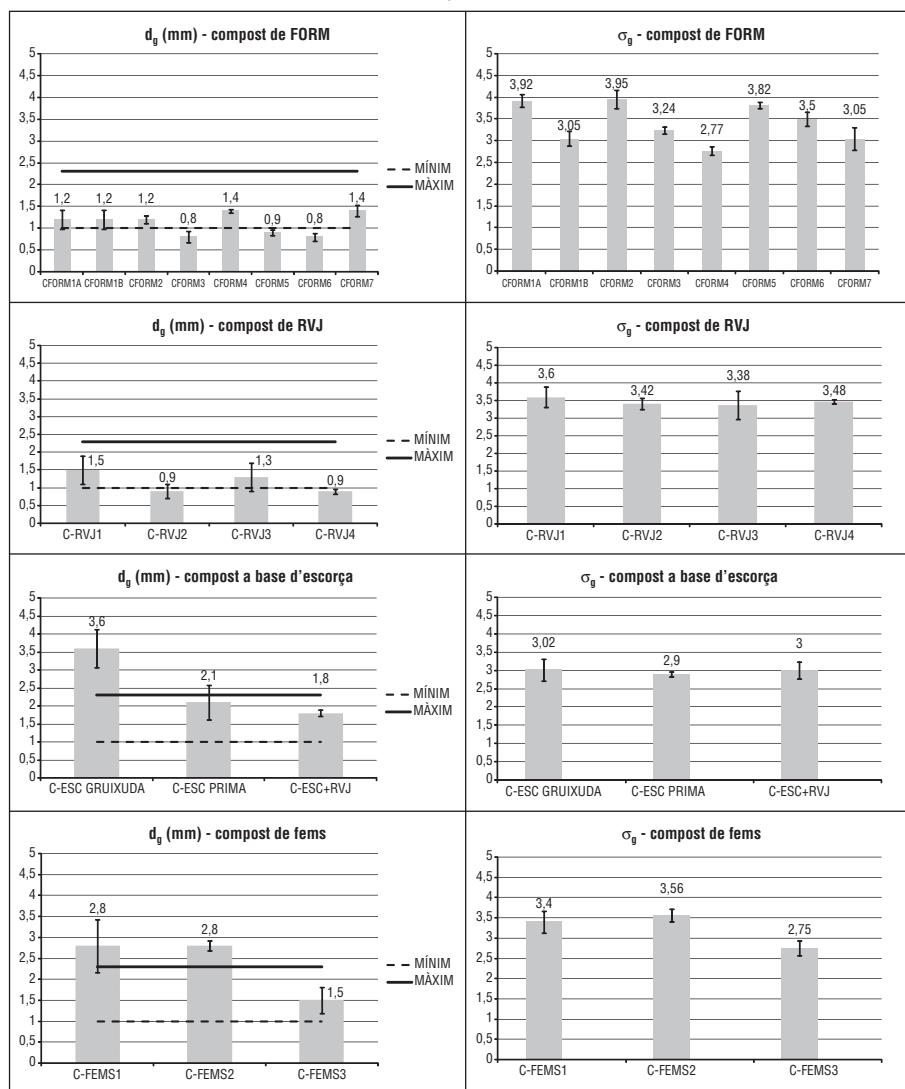
3.4. Propietats biològiques: índex de germinació

Pel que fa a la fitotoxicitat dels materials estimada amb l'índex de germinació (I_g), es pot comprovar que molts C-FORM van presentar percentatges de germinació relativament alts (superiors al 80 %) per a qualsevol dilució de l'extracte aquós del compost (figura 11). Això no obstant, tres dels materials van mostrar valors d' I_g menors depenent del grau de dilució de l'extracte aquós. D'aquests, dos presentaven valors de salinitat superiors a $10 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, cosa que pot explicar I_g baixos (figura 1). Els C-RVJ i els C-ESC van presentar I_g superiors al 80 %, independentment del grau de dilució de l'extracte aquós del compost. Finalment, dos dels C-FEMS van presentar valors inferiors al 80 %: C-FEMS2 per a dilucions del 75 % i C-FEMS3 per a dilucions del 100 % i del 75 %.

4. CONCLUSIONS

S'han determinat les propietats de quatre grans tipologies de compost que es produeixen a Catalunya. S'ha posat de manifest que determinades

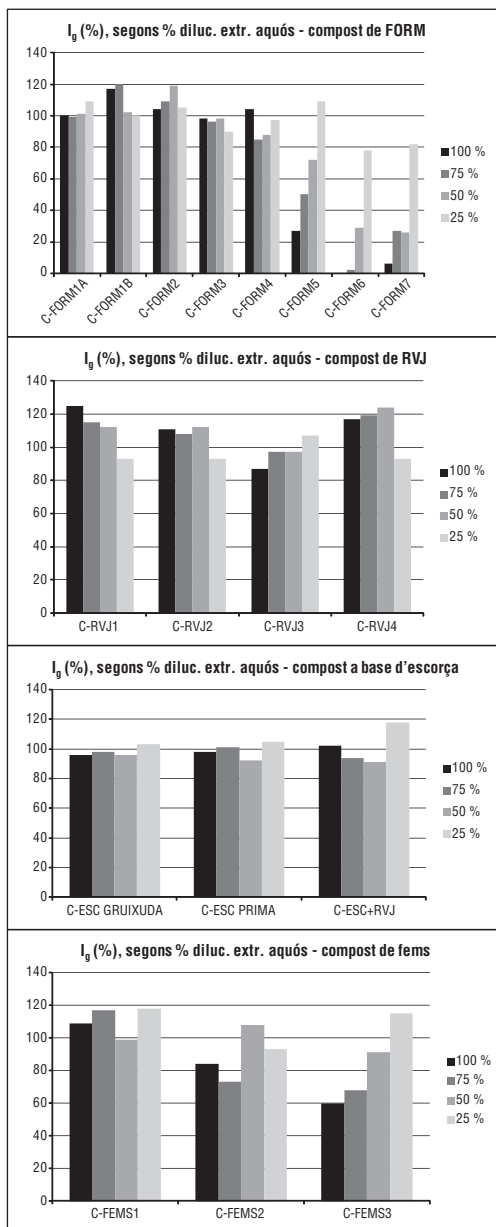
FIGURA 10. Diàmetre geomètric mitjà de les partícules (d_g) i desviació estàndard de la mitjana geomètrica (σ_g) dels diferents tipus de composts



FORM: fracció orgànica dels residus municipals; RVJ: residus vegetals de jardineria.

Font: Elaboració pròpia.

FIGURA 11. Índex de germinació (I_g) dels diferents tipus de composts per a diverses concentracions de l'extracte aquós



FORM: fracció orgànica dels residus municipals; RVJ: residu vegetal de jardineria.

FONT: Elaboració pròpia.

tipologies de compost presenten una alta variabilitat en la seva composició, que es relaciona amb els materials de partida o amb aspectes relacionats amb la tècnica de compostatge, com ara la cobertura, o no, de la planta de compostatge. Tot i que aquesta dispersió no permet inferir conclusions globals sobre la viabilitat de l'ús d'un determinat compost per a l'aplicació com a substrat, sí que proporciona informació valuosa perquè els composts de més qualitat puguin ser considerats per a aquest ús.

En general, les propietats físiques dels materials són adequades per a l'ús dels composts en les barreges dels substrats. Les relacions aire-aigua inadequades d'alguns materials concrets es podrien corregir mitjançant la barreja amb materials de característiques complementàries. Atès que les propietats físiques incideixen, sobretot, en la gestió del reg, aquesta es podria adaptar (freqüència i dosi d'irrigació) en funció de les propietats físiques i hidrològiques dels composts o de les seves barreges.

L'alcalinitat i la salinitat altes són les característiques que més condicionen l'ús dels composts analitzats en barreges de substrats. L'alta salinitat, a més, sol estar associada a una composició de la fase aquosa del substrat desequilibrada pel que fa als macronutrients N, P i K.

D'entre els materials estudiats, els residus vegetals de jardineria es postulen com a productes que, barrejats amb d'altres materials de propietats complementàries —i si assoleixen prou estabilitat mitjançant compostatge—, podrien formar part de barreges per a la preparació de substrats.

Alguns dels materials es podrien emprar en les barreges per a la preparació de substrats afegint-los en dosificacions limitades i/o fer-los servir com a fertilitzants d'alliberament lent.

5. AGRAÏMENTS

Els autors agraeixen el suport del Ministeri d'Economia i Competitivitat (MINECO) a través del projecte TRACE2009_0274, i també a les entitats següents, que també han contribuït a finançar el projecte: Agència de Residus de Catalunya, COPERSA, Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Medi Natural, Establiments SABATER, Federació de Viveristes de Catalunya, Planta de Compostatge de Cabrils, TERVEX Terres Vegetals. Igualment, reconeixen la col·laboració d'Anna M. Puerta en la realització de tasques analítiques.

BIBLIOGRAFIA

ABAD, M.; NOGUERA, P.; BURÉS, S. (2001). «National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain». *Bioresource Technology*, vol. 77, p. 197-200.

- BENITO, M.; MASAGUER, A.; MOLINER, A.; ANTONIO, R. de (2006). «Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability». *Bioresource Technology*, vol. 97, p. 2071-2076.
- BILDERBACK, T. E.; WARREN, S. L.; OWEN, Jr J. S.; ALBANO, J. P. (2005). «Healthy substrates need physical tools». *Hortic. Technol.*, vol. 15, p. 747-751.
- BOODT, M. de (1975). «Caractères physiques et disponibilité en eau des substrats». *Annales de Gembloux*, núm. 81, p. 59-72.
- BOODT, M. de; VERDONCK, O.; CAPPAPERT, I. (1974). «Method for measuring the water release curve of organic substrates». *Acta Horticulturae*, núm. 37, p. 2054-2062.
- BUNT, A. C. (1988). *Media and mixes for container-grown plants*. 2a ed. Londres: Unwin Hyman Ltd.
- BURÉS, S. (1997). *Sustratos*. Madrid: Ediciones Agrotécnicas, SL. ISBN: 84-87480-75-6. 342 p.
- BUSTAMANTE, M. A.; ALBURQUERQUE, J. A.; RESTREPO, A. P.; FUENTE, C. de la; PAREDES, C.; MORAL, R.; BERNAL, M. P. (2012). «Co-composting of the solid fraction of anaerobic digestates to obtain added-value materials for use in agriculture». *Biomass and Bioenergy*, vol. 43, p. 26-35.
- CÁCERES, R. (2003). *Compostatge de fems de boví i aprofitament del compost en la formulació de substrats per al cultiu en contenidor d'espècies arbustives*. Tesi doctoral. Universitat de Lleida. 394 p.
- CÁCERES, R.; FLOTATS, X.; MARFÀ, O. (2006). «Changes in the chemical and physicochemical properties of the solid fraction of cattle manure slurry during composting using different aeration strategies». *Waste Management*, vol. 26, p. 1081-1091.
- FONTENO, W. C. (1996). «Growing media: types and physical/chemical properties». A: REED, D. W. (ed.). *A grower's guide to water, media, and nutrition of greenhouse crops*, p. 93-122. Batavia, Illinois: Ballpublishing.
- GARCÍA DE LA FUENTE, R.; CARRIÓN, C.; BOTELLA, S.; FURNES, F.; NOGUERA, V.; ABAD, M. (2007). «Biological oxidation of elemental sulphur added to three composts from different feedstocks to reduce their pH for horticultural purposes». *Bioresource Technology*, vol. 98, p. 3561-3569.
- GIMÉNEZ, A.; SOLIVA, M.; HUERTA, O. (2005). *Estudio del mercado del compost en Cataluña*. Castelldefels: Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona.
- HANDRECK, K. A. (1983). «Particle size and the physical properties of growing media for containers». *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, vol. 14, p. 209-222.
- HANDRECK, K.; BLACK, N. (2005). *Growing media for ornamental plants and turf*. Sydney: UNSW Press. 544 p.
- HUERTA, O.; LÓPEZ, M.; SOLIVA, M. (2010). *Procés de compostatge: caracterització de mostres*. Barcelona: Diputació de Barcelona. (Estudis. Sèrie Medi Ambient; 2)

- JOLANUN, B.; TOWPRAYOON, S. (2010). «Novel bulking agent from clay residue for food waste composting». *Bioresource Technology*, vol. 101, p. 4484-4490.
- MARFÀ, O.; CÁCERES, R. (1998). «Valorització de residus orgànics com a substrats hortícoles». A: *Aprofitament agronòmic de residus orgànics: 4t Curs d'Enginyeria Ambiental. Lleida, 26-27-28 d'octubre de 1998*. Lleida: Paperkate, p. 259-276.
- MARFÀ, O.; TORT, J. M.; OLIVELLA, C.; CÁCERES, R.; MARTÍNEZ, F. X. (1998). «Cattle manure compost as substrate II. Conditioning and formulation of growing media for cut flower cultures». *Acta Horticulturae*, núm. 569, p. 305-312.
- MARTÍNEZ, F. X. (1992). «Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos». A: *Actas de las I Jornadas de Sustratos SECH*.
- OROZCO, R. (1995). *Propiedades físicas e hidrológicas de perlitas utilizadas para cultivos sin suelo. Su implicación con las relaciones sustrato-agua-planta y con el riego de cultivos hortícolas*. Tesis doctoral. Universitat de Lleida.
- PAPAFOTIOU, M.; PHSYHALOU, M.; KARGAS, G.; CHATZIPAVLIDIS, I.; CHRONOPOULOS, J. (2004). «Olive-mill wastes compost as growing medium component for the production of poinsettia». *Scientia Horticulturae*, vol. 102, p. 167-175.
- PÉREZ-MURCIA, M. D.; MORAL, R.; MORENO-CASELLES, J.; PÉREZ-ESPINOSA, A.; PAREDES, C. (2006). «Use of composted sewage sludge in growth media for broccoli». *Bioresource Technology*, vol. 97, p. 123-130.
- RAVIV, M.; OKA, Y.; KATAN, J.; HADAR, Y.; YOGEV, A.; MEDINA, S.; KRASNOWSKY, A.; ZIADNA, H. (2005). «High-nitrogen compost as medium for organic container-grown crops». *Bioresource Technology*, vol. 96, p. 419-427.
- SHIRAZI, M. A.; BOERSMA, L. (1984). «A unifying quantitative analysis of soil texture». *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 48, p. 142-147.
- TIAN, Y.; SUN, X.; LI, S.; WANG, H.; WANG, L.; CAO, J.; ZHANG, L. (2012). «Biochar made from green waste as peat substitute in growth media for *Calathea rotundifolia* cv. *Fasciata*». *Scientia Horticulturae*, vol. 143, p. 15-18.
- TYLER, H. H.; WARREN, S. L.; BILDERBACK, T. E.; FONTENO, W. C. (1993). «Composted turkey litter: I. Effect on chemical and physical properties of a pine bark substrate». *J. Environ. Hort.*, vol. 11, p. 131-135.
- ZHANG, Y.; HE, Y. (2006). «Co-composting solid swine manure with pine sawdust as organic substrate». *Bioresource Technology*, vol. 97, p. 2024-2031.