



Procés de compostatge: caracterització de mostres

Col·lecció **Estudis**

La Diputació de Barcelona és una institució de govern local que treballa conjuntament amb els ajuntaments per impulsar el progrés i el benestar de la ciutadania.

La col·lecció **Estudis** posa a l'abast del món local coneixement teòric i empíric per promoure la reflexió i l'anàlisi en temes d'interès per als governs locals.

L'Àrea de Medi Ambient ja fa temps que dona suport a la promoció i divulgació dels processos de compostatge, com una part important del tractament de residus.

En aquest llibre es presenta la recopilació dels mètodes d'anàlisi utilitzats al Laboratori de caracterització i diagnosi de residus orgànics, de l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona, per avaluar mostres del procés de compostatge. És el resultat d'un treball en equip en què han participat moltes persones intentant coordinar recerca, experimentació i docència, i amb la intenció de facilitar una eina a laboratoris de control, així com també a productors i usuaris. D'altra banda, sense la col·laboració de les plantes de compostatge aquest document no hagués estat possible.



**Diputació
Barcelona**

Àrea de Medi Ambient

Escola Industrial. Edifici del Relotge
Comte d'Urgell, 187
08036 Barcelona
Tel. 934 022 485
gs.media@diba.cat
www.diba.cat/mediambient

Consulteu altres publicacions al web
de la Llibreria de la Diputació de Barcelona:

www.diba.cat/llibreria

Procés de compostatge: caracterització de mostres

Col·lecció **Estudis**

Sèrie_Medi Ambient, 2



Diputació
Barcelona

© de l'edició: Diputació de Barcelona

Autors: Oscar Huerta Pujol, Marga López Martínez i Montserrat Soliva Torrentó.
Escola Superior d'Agricultura de Barcelona (UPC)

Maig del 2011

Producció: Direcció de Comunicació
de la Diputació de Barcelona

Composició: addenda

ISBN: 978-84-9803-451-6

Dipòsit legal: B-19984-2011

Índex

Presentació	7
Introducció	10
1. Recopilació d'informació prèvia al mostreig i a la realització de les anàlisis	19
2. Presa de mostres	22
3. Determinació de densitats <i>in situ</i>	49
4. Transport i conservació de les mostres	58
5. Descripció sensorial de la mostra	60
6. Preparació de l'extracte aquós (P/V; 1/5)	69
7. Valoració de la coloració de l'extracte	72
8. pH i conductivitat elèctrica	77
9. Contingut d'anions i cations en l'extracte aquós	86
10. Índex de germinació	89
11. Nitrogen amoniacal soluble (NAS)	95
12. Nitrogen amoniacal total (NAT)	108
13. Nitrogen soluble (orgànic més amoniacal)	112
14. Nitrogen fàcilment mineralitzable (NFM)	116
15. Nitrogen nítric	120
16. Carboni soluble oxidable	128
17. Contingut de llavors de males herbes	137
18. Granulometria	140
19. Aproximació a la determinació del rendiment	148

20. Assecat de la mostra. Contingut d'humitat i de matèria seca	154
21. Impureses sobre la mostra seca	164
22. Mòlta de la mostra	168
23. Contingut de matèria orgànica total	174
24. Carbonats totals pel calcímetre de Bernard	182
25. Contingut de carboni orgànic oxidable	190
26. Contingut en nitrogen orgànic i nitrogen orgànic no hidrolitzable.	196
27. Macro i micronutrients.	206
28. Metalls pesants totals	214
29. Introducció a les metodologies relacionades amb la qualitat de la matèria orgànica	232
30. Grau d'estabilitat de la matèria orgànica (mètode de la hidròlisi sulfúrica).	244
31. Àcids húmics i fúlvics	258
32. Capacitat de bescanvi catiònic	264
33. Mesura de l'estabilitat/maduresa pel test Solvita.	269
34. Mesura de l'estabilitat pel test d'autoescalfament	280
35. Tècniques respiromètriques.	295
36. Proves de mineralització.	321
37. Proves de creixement	330
Bibliografia.	357
Annexos	389
<i>Annex 1. Models de recollida d'informació.</i>	390
<i>Annex 2. Models d'informe comparatiu</i>	399

Presentació

Els mètodes d'anàlisi inclosos en aquest manual corresponen als que normalment s'utilitzen al laboratori de caracterització de residus orgànics de l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona (ESAB-UPC) per avaluar mostres procedents del procés de compostatge. Majoritàriament es basen en mètodes existents que s'han adequat a les necessitats del laboratori per dur a terme projectes de final de carrera, fer seguiments de diversos processos de compostatge i realitzar diferents projectes de recerca. Els projectes relacionats amb la qualitat del compost i el control del compost produït a Catalunya han estat subvencionats al llarg dels anys pel Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona, però també s'ha dut a terme recerca relacionada amb el compostatge subvencionada per l'Agència de Residus de Catalunya, l'Instituto Geológico y Minero de España, el Ministeri de Medi Ambient, la Comissió Interministerial de Ciència i Tecnologia (CICYT) o empreses com Cespa i Metrocompost.¹

1. Projectes:

- Control de la qualitat del compost generat a Catalunya. Servei del Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. 1984-2006.
- Compostatge de fangs de depuradora i restes de jardineria en túnels. Jarfels (Metrocompost). 1998-2000.
- Pla d'experimentació de la planta de compostatge de Torrelles de Llobregat. Control del procés i de la qualitat del compost. Junta de Residus de la Generalitat de Catalunya. 1997.
- Agroval. Seguiment i control de l'aplicació de compost en proves de camp amb cultius hortícoles de pastanaga i ceba i extensiu de blat de moro farratger. CESPÀ. 2002-2003.
- Proyecto de caracterización y tipificación de la calidad del compost producido en España. Instituto Geológico y Minero de España. 2003-2004.
- Estudi sobre els factors que intervenen en la determinació de la qualitat del compost procedent de

La recopilació i l'adequació de la metodologia ha estat una tasca que s'ha fet des de la pràctica i l'experiència i amb la col·laboració i l'esforç de moltes persones que han passat per l'ESAB: professors, col·laboradors, becaris, estudiants i personal de serveis. El treball el va iniciar Josep Saña amb la seva tesi doctoral (Saña, 1985) i el va continuar conjuntament amb Montserrat Soliva; al llarg dels anys hi han participat d'una manera o una altra moltes persones, com: Miriam Alcolea, Teresa Balanyà, Manel Bonmatí, Núria Cererols, Alfred Cohí, Laura Condes, Albert Garcia, Francesc Giró, Cristina González, Mònica Fernández, Pilar Florensa, Andrea Galofré, Verònica Gea, Elisabet Huguet, Oscar Huerta, Josep Jacas, Patrícia Jiménez, Marga López, Serafí Manzano, Susanna Martí, Francesc Xavier Martínez, Natalia Molina, Joan Carles Moré, Sònia Paulet, Jordi Pijoan, Montserrat Pujolà, Àngel de la Riva, Núria Rodríguez, Francesc Roig, Josep Sabaté, Isabel Trias, Jordi Valero i Mercè Vidal. Uns hi han participat buscant i posant a punt els mètodes; uns altres, fent anàlisis de mostres variades per comparar resultats i arribar-ne a una interpretació clara; alguns, facilitant que la feina es pogués fer en condicions, però sempre tots fent un treball en equip, coordinant recerca, experimentació i docència (Soliva *et al.*, 2004c, 2006a; Felipó *et al.*, 2004), amb bona sintonia amb els productors i usuaris de compost.

Manel Aragay i Josep Serra del Laboratori Agroalimentari del DARP (Cabriils) van col·laborar en l'adaptació d'alguns dels mètodes.

Domènec Cucurull, Fanny Lumbreras, Ramón Rabella i Eulàlia Codinach del Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona han donat suport sempre al treball realitzat, donant idees per al seu desenvolupament i facilitant-lo.

La descripció dels mètodes analítics pretén ser entenedora, de manera que permeti utilitzar-los fàcilment i interpretar els resultats obtinguts i la informació que proporcionen, a partir d'una base de dades (Huerta *et al.*, 2003) preparada al llarg dels anys. La necessitat de disposar d'una eina perquè els productors i usuaris de compost puguin conèixer i comparar les característiques dels productes a partir

la matèria orgànica dels residus municipals i dels residus ramaders i el seu efecte sobre el mercat dels productes. Agència de Residus de Catalunya. 2005-2006.

– Caracterización y diagnosis de muestras de diferentes tipos de materiales procedentes de plantas de compostaje de la empresa Cespa-Ferrovial (Proyecto Bioauditorías). 2006.

– Evaluación y mejora de las tecnologías de tratamiento biológico de residuos municipales en Catalunya. Ministeri de Medi Ambient. 2005-2007. Refs. 2.5-328/2005/3-B; 300/2006/2-2.3; A291/2007/1-02.3.

d'uns paràmetres de fàcil lectura ha guiat també l'elaboració d'aquest manual per, així, donar-li una utilitat pràctica més enllà dels àmbits dels laboratoris que faran el treball analític (siguin de recerca, de docència o professionals).

Finalment s'ha de dir que, tot i ser preferentment aplicables a mostres de compost, els mètodes descrits en aquest manual poden servir també –molts d'ells– per caracteritzar altres materials orgànics.

Introducció

La creixent producció de residus orgànics, i el també creixent control que s'hi exerceix, ha provocat que moltes vegades es busqui com a solució més senzilla i «econòmica» l'aplicació d'aquests en agricultura. Aquesta sortida, que pot tenir avantatges –que de cap manera no s'han de desestimar–, és moltes vegades problemàtica a causa de la valoració simplista que es fa de certes característiques dels materials i de la capacitat de recepció del medi. De vegades, pel sol fet que tingui un contingut important de matèria orgànica (MO) i nitrogen (N) ja es diu que en serà molt adequat l'ús en agricultura, oblidant que segons de quin tipus de MO es tracti o una aplicació excessiva de certes formes de N poden provocar problemes importants. També es creu que si el residu no porta Cd, Cu, Pb o Hg ja s'hi pot aplicar, sense tenir en compte la possibilitat que pugui portar altres tipus de constituents i/o contaminants tant o més problemàtics. Tampoc no ha de ser acceptable que s'apliqui un residu amb continguts importants d'algun contaminant pel sol fet que aquest es trobi en forma molt insoluble.

Cal caracteritzar bé un residu, però, sobretot, saber què és el que s'ha de conèixer per poder determinar si es pot o no aplicar als sòls agrícoles o d'altres tipus sense problemes (Saña i Soliva, 1985; Jacas i Soliva, 1986; Soliva, 1994, 1998). Una caracterització completa d'un residu i la identificació de tots els components que porti podria ser una feina interminable i d'un cost elevat, la qual cosa provocaria que es fessin poques caracteritzacions. Cal preguntar-se fins a quin punt s'ha de fer una caracterització exhaustiva d'un residu del qual se'n sap l'origen per conèixer els seus beneficis o el possible impacte ambiental/sanitari que pugui provocar. D'altra banda, cal conèixer el medi receptor i l'ús que se'n vol fer (cultius, dates d'aplicació, etc.) per ajustar encara més la caracterització.

S'està parlant de residu, però segons quines siguin les seves característiques es pot considerar un recurs. Què fa que un residu orgànic sigui o no un recurs? En principi, depèn de la seva composició, però també depèn de la quantitat generada,

de la capacitat del medi o dels medis receptors i, evidentment, del mercat. Components importants dels residus orgànics són la matèria orgànica, d'interès per millorar les propietats dels sòls, i els fitonutrients, per afavorir el creixement vegetal; d'altra banda, s'ha de controlar que no continguin components perjudicials per als sòls, les aigües, els vegetals i l'entorn en general. No és aconsellable aplicar directament al sòl molts dels residus orgànics a causa de l'excés d'humitat i per la falta d'estabilitat de la seva MO, aspectes que dificulten l'emmagatzematge, el transport o l'aplicació, a part d'afectar profundament els beneficis agronòmics i ambientals, així com el risc de contaminació. Per evitar-ho, se'ls pot aplicar un tractament biològic com el compostatge (Saña i Soliva, 1987; Huerta i López, 2009; Huerta *et al.*, 2010c) amb objectiu de disminuir el pes, el volum i la fermentabilitat dels residus. A més a més, els higienitza i els transforma realment en un recurs amb avantatges ambientals, econòmics i socials (Soliva, 2001, 2004b).

Durant molts anys s'ha parlat de la necessitat de matèria orgànica dels sòls dels països mediterranis, però la situació és confusa per diverses raons:

- Hi ha molts materials residuals amb vocació de ser aplicats al sòl.
- El pagès desconfia dels materials procedents de residus urbans i/o dels anomenats *compost*.
- Hi ha tota una nova normativa existent o prevista que preveu la necessitat d'incrementar el reciclatge de la matèria orgànica.

Per evitar que la competència entre diferents materials orgànics dificulti que se'n faci un ús adequat i per deixar ben clar què diferencia un compost d'altres materials o composts de diferents orígens entre ells, cal establir uns paràmetres i una metodologia d'anàlisi (Jacas i Soliva, 1986; Saña *et al.*, 1989; Soliva, 1992; Soliva *et al.*, 1992) que permeti determinar si es compleix la legislació, posar de manifest aquelles característiques que els fan útils i facilitar-ne el càlcul de les dosis d'aplicació. A més a més, com que el procés de compostatge s'ha de considerar un procés industrial com qualsevol altre, encara que s'utilitzin com a matèria prima residus, cal establir preses de mostres i controls al llarg del mateix procés per seguir-ne el funcionament. De la mateixa manera, caldria controlar la qualitat i també la quantitat dels materials tractats, el compost produït i els rebutjos generats. Cal no oblidar que, a la vegada que es tracten residus, es fabrica compost;² un bon des-

2. Amb referència al compost com a producte d'interès en el seu ús com a adob o esmena; no referit a la utilització del compostatge per reduir humitat i matèria orgànica amb la finalitat d'abocar o incinerar.

envolupament del procés influeix en el producte final (quantitat i característiques), però també influeix molt en l'ocupació de l'espai en la planta, en les condicions d'higiene i seguretat, i en les possibles molèsties ambientals en el veïnat.

En el manual s'inclouen els mètodes utilitzats³ per aconseguir-ho, diferenciant bé els condicionants de presa de mostres, la realització i la interpretació segons el punt del procés que s'estigui analitzant. En les **taules 1, 2 i 3** es fa una primera aproximació (Gea *et al.*, 2006) a alguns dels paràmetres i a l'interès que pot presentar el seu coneixement. La **figura 1** recull esquemàticament

Taula 1. Paràmetres físics, químics i biològics que cal determinar en mostres de compost i interès possible en la valoració del procés de producció, comercialització i aplicació

Influència en el procés productiu, de comercialització i d'aplicació	Seguretat laboral a la planta	Maneig	Emmagatzematge	Transport	Acceptació	Possibles usos	Aplicació	Seguretat en l'aplicació	Efectes sobre la dosi de fertilització	Efectes sobre la producció
Densitat aparent		•	•	•			•	•		
Coloració						•				
Olor		•				•				
Humitat	•	•	•	•	•	•	•	•		
Granulometria	•	•		•	•	•	•	•		
Impropis i impureses	•				•	•				
pH						•			•	•
Conductivitat elèctrica						•				•

.../...

3. En la bibliografia s'inclouen les fonts que han servit per escollir els mètodes o per ajudar en la interpretació dels resultats, però també altres mètodes o fonts bibliogràfiques que poden aportar informació complementària d'interès als possibles usuaris del manual.

Influència en el procés productiu, de comercialització i d'aplicació	Seguretat laboral a la planta	Maneig	Emmagatzematge	Transport	Acceptació	Possibles usos	Aplicació	Seguretat en l'aplicació	Efectes sobre la dosi de fertilització	Efectes sobre la producció
Químics	Matèria orgànica total				•	•			•	•
	Matèria orgànica resistent		•		•	•			•	•
	Nitrogen mineral				•				•	•
	Nitrogen orgànic total								•	•
	Nitrogen orgànic resistent								•	•
	Nitrogen fàcilment hidrolitzable								•	•
	Fòsfor i potassi								•	•
	Metalls pesants								•	•
	Contaminants orgànics									
	Biològics	Patògens indicadors	•			•			•	
Test d'autoescalfament			•		•					•
Índex de germinació						•				•
Respirometries						•			•	•
Mineralització						•			•	•
Llavors de males herbes						•				•

les diferents determinacions que es duen a terme al laboratori de l'ESAB, que se seleccionen i s'apliquen, segons la situació, per caracteritzar mostres de compost, de residus orgànics en general o per fer el seguiment de processos de tractament biològic.

Taula 2. Paràmetres físics, químics i biològics que cal determinar en mostres de compost i interès possible en la valoració de la seva afectació en el medi

Influència en el medi	Impacte sensorial	Efectes sobre el sòl	Efectes sobre les aigües	Efectes sobre els vegetals	Efectes sobre la cadena tròfica	Efectes sobre l'atmosfera	Activitat biològica	Usos mediambientals
Físics	Densitat aparent							•
	Coloració							
	Olor	•						•
	Humitat							
	Granulometria		•					•
	Impropis i impureses	•						•
	pH		•	•	•			•
	Conductivitat elèctrica		•	•	•			•
	Matèria orgànica total		•	•	•			• •
	Matèria orgànica resistent		•	•	•			• •
Químics	Nitrogen mineral		•	•		•		•
	Nitrogen orgànic total			•	•			•
	Nitrogen orgànic resistent			•	•			
	Nitrogen fàcilment hidrolitzable			•	•		•	
	Fòsfor i potassi				•			
	Carbonats		•				•	
	Metalls pesants	•	•	•	•	•		•
	Contaminants orgànics	•	•	•	•	•		

.../...

Influència en el medi		Impacte sensorial	Efectes sobre el sòl	Efectes sobre les aigües	Efectes sobre els vegetals	Efectes sobre la cadena tròfica	Efectes sobre l'atmosfera	Activitat biològica	Usos mediambientals
Biològics	Patògens indicadors	•	•	•	•	•			•
	Test d'autoescalfament	•	•	•	•			•	•
	Índex de germinació				•				•
	Respirometries		•	•	•			•	•
	Mineralització		•	•	•			•	•
	Llavors de males herbes					•			•

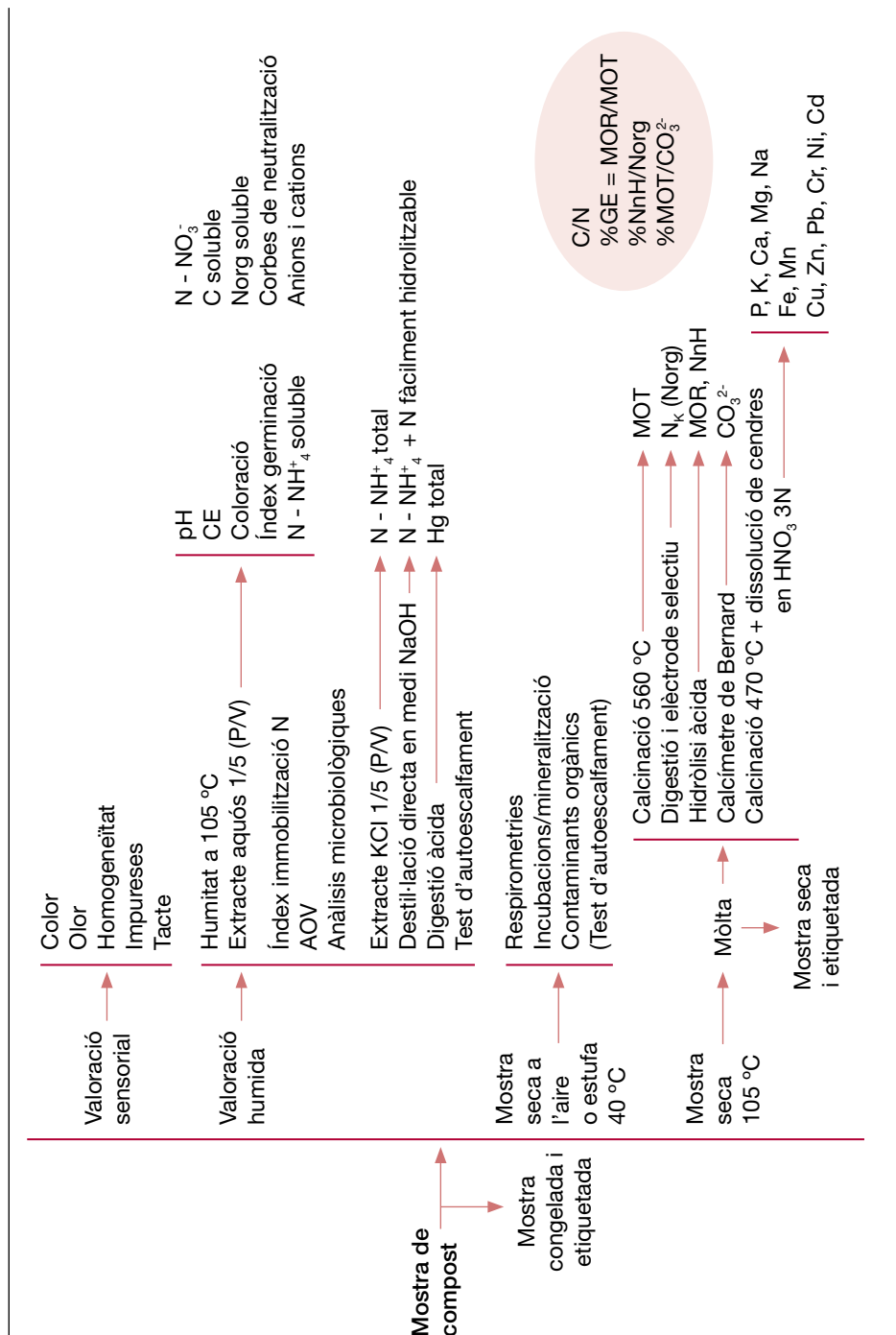
Taula 3. Paràmetres físics, químics i biològics que cal determinar en mostres de compost per conèixer-ne el procés

Informació sobre el procés		Materials inicials / barreja	Funcionament / control del procés	Estabilitat	Higienització	Sistemes de garvellament afinat
Físics	Densitat aparent	•	•	•		•
	Coloració				•	
	Olor		•	•	•	
	Humitat		•			
	Granulometria	•				•
	Impropis i impureses	•				•

.../...

Informació sobre el procés		Materials inicials / barreja	Funcionament / control del procés	Estabilitat	Higienització	Sistemes de garvellament afinat
Físics	pH	•	•			
	Conductivitat elèctrica	•	•			
Químics	Matèria orgànica total	•	•	•		
	Matèria orgànica resistent	•	•	•		
	Nitrogen mineral	•	•	•		
	Nitrogen orgànic total	•	•	•		
	Nitrogen orgànic resistent	•	•	•		
	Nitrogen fàcilment hidrolitzable	•	•	•		
	Fòsfor i potassi	•				
	Metalls pesants	•				
	Contaminants orgànics	•				
	Biològics	Patògens indicadors		•	•	•
Test d'autoescalfament			•	•	•	
Índex de germinació			•	•		
Respirometries			•	•		
Mineralització			•	•		
Llavors de males herbes		•	•	•	•	

Figura 1. Esquema d'anàlisi



En el manual no solament es dóna la informació de com dur a terme els mètodes, sinó que, a partir de moltes dades obtingudes amb la mateixa metodologia, del coneixement de les plantes de compostatge i de les possibles aplicacions del compost, s'intenta donar una visió de quins podrien ser els valors més usuals en el compost que es fabrica en el nostre territori.

Valors estàndards, que cal que siguin definibles i consistents, serien imprescindibles per aclarir què es pot denominar *compost*, per diferenciar uns tipus de compost d'altres, per facilitar als usuaris informació que els permeti escollir el producte més adequat a les seves necessitats i per aconseguir que les empreses productores augmentin el seu nivell de consideració i professionalitat (Benito *et al.*, 2009). Cal no oblidar que aquest tipus d'empreses a la vegada que tracten residus fabriquen un producte i que cal millorar la seva imatge per valorar davant de la societat la seva necessitat, importància i utilitat.

1. Recopilació d'informació prèvia al mostreig i a la realització de les anàlisis

1.1. Introducció

Davant d'una determinació analítica, prèviament cal dur a terme un procés de recollida de dades referents a la mostra que cal agafar i al tipus de procés que l'ha originat. Aquesta informació permetrà acotar el tipus d'analítiques que cal fer i, a més a més, facilitarà la posterior discussió i interpretació dels resultats obtinguts. Quan es vol interpretar no només la mostra, sinó tot un procés biològic, és necessari fer una feina prèvia de coneixement del procés i de contrast amb els seus responsables o gestors per proposar, de forma conjunta, els punts de mostreig i les diferents determinacions que cal fer.

Així doncs, la recopilació de la informació, sigui per interpretar una mostra o tot un procés, es pot abordar des de diferents àmbits.

1.2. Procediment

1.2.1. Presa de contacte

Prèviament, cal disposar d'un mínim d'informació sobre la planta de tractament i la seva situació; seguidament, cal contactar amb el responsable de la planta; aquesta persona pot ser el tècnic de la instal·lació o algun responsable de l'empresa gestora de la planta o de l'Administració.

1.2.2. Obtenció d'informació sobre la planta de compostatge

L'experiència acumulada i el fet d'haver desenvolupat prèviament una base de dades permeten sistematitzar tot el procés de la presa de mostres: l'obtenció de dades a la planta per treure la màxima informació del procés general, les circumstàncies concretes que ha patit cada mostra i la posterior descripció al laboratori. Amb preguntes concretes preparades en forma d'enquestes de respostes acotades es pretén tant facilitar el diàleg amb els gestors de planta com reduir al màxim la subjectivitat en les descripcions i impressions.

Amb aquesta finalitat, es disposa de tres tipus de formularis (vegeu l'annex 1):

Enquesta de planta: amb aquest formulari es pretén conèixer, entre d'altres, les dimensions de la planta, les matèries primeres, les proporcions, el tipus de procés, les quantitats produïdes de producte, de rebuig, etc., o el consum energètic. En principi, s'envia a les plantes perquè l'omplin, o bé s'emplena el dia que s'ha de mostrejar. El disseny d'aquesta enquesta s'enfoca a reduir la part escrita i substituir-la per caselles per senyalar; d'aquesta manera, la pregunta és més directa i no dona peu a divagacions. L'elaboració d'un esquema del procés biològic i la seva validació per part del responsable facilita l'elecció dels punts de mostreig o bé ajuda a interpretar els resultats de la mostra analitzada.

Estat de la planta: aquest formulari recull la percepció personal durant el mostreig i reflecteix l'aspecte que presenta la planta i el seu estat en general i les facilitats a l'hora d'establir contacte amb la planta i l'atenció rebuda. La cura que els gestors presenten sobre el procés sovint es reflecteix en l'estat i el manteniment de la planta i incideix també en la composició de les mostres analitzades.

Comercialització: aquest formulari pretén esbrinar aspectes relacionats amb la comercialització del compost (principals canals de comercialització, destins del producte, clients, preus, possibles dificultats amb què es troben les plantes a l'hora de vendre el producte, preferències dels consumidors, etc.).

1.2.3. Obtenció d'informació sobre la mostra

Històric de la mostra: l'objectiu de l'històric de la mostra consisteix a concretar el procés sofert per la mostra subjecte per tal de destacar les possibles diferències respecte al procediment que habitualment es duu a terme a la planta, ja que so-

vint hi ha partides a les quals s'ha incorporat un nou material o en què s'han variat les proporcions de la barreja; en resum, mostres que difereixen del procediment genèric de la planta.

2. Presa de mostres

2.1. Introducció

La presa de mostres resulta especialment complexa per l'heterogeneïtat que acostumen a presentar molts materials orgànics i la dificultat d'accés a segons quins punts de mostreig. El mostreig consisteix a agafar un material acotat i representatiu d'allò que es vol analitzar. La quantitat mostrejada dependrà de la quantitat de matriu que cal caracteritzar, però, sobretot, de la seva heterogeneïtat, de manera que com més homogeneïtat, menys material és necessari.

En un procés biològic es parteix d'un material més o menys heterogeni fins a arribar a un material més homogeni que el de partida (**figura 2.1**). Aquest fet incideix sobre el mostreig, de manera que com més acabat és el material menys mostra es necessita agafar i menys problemes es presenten en la repetibilitat dels resultats.

Figura 2.1. Evolució del material al llarg d'un procés biològic de tractament de residus municipals



El mostreig d'aquests materials pot comportar un cert risc sanitari, tant per la mateixa naturalesa de les mostres com per les condicions de treball d'algunes instal·lacions. Cal anar ben equipat, amb el material de protecció més adient (botes de protecció, guants, casc, mascareta, etc.) i complir en tot moment les normes internes de seguretat laboral adoptades per cadascuna de les plantes de tractament.

2.2. Material de mostreig

Les persones responsables de la presa de mostres han d'anar equipades amb una indumentària mínima de seguretat i alhora disposar de material de camp. A continuació, es fa una relació del material utilitzat per al mostreig. No obstant això, sempre cal seguir les indicacions dels responsables de seguretat laboral de les plantes de tractament biològic, que poden incloure algun ítem o reduir l'ús d'algun altre en funció del seu codi intern o de les condicions específiques de seguretat de què es disposi.

Indumentària personal:

1. Botes de seguretat (canya alta, punta i plantilla d'acer)
2. Mascareta
3. Guants
4. Guants llargs de protecció, preferiblement fins al colze
5. Casc
6. Granota de treball

Eines:

- Pala gran i petita
- Forca
- Balança portàtil
- Recipients de volum i pes conegut per a determinació de densitat aparent *in situ*
- Bosses de plàstic resistents amb capacitat mínima de 15 litres
- Brides o cordills per al segellat de les bosses
- Etiquetes i material per a la identificació (retoladors, llapis)
- Nevera
- Pots de tancament hermètic per recollir líquids
- Sonda de temperatura
- Sonda d'oxigen
- Càmera fotogràfica

Figura 2.2. Material de mostreig

2.3. Presa de mostra de compost

2.3.1. Introducció

S'entén per *compost* (representatiu del procés realitzat a cada planta) aquell material que segons els responsables de la planta es considera apte per ser comercialitzat.

Per diferents motius, algunes plantes acumulen el compost i, per això, cal diferenciar entre aquest material emmagatzemat i el compost final recent (compost comercial); aquest darrer és el que realment representa la planta i el que millor reflecteix el procés que es duu a terme a la instal·lació.

2.3.2. Procediment

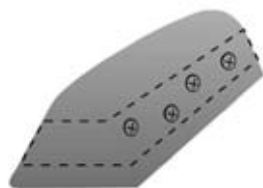
Amb l'objectiu d'obtenir una mostra representativa del compost que s'elabora a la planta, cal recollir diferents submostres a diferents profunditats i en diferents punts (punts de mostreig) distribuïts al llarg del material acumulat.

De cada punt de mostreig cal prendre entre quatre i sis submostres que conformaran la mostra final. La distribució de punts de mostreig i el seu nombre, així com el de les submostres, dependran de diversos factors, com la facilitat d'accés, el tipus d'emmagatzematge (pila allargada, piles esteses, muntanya de material arraconat) i el procés tecnològic utilitzat a la planta per elaborar el compost. Si les dimensions de l'acopi de material per mostrejar fan que la quantitat recollida sigui molt gran per transportar-la al laboratori caldrà homogeneïtzar-lo bé en la mateixa planta i reduir-

ne la quantitat per quarteig (**figura 2.3.3**). El volum final de mostra depèn del tipus de material (**vegeu la taula 2.4.1**), i és més gran quan les condicions del procés que cal caracteritzar indiquen una menor homogeneïtzació, com, per exemple, en el cas de piles estàtiques on no hi ha hagut volteig i, per tant, el material és més heterogeni.

La **figura 2.3.1** recull la zona on es prenen els diferents punts de mostreig, així com una possible distribució d'aquests en una pila allargada. Com mostra la figura, cal prendre diversos punts de mostreig evitant la part més baixa, la més alta i els extrems del material acumulat.

Figura 2.3.1. Punts de mostreig



Possibles punts de mostreig de compost en una pila allargada



Punts de mostreig de compost accessible totalment



Punts de mostreig de compost amb només una cara accessible

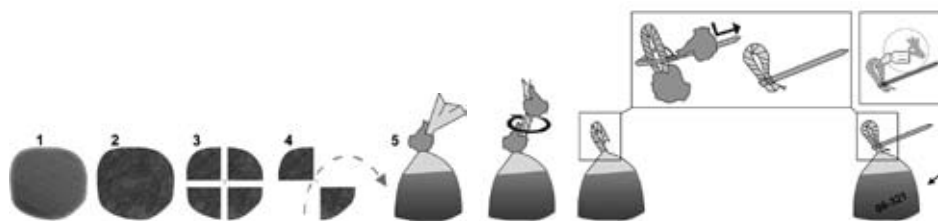
Les submostres que van formant la totalitat de la mostra es recullen a una profunditat perpendicular al punt de mostreig d'entre 0,5 m i 0,75 m. El responsable de prendre la mostra, equipat amb el material de camp adequat i guants de protecció, fa una incisió en cada un dels punts de mostreig amb l'objectiu de retirar la primera capa de material fins arribar a la profunditat indicada, d'on es van recollint les diferents submostres de petit volum. Aquest procés es va repetint al llarg dels diferents punts de mostreig (**figura 2.3.2**).

Les submostres es van introduint a la bossa fins a obtenir els 10-15 litres de material. Entre submostra i submostra es va agitant la bossa per tal d'homogeneïtzar el material recollit.

S'identifica la mostra indicant-hi el nom de la planta, el número de mostra, el tipus de material i alguna altra característica identificativa si es considera necessari. Aquesta informació s'escriu amb un marcador a l'exterior de la bossa, a més a més de l'etiqueta. La bossa es tanca amb ajuda d'una brida de plàstic o d'un cor-

Figura 2.3.2. Detall de punts de mostreig i presa de submostres

dill que fixa a la vegada l'etiqueta d'identificació. La bossa tancada s'introdueix en una nevera per ser transportada fins al laboratori. Quan es tracti d'un trajecte superior a sis hores s'han de prendre mesures especials.

Figura 2.3.3. Seqüència de barreja, quarteig, ensacatge, tancament de la bossa i identificació

1. Suma de submostres

2. Barreja de les submostres

3. Quarteig de la barreja

4. Menysprear dos quadrats oposats

5. Mostreig dels quadrants restants

Nota bibliogràfica

Referències que poden ser d'interès per a aquest apartat:

BUSCH *et al.*, 2000; DAHLEN i LAGERKVIST, 2008; HOEKSMAN i HENDRIKS, 2002; HOTSMA *et al.*, 2003; LAMBKIN *et al.*, 2004; RASNAKE *et al.*, 2008; TYSON i MITCHELL, 1998.

2.4. Presa d'altres tipus de mostres del procés

2.4.1. Introducció

L'avaluació del procés de compostatge en una planta (desenvolupament i rendiment) no es redueix només a l'anàlisi del producte final (compost),⁴ sinó que cal tenir en compte tots els materials (entrades i sortides) i totes les fases que comprèn el procés. Fer l'anàlisi de mostres preses en diferents punts pot ser de gran utilitat per donar informació sobre si el procés es duu a terme correctament i amb eficiència, i, alhora, detectar els punts febles i problemàtics.

Entendre les operacions que duen a terme aquestes instal·lacions és bàsic si es vol establir les possibles relacions entre el que succeeix a planta, el flux de materials i les característiques del producte final. Les plantes de compostatge acostumen a fer una sèrie d'operacions bàsiques que poden ser diferents segons els tipus de materials i el maneig de planta. En plantes de tractament de fangs de depuradora la presa de mostres pot ser més simple, mentre que en plantes que tractin residus orgànics de diferents procedències es pot complicar la presa de mostres i la interpretació dels resultats.

Aquest apartat fa referència, sobretot, a les plantes de compostatge de residus municipals, perquè acostumen a ser les més complexes.

En aquest cas les operacions són:

a) Operacions de pretractament, tria i selecció. Són diferents segons el tipus de planta i materials que cal tractar; poden arribar a ser molt complexes quan el material d'entrada són residus municipals amb gran quantitat d'impropis (**vegeu l'apartat 2.1**); com més quantitat d'impropis, més complexitat mecànica, més costos d'instal·lació i de funcionament, i més rebuig. En altres plantes aquestes operacions es poden reduir a la trituració de les restes vegetals que s'acostumen a utilitzar per equilibrar les barreges.

b) Operacions de mescla. Les barreges són una part important del compostatge per aconseguir que els materials que cal tractar presentin les característiques adequades (físiques i químiques) per al desenvolupament de l'activitat biològica que mena el procés.

4. En la dècada de 1990 ja es va detectar la importància d'analitzar altres aspectes a part de la qualitat del producte final (Vives, 1991; Manzano, 1993; Soliva *et al.*, 1992, 1993).

c) *Operacions de tractament biològic*. L'objectiu és reduir, estabilitzar i higienitzar la matèria orgànica i obtenir, en principi, un producte aplicable a diferents tipus de sòls.⁵ Aquest procés biològic s'esdevé en dues etapes diferenciades: una primera, molt activa, delicada i exigent, anomenada *etapa de descomposició*; i una altra, de durada més llarga, anomenada *etapa de maduració*. Cal tenir present que tot el procés ha de fer-se sota condicions d'aerobiosi, això implica facilitar el trànsit d'aire per la matriu compostable. Les reaccions d'oxidació de la matèria orgànica s'esdevenen en medi aquós, fet que exigeix la necessitat d'un determinat grau d'humitat per garantir la continuïtat del procés. A causa de l'energia generada per la mateixa activitat microbiana, el procés és termòfil. Les temperatures elevades afavoreixen la higienització del material, però la màxima activitat es genera cap als 55 °C i sempre cal vigilar els pics excessius de temperatura que poden fer minvar les poblacions microbianes encarregades de dur a terme la descomposició. Totes aquestes condicions es poden aconseguir controlant el procés amb tecnologia senzilla (piles voltejades) o amb tecnologies amb diferents graus de complexitat; aquestes últimes presenten un cost d'inversió més elevat que suposadament queda compensat per l'estalvi de temps i espai pel fet d'optimitzar les condicions de treball dels microorganismes.

d) *Operacions d'adequació o refí del producte final*. L'objectiu és oferir un producte atractiu per a la seva comercialització, intentant aconseguir una grandària de partícula adient, així com reduir al mínim la quantitat de materials inerts, com plàstics, vidres, pedres i d'altres, que en comprometen la comercialització. En aquest sentit, les plantes disposen de sistemes de separació física (*trommels*, taules densimètriques, aspiració de plàstics, etc.) i separacions magnètiques de fèrrics o separació per inducció de metalls no fèrrics, que també originen diferents corrents de rebutjos. Aquestes operacions poden ser minimitzades en el cas que el tractament només s'apliqui per estabilitzar la matèria orgànica i donar-li un destí finalista. També es poden trobar operacions com la pelletització i/o l'addició de macro i micronutrients per complementar el producte.

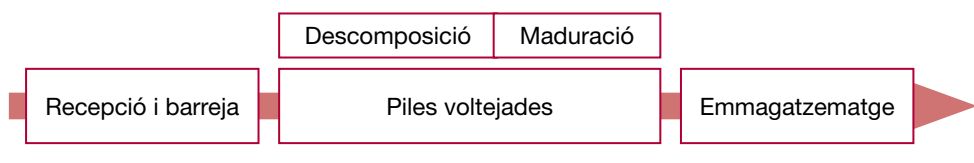
De totes aquestes operacions, només la *b* i la *c* són pròpies del procés biològic. Les operacions de selecció i tria (*a* i *d*) estan molt condicionades pel tipus de material que cal tractar, de manera que com més impropis contingui més complexes són.

5. En plantes que tractin residus municipals sense recollida selectiva en origen o residus orgànics d'altres orígens amb un contingut important de contaminants, probablement el compost no podrà tenir com a destí el sòl però igualment caldrà que estigui ben estabilitzat.

Els processos que tenen lloc a les plantes de compostatge de residus municipals (RM) s'han intentat esquematitzar a continuació, segons el tipus de material tractat i la quantitat tractada. Es poden dividir en dos grans grups: d'una banda, les plantes que estan dissenyades per tractar la matèria orgànica separada en origen (plantes de FORM) i, de l'altra, les plantes que tracten la fracció orgànica no separada en origen (plantes de RSU). La complexitat de les operacions se centra bàsicament en els processos de selecció de la fracció orgànica, i, en el cas de plantes de RSU, també s'hi han de sumar els processos de tria dels materials no orgànics que es volen recuperar. En tots dos casos, el compost obtingut al final sempre pateix un altre procés de separació (refi) per acabar de retirar el màxim de materials inerts.

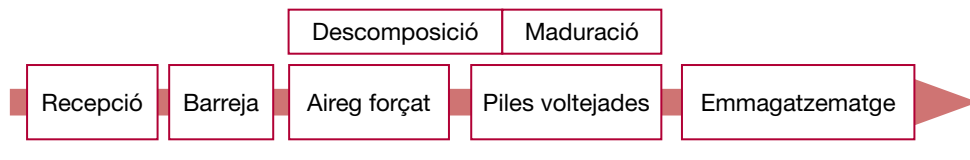
Les plantes es poden classificar segons la quantitat de material tractat; així doncs, es pot parlar de plantes petites (< 5.000 t/any), plantes mitjanes (< 20.000 t/any) i plantes grans (> 20.000 t/any). Les plantes petites solen ser plantes de tecnologia senzilla on la recepció i barreja de materials s'acostuma a fer el mateix dia que arriben. Les operacions de selecció de la fracció orgànica es poden dur a terme un cop feta la recepció, o bé després dels primers processos de descomposició. Com sempre succeeix, el refi es fa un cop acabats els processos de compostatge. De forma general, les plantes petites presenten menys complexitat tecnològica en el procés de compostatge, que acostuma a desenvolupar-se amb piles voltejades (figura 2.4.1).

Figura 2.4.1. Esquema de procés d'una planta de compostatge senzilla que tracta quantitats petites

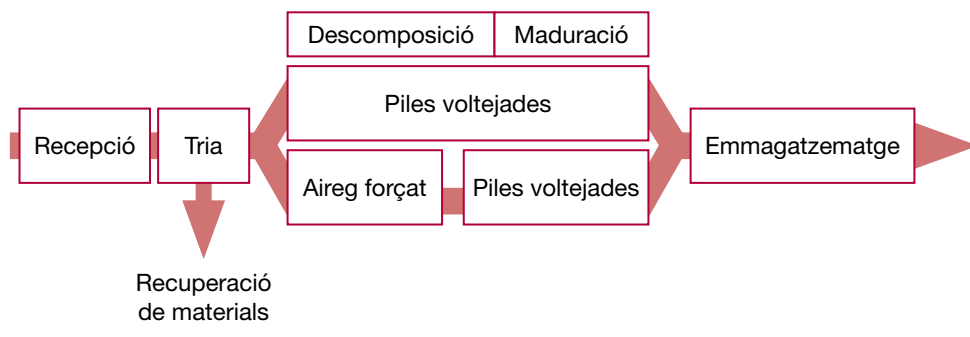


Les plantes mitjanes o grans presenten més complexitat tècnica atès que sovint es plantegen escurçar el període de compostatge fent servir sistemes d'aireig forçat o bioreactors (figura 2.4.2).

Les plantes de RSU són plantes que acostumen a tractar una gran quantitat de material. Molt sovint aquestes plantes no tracten restes vegetals i, per tant, no hi ha operacions de barreja. Les operacions de selecció de fracció orgànica i d'al-

Figura 2.4.2. Esquema de procés d'una planta de compostatge mitjana-gran

tres materials recuperables aquí són molt complexes i es fan sempre després de la recepció. Com sempre, hi ha uns processos de refí (figura 2.4.3).

Figura 2.4.3. Esquema de procés d'una planta de compostatge que acostuma a tractar el residu sòlid urbà amb una composició en impureses molt gran

Avui dia es poden trobar plantes que combinen processos de digestió anaeròbia seguits de processos de compostatge en les quals, com és evident, hi ha altres tipus de mostres que cal prendre (figura 2.4.4) per fer una correcta interpretació del procés. Aquestes plantes tracten grans quantitats de residus municipals i presenten diferents graus de complexitat en les operacions de selecció de matèria orgànica i tria de materials recuperables. Com que plantegen un procés de digestió anaeròbia, també queden inclosos processos d'adequació per a la digestió i processos d'adequació de la fracció sòlida obtinguda del digerit, la qual cosa fa necessari prendre més tipus de mostres, entre les quals es troben mostres líquides. Normalment, en aquestes plantes, el procés de compostatge es desenvolupa sempre sota condicions forçades amb intenció d'accelerar el procés. Com sempre, hi ha un refí final.

Figura 2.4.4. Esquema de procés d'una planta que combina processos de digestió anaeròbia seguits de processos de compostatge

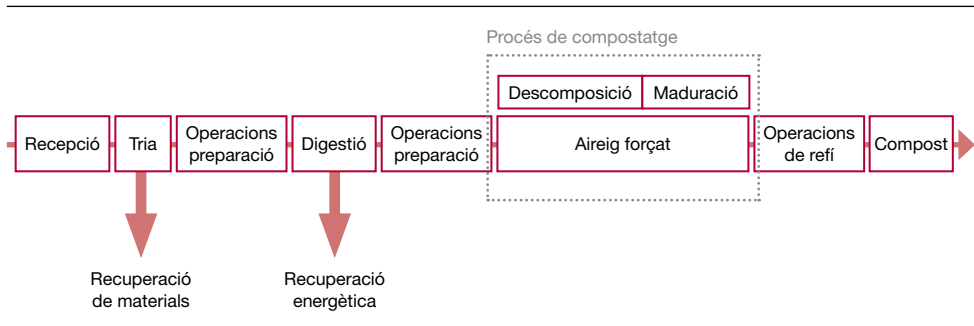
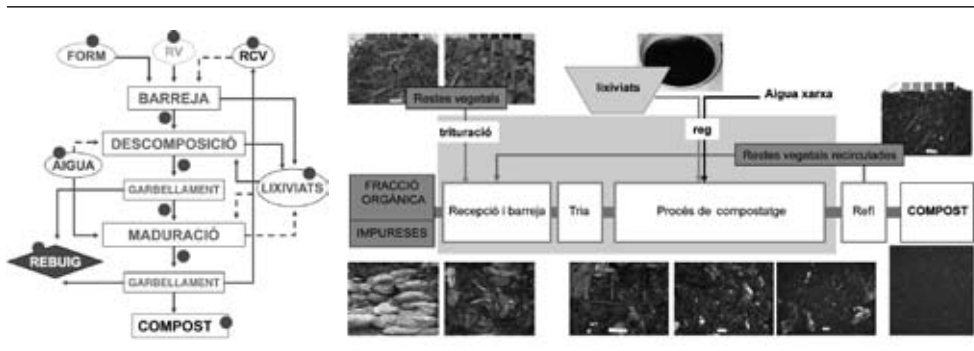


Figura 2.4.5. Esquemes de procés. Els punts vermells senyalen els punts de mostreig



Així, les mostres que cal prendre per fer una avaluació completa del procés de compostatge en una planta de tractament de residus municipals (segurament de les més complexes) (figura 2.4.5) són:

1. Material d'entrada:
 - a) Fracció orgànica (FORM)
 - b) Restes vegetals (RV)
2. Barreja dels materials
3. Inici de la descomposició
4. Final de la descomposició
5. Rebuig de *trommel* de mig procés

6. Inici de la maduració
7. Final de la maduració
8. Compost final
9. Rebuig de la taula densimètrica
10. Recirculat vegetal (RCV)
11. Lixiviats
12. Aigua de reg

De vegades, els punts de presa de mostres són de difícil accés o és molt difícil prendre-hi mostres representatives; en la **taula 2.4.1** es donen uns consells respecte als volums que cal quartejar (**figura 2.3.3**) per agafar la quantitat de mostra necessària segons el punt de mostreig.

Taula 2.4.1. Volums orientatius de presa de mostres segons l'heterogeneïtat del material

	Aspecte	Volum mínim per quartejar	Volum mínim mostra
RSU	Molt heterogeni	160 L	40 L
FORM tractada mecànicament	Molt heterogeni	160 L	20-30 L
Materials en descomposició	Molt heterogeni	120 L	15 L
Materials en maduració	Heterogeni	120 L	12 L
Compost	Homogeni	80 L	10 L
Rebuig <i>trommel</i> pretractament	Molt heterogeni	1,5 m ³	-
Rebuig de taula densimètrica: groller	Homogeni	40 L	5 L
Rebuig <i>trommel</i> afí: recirculat vegetal	Heterogeni	120 L	15 L

2.4.2. Materials inicials

Els materials d'entrada que es consideren són la FORM (fracció orgànica de residus municipals) procedent de recollida selectiva i la FO-SM (fracció orgànica - separació mecànica) procedent dels RSU sense separació en origen, és a dir, que s'han de separar mecànicament a la planta, les restes vegetals triturades i les restes vegetals recirculades. Cadascun d'aquests materials té unes característiques que fan que sovint es mostregin de manera diferent.

En altres tipus de plantes es poden trobar entre els materials inicials fangs de depuradora (fàcils de mostrejar), residus animals (molt variats i heterogenis), residus d'indústries agràries i agroalimentàries (també molt variats), etc.

Mostres de fracció orgànica separada mecànicament en planta (FO-SM)

Els RSU han de passar una forta selecció mecànica i de tria manual abans d'iniciar el seu procés de compostatge. Així doncs, aquest material es mostrejarà un cop fetes les operacions mecàniques i manuals pròpies d'aquest tipus d'instal·lacions: obertura de bosses i retirada mecànica i manual d'impropis. Tot i aquests tractaments, la fracció orgànica obtinguda per separació mecànica en planta (FO-SM) amb la qual s'inicia el procés biològic presenta una gran quantitat d'impropis que acompanyen la fracció orgànica. Potser es tracta d'un material amb certa homogeneïtat quant a grandària de partícula per la tria inicial soferta, però, en canvi, presenta una gran heterogeneïtat quant a la seva composició, fet que en complica molt el mostreig.

Figura 2.4.6. Residus municipals amuntegats en diferents situacions



Mostres de fracció orgànica de residus municipals (FORM) procedent de separació en origen

Per obtenir una mostra de la FORM que arriba a una planta hi ha dues possibilitats:

a) Agafar la mostra a partir de les bosses que arriben directament a la planta (**figura 2.4.7**). Cal obrir manualment com a mínim unes 25 bosses a l'atzar i presentar per separat els diferents continguts per fer-los una foto, barrejar-los, determinar-ne la densitat aparent i prendre'n un mínim de sis submostres que constituïran la mostra final (20-30 L).

Figura 2.4.7. Obertura de mostres de fracció orgànica per fer la presa de mostres



b) Agafar la mostra de les bosses que han passat per algun tipus d'obertura i separació mecànica (**figura 2.4.8**).

Figura 2.4.8. Presa de mostres després d'un sistema d'obertura i homogeneïtzació del material



En plantes que reben molts impropis és més difícil prendre mostres representatives. Se segueix el mateix procediment indicat abans, però pot ser necessari obrir fins a 30-40 bosses o bé agafar la mostra després del sistema de separació emprat a la planta (figura 2.4.9), la qual cosa facilita la presa de mostres, però fa perdre informació. Una vegada presa la mostra, pot ser adequat separar i quantificar els impropis més grans i endur-se la resta per analitzar.

Figura 2.4.9. Sistemes complicats de separació d'impropis necessaris si no es fa la recollida selectiva en origen



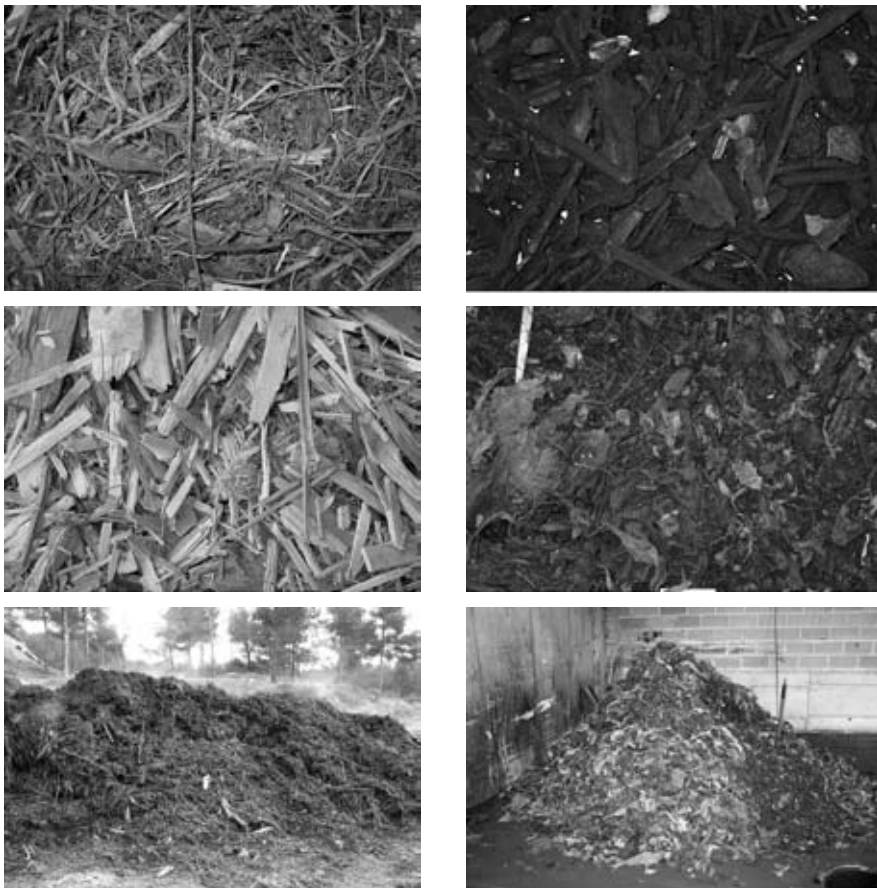
Restes vegetals triturades i recirculades

Com a material d'entrada al procés també cal prendre una mostra de les restes vegetals (RV) utilitzades per complementar les característiques de la FORM,⁶

6. L'addició de restes vegetals és necessària en la majoria de processos de compostatge tant per complementar les característiques de determinats materials (FORM, fangs, restes animals...) i evitar pèrdues de nitrogen com per assegurar la presència de cel·luloses i lignines, que són «l'esquelet» de la matèria orgànica estabilitzada del compost final.

cosa que és relativament més senzilla, però també cal assegurar la representativitat d'aquestes restes. Aquestes restes, a causa de la seva grandària i naturalesa, es consumeixen parcialment en el procés, i es pot recuperar una part en les operacions d'adequació o refí del producte final. La part recuperada rep el nom de reciclat vegetal (RCV) i pot presentar diferents graus de transformació i de quantitats d'impureses (plàstic, paper, vidre, etc.); el seu estudi és important per conèixer les característiques del rebuig generat i per establir balanços, però, sobretot perquè moltes plantes el tornen a introduir en el procés, també cal prendre'n mostres (figura 2.4.10).

Figura 2.4.10. Mostres de restes vegetals triturades (RVT) i reciclats (RCV)



Mostres de RVT

Mostres de RCV

2.4.3. Mostres de mig procés

Es consideren mostres de mig procés les corresponents a barreja (o inici de descomposició), final de descomposició, inici de maduració i final de maduració. En la **taula 2.4.1** es fa referència a la complexitat de les mostres i a la necessitat d'agafar-ne més o menys quantitat, però és sempre en la mateixa planta on es decideix com agafar la mostra depenent de si en aquell moment s'està duent a terme l'operació que interessa (**figura 2.4.11**) o bé ja s'havia fet amb anterioritat, i s'ha d'agafar d'una pila formada.

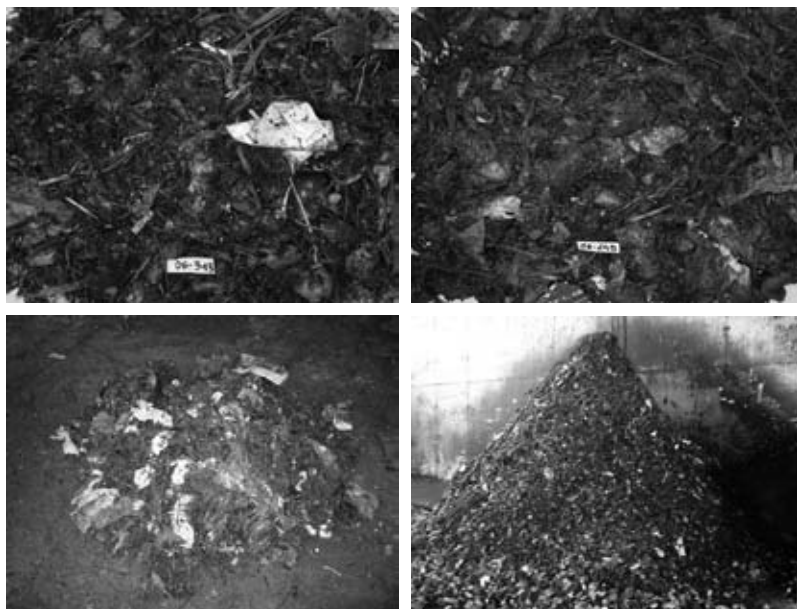
Figura 2.4.11. Presa de mostres de materials en moviment



Barreja inicial

La barreja inicial és aquell material amb el qual es comença el procés de compostatge i on es troben barrejats la fracció orgànica, les restes vegetals i el reciclat vegetal (si se n'hi posa). És més aconsellable prendre la mostra de la barreja acabada de fer que no que sigui del dia anterior. En principi, a causa del mateix fet de barrejar (normalment amb la voltejadora), les bosses es trenquen i buiden el seu contingut, però, així i tot, cal ser acurat, atès que es tracta de fraccions encara bastant grans que fan que el material no sigui prou homogeni (**figura 2.4.12**), per la qual cosa és necessari agafar prou volum de mostra important per tal que sigui representatiu.

Figura 2.4.12. Aspecte de barreges de fracció orgànica de residus municipals i restes vegetals



Final de descomposició

Quan el material té com a mínim dues setmanes de procés s'han reduït els continguts en matèria orgànica i humitat, i, en l'actualitat, a moltes plantes s'acostuma a passar el material per un *trommel*, d'entre 80 i 100 mm de llum a fi de separar els impropis encara presents,^{7,8} (principalment plàstics) abans de començar la fase de maduració (figura 2.4.13). Les dues setmanes són aconsellables per reduir el temps de contacte de la MO amb els impropis (Huerta *et al.*, 2010c), però no sempre es

7. En algunes plantes aquesta separació es fa a l'inici del procés, en fer la barreja, per evitar ocupació d'espais per impropis, però moltes vegades es generen pèrdues de material orgànic a causa de les característiques de pastositat d'alguns dels materials.

8. En plantes que tracten fangs de depuradora sovint també es passa el material per un *trommel*, després de la fase de descomposició, per separar la part vegetal de grandària superior; això té com a objecte reduir el volum que seguirà el procés, però pot provocar problemes de manca de porositat, sobretot en aquells casos en què la fase de descomposició no s'hagi desenvolupat correctament.

limita a aquest termini, sinó que s'allarga; a més a més, un material de dues setmanes tampoc no es podria considerar de final de descomposició, ja que aquesta etapa és, juntament amb la preparació de la barreja, una de les més delicades i s'ha d'assegurar que s'ha desenvolupat totalment. Per tant, aquest punt de presa de mostres és delicat per l'heterogeneïtat del material i per l'heterogeneïtat de les condicions de treball de cada planta.

En plantes de piles es fan voltejos per mantenir els nivells d'oxigen, fet que homogeneïtza i redueix la grandària dels components; però en plantes que realitzen aquesta fase dins de túnels no hi ha voltejos perquè l'aireig és forçat i, si la barreja inicial no s'ha fet gaire bé, hi poden haver complicacions en la presa de mostres i en el posterior desenvolupament del procés. Per tant, tot i que la mostra pot ser menys complexa d'agafar que en el cas de la barreja, el volum encara ha de ser important.

Figura 2.4.13. Separació d'impropis després de la fase de descomposició



Rebuig de *trommel* de mig procés

A les plantes de tractament es poden separar els impropis que arriben amb el material d'entrada en moments diferents: quan arriba el material, després de fer la barreja amb restes vegetals o, més freqüentment, quan s'acaba la fase de descomposició i abans de començar la de maduració. La separació s'acostuma a fer amb *trommel*. Teòricament, el rebuig resultant ha de ser inert; no obstant això, conté també matèria orgànica de mida superior a la llum del *trommel* o que ha estat arrossegada pel rebuig. En general, es tracta d'un material poc dens, ja que la major part del contingut

són plàstics (figura 2.4.13 i 2.4.14). El mostreig que se'n fa consisteix a separar les diferents fraccions de plàstics, vidre, paper, tèxtil, etc., de la matèria orgànica present d'una mostra prou representativa i a pesar cadascuna per determinar-ne el percentatge (figura 2.4.15). Aquesta mesura pot donar una idea de l'eficiència de la separació de components i de la quantitat de matèria orgànica que es perd en el procés.

Figura 2.4.14. Rebuig de mig procés



Figura 2.4.15. Separació de les fraccions del rebuig de *trommel* de 80 mm



FO fina



FO grollera



Metall



Plàstic fi



Plàstic dur



Paper

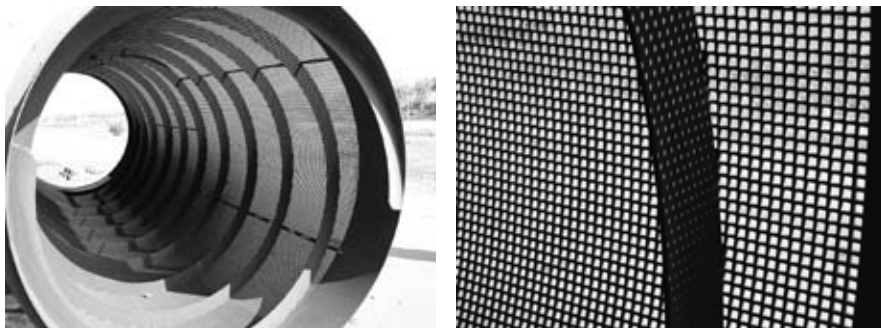
Inici de maduració

El material d'inici de maduració presenta menys impropis, per motiu de la selecció amb *trommel*, i un aspecte més homogeni, fets que faciliten la presa de mostra. A causa de la transformació soferta durant la fase de descomposició, es redueix el contingut en humitat i la matèria orgànica més degradable hauria d'haver desaparegut, així com les olors desagradables. És aconsellable fer el mostreig quan el material de final de descomposició està passant pel *trommel* de mig procés.⁹

Final de maduració

Al final de la maduració ja han passat com a mínim unes deu setmanes de procés, durant les quals s'han fet voltejos i s'han reduït molt els continguts d'humitat i de matèria orgànica. El material orgànic hauria de tenir un aspecte homogeni i de cap manera no haurien de diferenciar-se els components que es troben en la FORM, però encara poden haver-hi impropis o restes vegetals grans, que es retiraran amb el procés de refí, que, per tant, generarà diferents tipus de rebuigs. El procediment habitual consisteix a passar un *trommel* de refí, d'entre 10 i 15 mm de llum (figura 2.4.16) i, a continuació, la taula densimètrica; algunes plantes, entre l'un i l'altre,

Figura 2.4.16 Trommel de refí i detall de la llum de pas



9. Si en la planta on es duu a terme la presa de mostres se segueix una altra pauta de treball i no s'utilitza el *trommel* a mig procés, pot ser necessari agafar més quantitat de mostra i passar-la per un sedàs abans de fer les anàlisis pertinents, i aprofitar per caracteritzar i per pesar la quantitat de rebuig generat.

tenen sistemes d'aspiració de plàstics. El rebuig del *trommel* és el recirculat vegetal, que algunes instal·lacions tornaran a reincorporar en el procés, mentre que la taula densimètrica (figura 2.4.17) genera tres rebuigs diferents: pols, que es pot incorporar al compost final, rebuig groller i rebuig de pedres i sorres.

Figura 2.4.17. Taula densimètrica

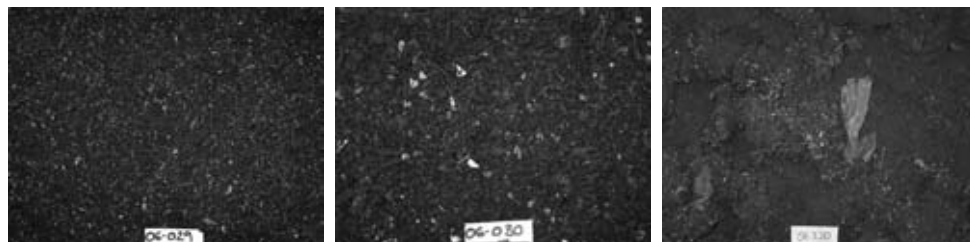


Rebuig de taula densimètrica

La taula densimètrica separa l'enfonsat de *trommel* de refí segons la densitat de les partícules, no per grandària. Els diferents corrents permeten separar, per una part, els rebuigs, un pesant i sorrenc i un altre més lleuger, de partícules de mida més gran i, per una altra part, el compost; a més a més, també hi intervé un aspirador que retira la pols que es genera en aquesta operació i que moltes plantes reincorporen al compost final. Algunes plantes, però, no separen aquests corrents de rebuig i els retiren tots conjuntament per portar-los a l'abocador. En qualsevol cas, mostrejar-los té l'interès de conèixer la quantitat de matèria orgànica que es perd per cada rebuig (figura 2.4.18). El mostreig és senzill, ja que es tracta de materials força homogenis.

S'ha de tenir en compte, però, que de vegades, si la taula densimètrica no està ben calibrada, els rebuigs de la taula densimètrica no estan tan clarament dife-

Figura 2.4.18. Rebuigs de taula densimètrica



Rebuig de pedres i sorres

Rebuig groller

Pols d'aspiració

renciats, i així també poden arrossegar una part important de matèria orgànica (compost), que es perd (figura 2.4.19).

Figura 2.4.19. Rebuig de taula densimètrica amb mal funcionament



2.4.4. Mostres líquides

Lixiviats

Els lixiviats es generen en diferents punts del procés (en l'arribada dels materials,¹⁰ en fer les barreges, en la fase de descomposició, en regar piles, en ploure, en

¹⁰ És molt important que la FORM s'aboqui sobre un llit de RV triturats quan arriba.

accions de neteja...) (figura 2.4.20) i es recullen en basses o dipòsits que permeten fer-los servir per regar les piles en la fase de descomposició. Acostumen a ser complicats d'agafar (figura 2.4.21), malgrat que hi ha plantes que disposen de basses obertes d'accés relativament fàcil, mentre que d'altres són cobertes o fins i tot soterrades, la qual cosa obliga a buscar punts de mostreig alternatius, com vàlvules o canaletes de lixiviats de pila, però cal tenir en compte que segons on s'agafin en varia la composició (taula 2.4.2); si es fan servir per regar, la mostra més representativa és la que s'agafa a la bassa o al dipòsit general. Per estudiar els que s'han obtingut dels canals recol·lectors o els que surten directament de pila es fa servir una xeringa de 50-100 mL, prèviament rentada amb àcid nítric diluït i també amb la mateixa mostra.

Taula 2.4.2. Composició de lixiviats agafats en diferents punts d'una planta de compostatge de RM (Lorenzo, 1998)

	Lixiviats procedents de				
	FO 1	FO 2	FV mercat	Canaleta de descomposició	Bassa lixiviats
pH	4,65	5,15	5,20	5,40	7,57
CE, dS/m	18,5	13,5	8,6	37,4	2,53
g MS/L	85,9	71,0	46,3	117,0	2,27
g MO/L	62,0	63,7	36,5	71,0	
mg N/L	2.463	2.110	849	3.791	158
mg N-NH ₄ /L	390	288	124	1.210	51
mg Cl/L	2.585	1.000	1.273	5.969	
mg Na/L	2.430	1.660	450	3.530	160
mg Fe/L	270	596	135	108	6,5
mg Zn/L	5,6	5,8	2,8	8,8	0,6
mg Cu/L	2,2	3,4	2,3	1,3	0,1
mg Cd/L	0,05	0,03	0,01	0,03	0,005

S'ha de tenir en compte que els lixiviats poden generar gas si es deixen molt de temps a temperatura ambient i tapats, i poden arribar a rebentar el contenidor.

Figura 2.4.20. Punts de generació de lixiviats*Arribada de la brossa**A les piles***Figura 2.4.21. Punts de recollida de mostra de lixiviats***Bassa oberta**A peu de pila*

Aigua de reg

El mostreig de l'aigua presenta problemàtiques semblants a les dels lixiviats a causa de la situació de les basses (**figura 2.4.22**), amb la diferència que hi ha plantes que reguen amb aigua de xarxa, cosa que permet prendre la mostra de qualsevol punt d'abastament. No obstant això, la majoria de les instal·lacions fan servir aigües pluvials que es recullen en basses, cobertes o no, o soterrades. El mostreig de les basses d'aigua consisteix també a emplenar un cubell, quan s'hi pot accedir, o a través d'alguna arqueta de pas.

Figura 2.4.22. Basses d'aigua de reg



Mostres líquides de plantes que combinen digestió anaeròbia i compostatge

Les plantes que combinen digestió anaeròbia i compostatge solen ser de gran capacitat i generen moltes mostres líquides i pastoses (**taula 2.4.3**) que cal agafar en diferents punts del procés (**figura 2.4.23**). Abans d'entrar els residus en els digestors s'hi acostuma a afegir líquid en més o menys quantitat segons les condicions de treball (contingut en matèria seca del material per digerir), que majoritàriament correspon al recirculat obtingut en centrifugar el digerit; fins i tot es fa un pretractament de la barreja (*pulpers*, tancs d'hidròlisi) que origina diferents punts de mostreig que no apareixen en plantes que només apliquen compostatge.

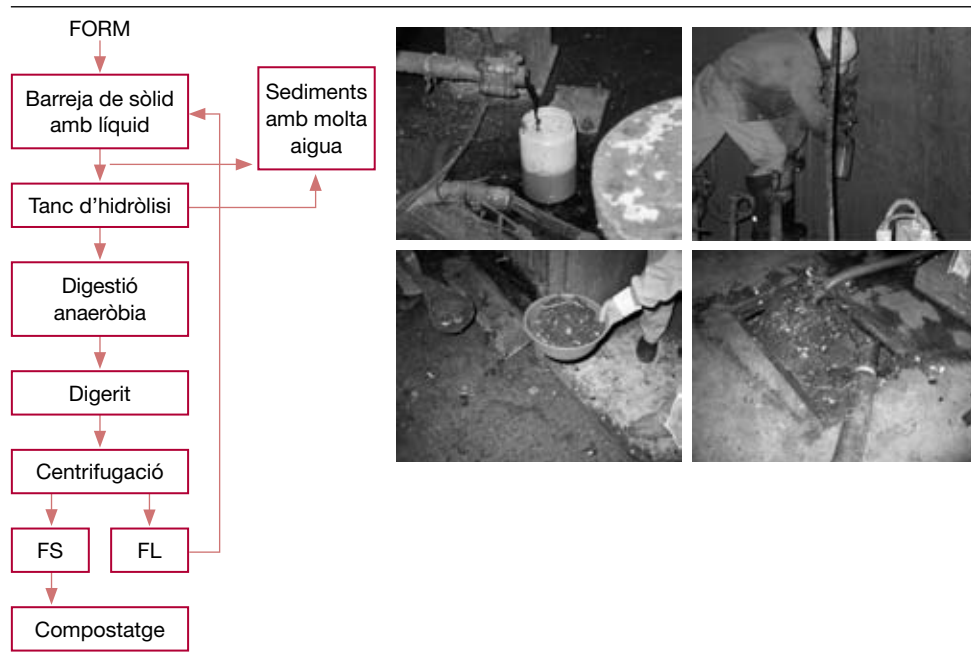
Taula 2.4.3. Composició de diferents mostres líquides agafades en plantes de cicle combinat (MIMAM-ESAB-ARC, 2007)

	M1	M2	M3	M4
pH	7,90	7,85	7,87	8,21
CE (mS cm ⁻¹)	28,85	27,65	10,72	9,38
ST (g L ⁻¹)	18,23	15,81	119,0	124,3
Densitat (g cm ⁻³)	1,030	1,020	1,025	1,025

.../...

	M1	M2	M3	M4
N-NH ⁺ 4 (g L ⁻¹)	2,88	2,80	4,65	4,38
MOT (g L ⁻¹)	6,55	5,28	67,59	73,30
N _{org} (g L ⁻¹)	0,19	0,31	3,10	3,39
Fe (mg L ⁻¹)	173	114	830	910
Zn (mg L ⁻¹)	3,92	2,55	44,9	28,5
Cu (mg L ⁻¹)	1,33	0,94	14,2	9,8
Ni (mg L ⁻¹)	0,30	0,22	2,8	1,4
Cr (mg L ⁻¹)	0,34	0,21	4,1	2,3
Pb (mg L ⁻¹)	0,42	0,32	7,8	5,1
Cd (mg L ⁻¹)	0,01	0,01	0,11	0,10

Figura 2.4.23. Esquema molt simplificat d'una planta de cicle combinat i imatges de diferents punts de mostreig



Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

BIDLINGMAIER, 1994; BINNER *et al.*, 1997; DOU *et al.*, 2001; HORWITZ, 1988; LA COUR JANSEN *et al.*, 2004; ORCA, 1994; TERASHIMA *et al.*, 1984.

3. Determinació de densitats *in situ*

3.1. Introducció

La densitat aparent és un paràmetre important que cal determinar malgrat que moltes vegades es passa per alt. El seu valor condiona el dimensionament de les plantes i pot informar, indirectament, de l'adequació de les barreges perquè siguin fàcils d'oxigenar o de la transformació soferta pels materials al llarg del procés.

Si el material és molt dens, ocuparà menys volum, però presentarà dificultats per ser airejat. Si la densitat aparent és molt baixa, s'autoairejarà però correrà el perill d'assecar-se fàcilment. La variació de la densitat aparent al llarg del procés pot informar de com es va transformant el material (Huerta-Pujol *et al.*, 2010b).

De vegades, a les plantes es determina amb grans volums pesant camions o pales (figura 3.1), però en el cas del mostreig, les quantitats que cal pesar són molt

Figura 3.1. Pala carregadora



més petites i poden ajudar a entendre l'evolució del procés a cada planta, sempre que es mantinguin les condicions de la metodologia.

3.2. Material

- Recipients de volum conegut (com a mínim de 20 L) i preferiblement cilíndrics
- Balança
- Raser (llistó de fusta o similar)

3.3. Procediment

El procediment consisteix a fer diverses pesades d'un recipient (cubell) ple, del qual es coneix el volum (**figura 3.2 i 3.3**) i la tara. Per tal d'agilitzar la feina en el mostreig convé tenir identificat cada cubell i conèixer-ne el pes (la tara). És molt important que el material de dintre del cubell tingui sempre el mateix grau de compactació; per aquesta raó, i seguint allò que aconsella el mètode del US Composting Council (2002), es divideix el volum del cubell en tres parts iguals, senyalitzant-lo bé. Amb una part del material mostrejat prèviament s'omple el cubell fins al primer senyal i sobre una superfície plana s'aixeca 15 cm i es deixa caure 10 vegades. Se segueix afegint material fins al segon senyal i es repeteix la compactació. S'omple fins al tercer i es torna a compactar de la mateixa ma-

Figura 3.2. Aspecte de cubells amb diferents tipus de mostres



nera. A continuació, s'omple el cubell sense repetir la compactació, es rasa amb un nivell (es pot fer servir un llistó de fusta) de tal manera que no en sobresurti material. Després es pesa el cubell ple i compactat.

Cal repetir-ho quatre vegades per a materials homogenis i entre sis i deu per a materials més heterogenis.

Figura 3.3. Determinació de la densitat aparent en una granja



Cocker, 2009

3.4. Càlculs

La densitat aparent s'obté de la manera següent:

$$DA = \frac{P_p - P_c}{V_c}$$

On:

DA = densitat aparent (kg L^{-1});

P_p = pes del cubell ple (kg);

P_c = pes del cubell buit (kg);

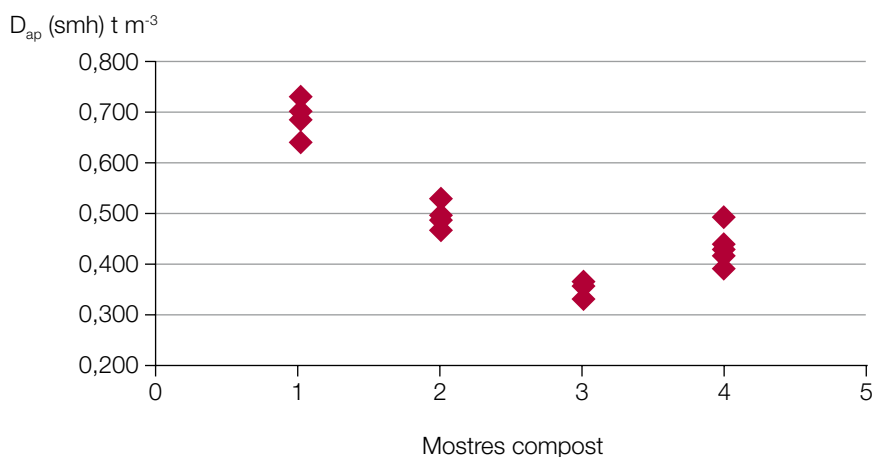
V_c = volum del cubell (L).

Aquesta és la densitat aparent sobre mostra humida. A partir dels resultats del contingut en humitat de la mostra es pot expressar en mostra seca, que pot facilitar la comparació de mostres.

3.5. Comentaris

És important que el material amb el qual s'empleni el cubell estigui mínimament homogeneïtzat perquè les repeticions siguin representatives. En la **figura 3.4** es representen els valors trobats per a mostres de compost de diferents plantes i la seva repetibilitat (sis determinacions per mostra) i en la **figura 3.5** es dóna la densitat de la FORM que arriba a diferents plantes de compostatge (Huerta *et al.*, 2010c).

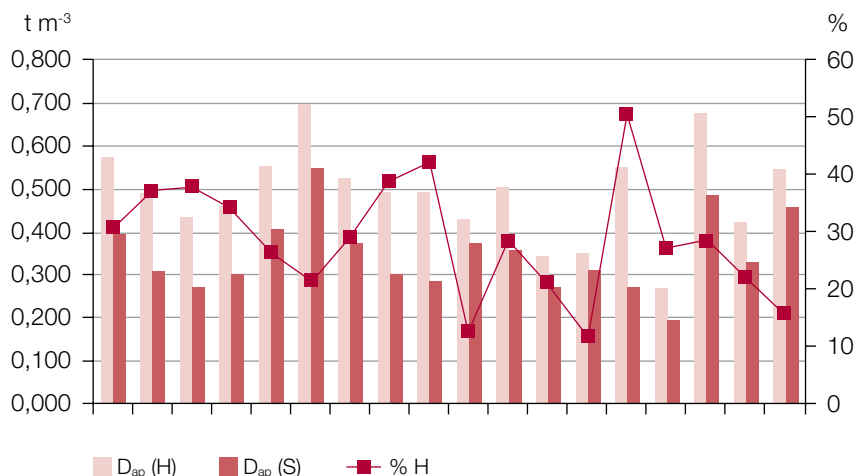
Figura 3.4. Repetibilitat de la densitat aparent de quatre mostres de compost



Amb els resultats experimentals de la densitat aparent i calculant la densitat real segons els continguts de matèria orgànica i matèria mineral es poden fer estimacions de la porositat de les mostres. Malgrat haver-hi sistemes per determinar la porositat (Ansorena, 1994; Annan i White, 1998) aquests tenen dificultats en l'obtenció de mostres representatives i en el seu maneig; es considera que els resultats obtinguts per estimació poden ser prou aproximats per ser d'utilitat. Diferents autors han proposat equacions empíriques que relacionen la densitat aparent amb el FAS:

- $FAS = 101,84 - 0,0922 D_{ap}$ (H) Mohee i Mudhoo, 2005
- $FAS = 100 - 0,09 D_{ap}$ (H) Stofella i Kahn's, 2001
- $FAS = 102,69 - 0,089 D_{ap}$ (H) Baker *et al.*, 1998

Figura 3.5. Valors de la densitat aparent (smh i sms) i del contingut en humitat de mostres de compost de FORM



Pot ser informatiu, en el cas de barreges inicials, tornar a determinar la densitat sota diferents graus de compactació per esbrinar si l'estructura del material es manté o no. En la **taula 3.1** es mostra la variació de densitat aparent, i, per tant, de porositat, de material complementari (estella) recirculat d'un procés de compostatge en afegir-hi a sobre un pes equivalent a l'alçada de material que s'indica.¹¹

Taula 3.1. Variació de la densitat aparent i de la porositat de materials utilitzats com a complementaris en processos de compostatge sotmesos a diferents càrregues

	% MS	% MO	DA smh	DR sms	DR smh	DA sms	% porositat	cm, h equivalent del material
Estella	84,35	95,00	0,229	1,531	1,413	0,193	83,79	17
			0,229	1,531	1,413	0,193	83,79	125
			0,229	1,531	1,413	0,193	83,79	166

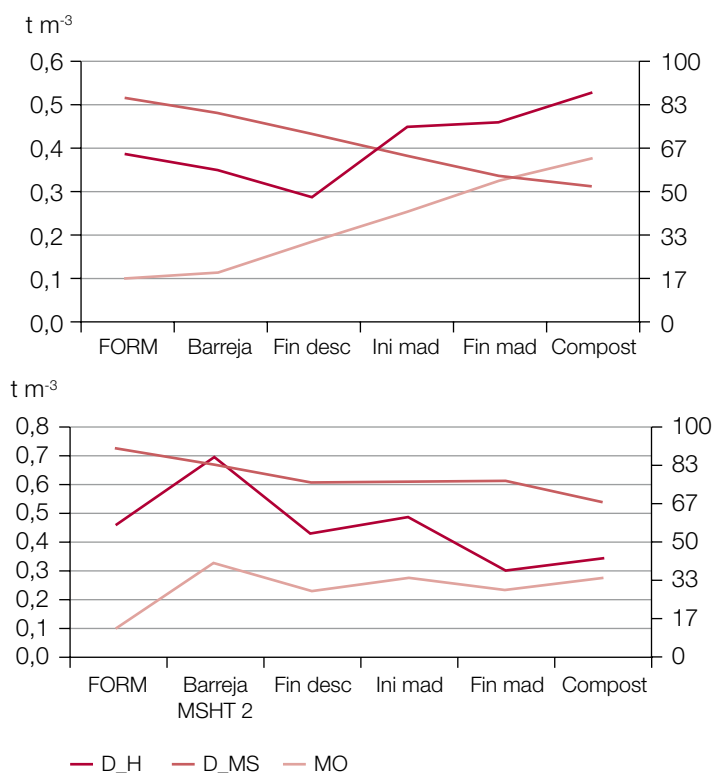
.../...

11. Dades no publicades facilitades per Josep Saña. Tècniques de Gestió Ambiental SL.

	% MS	% MO	DA smh	DR sms	DR smh	DA sms	% porositat	cm, h equivalent del material
Recirculat	69,62	90,00	0,337	1,563	1,334	0,234	74,77	17
			0,397	1,563	1,334	0,276	70,26	75
			0,427	1,563	1,334	0,298	67,98	115

La variació de la densitat aparent dels materials al llarg del procés pot ser informativa del seu desenvolupament (figura 3.6).

Figura 3.6. Variació de la densitat aparent (smh i sms) i dels continguts en matèria orgànica de mostres representatives de diferents punts del procés de dues plantes de compostatge (Huerta et al., 2010c)

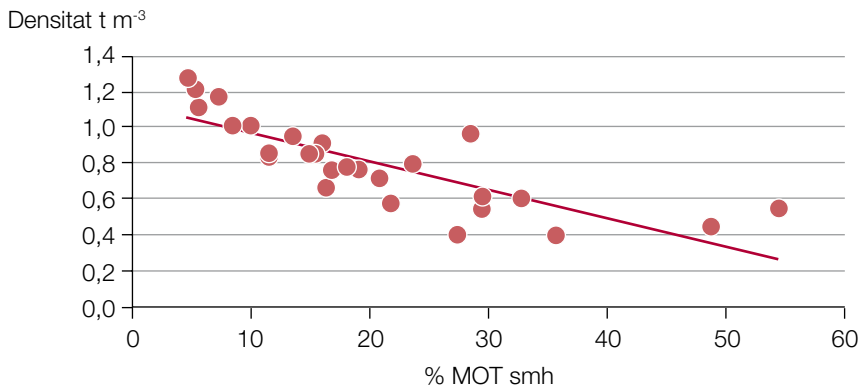


La densitat aparent varia amb el contingut en humitat i matèria orgànica de les mostres, per la qual cosa, a vegades, té interès expressar la densitat aparent sobre mostra seca (figures 3.5 i 3.6 i taula 3.2). Alhora, en mostres de rebuig de refí, la densitat aparent està molt relacionada amb el contingut en MO, i això pot servir a les instal·lacions per disposar fàcilment d'informació sobre la quantitat de matèria orgànica (compost) que es perd amb aquest tipus de rebuig (figura 3.7).

Taula 3.2. Densitat aparent de materials de diferents punts del procés de compostatge (expressada en matèria humida i seca) acompanyada del contingut en MO de cada tipus de mostra

	FORM	Inici descomposició	Inici maduració	Compost
% MO sms	85,46	79,91	63,67	51,85
D aparent (t mh/m ³)	0,384	0,346	0,444	0,526
D aparent (t ms/m ³)	0,096	0,111	0,249	0,374

Figura 3.7. Correlació entre la densitat aparent i el contingut en matèria orgànica de mostres de rebuig d'afí de diferents mostres de plantes de compostatge de FORM (Huerta *et al.*, 2010c)



3.6. Resultats de referència

En la **taula 3.3** es donen les densitats aparents de mostres de FORM i de compost final determinades a diferents plantes de compostatge de Catalunya, a par-

tir de la determinació del pes de volums de 20 L, acompanyades del percentatge d'humitat.

Taula 3.3. Densitat aparent de diferents mostres de FORM i de compost (Huerta et al., 2010c)

	Densitat aparent (t mh/m ³)						Mitjana	% H
FORM	0,419	0,434	0,478	0,438	0,510	0,466	0,457	77,29
FORM	0,356	0,413	0,407	0,373	0,375	0,384	0,384	74,96
FORM	0,452	0,416	0,496	0,404	0,434	0,456	0,443	71,18
FORM	0,635	0,469	0,532	0,548	0,575	0,447	0,534	69,74
FORM	0,446	0,594	0,463	0,300	0,420	0,441	0,444	74,67
FORM	0,513	0,580	0,611	0,694	0,469	0,564	0,572	57,95
Compost	0,496	0,504	0,479	0,485	0,483	0,457	0,484	41,93
Compost	0,332	0,331	0,349	0,361	0,360	0,326	0,343	20,98
Compost	0,520	0,516	0,539	0,528	0,538	0,515	0,526	28,83
Compost	0,649	0,673	0,606	0,662	0,638	0,670	0,650	40,96
Compost	0,449	0,467	0,395	0,430	0,450	0,440	0,439	37,63
Compost	0,707	0,684	0,640	0,708	0,696	0,734	0,695	21,64

Continguts en humitat

En la **taula 3.4** es donen les densitats aparents de mostres de FORM, RVT, de les seves barreges i d'altres punts del procés determinades a una planta de compostatge de Catalunya a partir de la determinació del pes de volums de 2 m³ mesurats amb una pala carregadora. En la **taula 3.5** s'indiquen els continguts en humitat dels mateixos materials.

Taula 3.4. Densitats aparents de materials de diferents punts del procés determinades utilitzant volums de 2 m³ (Fernández i Garcia, 2007)

Densitat (t m ⁻³)	FORM	RVT	Barreja	Final descomposició	Inici maduració	Final maduració	Compost
Túnel F	0,60	0,18	0,60	0,60	0,67	0,27	0,45
Túnel B	0,59	0,27	0,73	0,75	0,79	0,27	0,46
Túnel A	0,61	0,27	0,77	0,77	0,68	0,30	0,47
Túnel C	0,61	0,44	0,70	0,74	0,80	0,24	0,69
Túnel D	0,59	0,37	0,74	0,74	0,77	0,25	0,61
Mitjana	0,60	0,31	0,71	0,72	0,74	0,27	0,54

Taula 3.5. Humitat de materials de diferents punts del procés (Fernández i Garcia, 2007)

Humitat (%)	FORM	RVT	Barreja	Final descomposició	Inici maduració	Final maduració	Compost
Túnel F	75,0	15,3	64,1	54,8	55,5	35,4	34,0
Túnel B	75,0	18,0	63,8	60,2	60,3	45,7	45,0
Túnel A	75,0	27,8	63,3	54,7	54,2	40,3	40,2
Túnel C	75,0	32,0	67,5	61,1	56,1	44,9	48,5
Túnel D	75,0	30,0	67,0	52,9	52,8	46,9	47,0
Mitjana	75,0	24,6	65,2	56,7	55,8	42,6	42,9

Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

AGNEW, J.M. i LEONARD, J.J. 2003; ADHIKARI *et al.*, 2008; COOPERBAND, 2002; KEENER *et al.*, 2008.

4. Transport i conservació de les mostres

El transport i la conservació de la mostra són fonamentals per tal que les determinacions analítiques siguin fiables. S'ha de considerar que sobretot les mostres més degradables, com les de materials inicials i de mig procés, es poden fer malbé si no es condicionen per ser transportades i conservades. En aquest aspecte convé diferenciar entre mostrejos immediats, és a dir, aquells en què es mostreja el material i es porta al laboratori, i aquells altres en què, com que no es fan els mostrejos en llocs pròxims al laboratori, les mostres triguen un o dos dies a arribar.

4.1. Procediment

4.1.1. Manipulació i envasament per al transport de la mostra

Per al transport de mostres, quan es tracta d'un trajecte llarg, superior a sis hores, es recomanen unes condicions mínimes d'envasament i d'identificació de la mostra.

La mostra ha d'anar envasada hermèticament en una nevera d'estructura rígida amb una capacitat mínima de 25 L, depenent del volum final de la mostra recollida. Per conservar-la ha de mantenir-se a temperatura baixa. Els envasos de *te/gopor* (geleres tipus càmping) amb gel comú són adequats per a aquesta finalitat, i se n'hauria de posar com a mínim quatre per mostra.

Quan estigui previst que les mostres hagin de romandre més d'un dia a la nevera de transport, s'aconsella acompanyar-les de gel sec, que permet conservar-les durant més temps i a menor temperatura. Cal recordar que el gel sec no pot romandre dins d'un recipient tancat de forma hermètica i, per tant, és imprescindible foradar-lo o obrir-lo mínimament per deixar anar el CO₂; a més a més, cal manipular el gel amb guants. En el cas de mostres líquides (aigua, lixiviats), per tal

d'evitar el moviment dins de la nevera, cal envoltar l'envàs d'agents de volum que en limitin el moviment i li donin protecció enfront d'alteracions brusques de posició. També cal recordar que, en el cas dels lixiviats, és important que la durada del transport sigui tan curta com sigui possible i, si no pot ser, assegurar les condicions de fred, ja que si es tanquen en pots hermètics i a temperatura ambient es poden produir fermentacions que poden fer rebentar el contenidor.

Un cop la mostra es trobi dins de la nevera amb la documentació que li pertoca es procedeix a segellar la nevera amb cinta adhesiva assegurant que quedi ben tancada i hermètica.

4.1.2. Conservació de la mostra humida

Per fer les determinacions sobre mostra humida (test d'autoescalfament, test Solvita, extracte aquós i humitat), el més adient és fer-ho immediatament quan la mostra arribi al laboratori.

Si s'ha de conservar, es refrigera la mostra a 4 °C. A aquesta temperatura es minimitza l'activitat microbiana i, d'altra banda, els composts madurs o quasi madurs es veuen poc afectats per la conservació en fred. Però també s'ha de tenir en compte que, encara que la degradació a 4 °C és molt inferior que a temperatura ambient, si la conservació és molt llarga, també pot afectar algun resultat, com, per exemple, el test d'autoescalfament (**vegeu l'apartat 34**), fent que les mostres semblin més madures del que realment són.

Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

BUTLER *et al.*, 2001; WU i MA, 2001.

5. Descripció sensorial de la mostra

5.1. Introducció

La descripció sensorial de la mostra pot aportar una informació molt valuosa per a la interpretació dels resultats analítics. Una primera impressió a partir de l'aspecte visual i l'olor pot dir molt sobre l'estat de maduresa i les condicions que ha sofert (per exemple, si ha patit anaerobiosi). És una feina imprescindible de fer el mateix dia que arriba la mostra al laboratori, ja que amb el temps pot transformar-se i perdre l'olor inicial o hi poden aparèixer fongs.

5.2. Materials

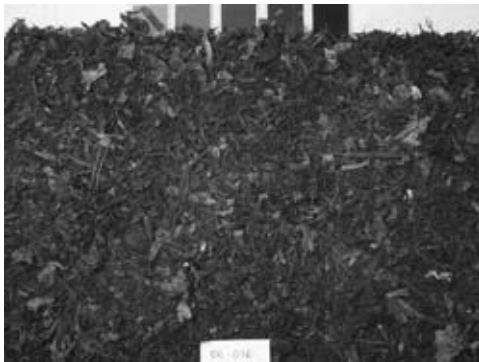
- Càmera fotogràfica
- Paleta de colors
- Model de fitxa descriptiva

5.3. Procediment

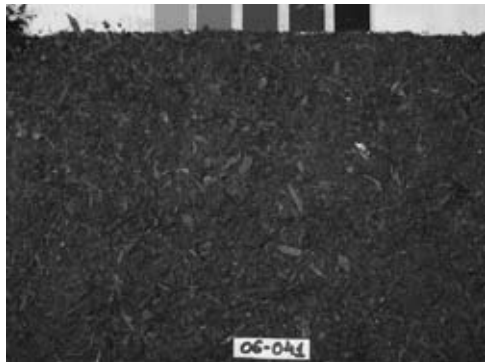
Totes les mostres es doten d'un mínim de dues fotografies, una de caràcter general i una altra de detall per donar una idea de la grandària de partícula predominant. Les fotografies permeten recordar en qualsevol moment l'aspecte de la mostra, sobretot en mostres que no siguin de compost, ja que són molt més heterogènies, i poden ajudar en la interpretació de les anàlisis. En el cas de mostres de compost, es fa també una descripció sensorial (**vegeu l'annex 1**) i en la fotografia s'en destaca la coloració amb l'ajut d'una paleta de colors. La descrip-

ció sensorial permet obtenir molta informació sobre la qualitat de la mostra. Per una part, l'olor dóna idea de l'estat del procés en el moment d'agafar la mostra, i es poden identificar principalment les olors de podrit, d'amoníac, d'ensitjat i de terra de bosc; per una altra, la inspecció visual permet valorar la quantitat d'impuris o impureses o el contingut en fracció vegetal. Finalment, el tacte reflecteix la humitat de la mostra i el nivell de compactació.

Figura 5.1. Fotografies de mostres de compost

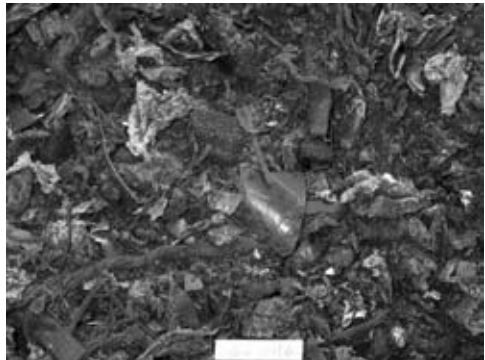
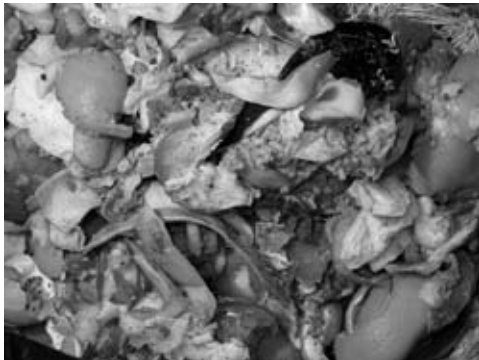


Compost amb moltes impureses



Compost amb poques impureses

Figura 5.2. Mostres heterogènies



Taula 5.1. Components identificats o implicats en les olors d'una planta de compostatge (Hoitink i Keener, 1993)

Nom	PM	PE	Solubilitat per 100 mL d'aigua	Olor	Nivell de detecció		
					baix, µg/m ³	alt, µg/m ³	ADL, µg/m ³
Components sulfurats							
Sulfur d'hidrogen	34,1	-60,7	437 ml	Ous podrits	0,7	14	6,7
Sulfur de carbonil	60,1	-50,2	50ml	Intens	*	*	*
Sulfur de dimetil	62,1	37,3	Insoluble	Col podrida	2,5	50,8	2,5
Disulfur de dimetil	94,2	109,7	Insoluble	Sulfhídric	0,1	346	*
Trisulfur de dimetil	126,2	165	Insoluble	Sulfhídric	6,2	6,2	*
Metanotiol	48,1	6,2	Molt lleu	Sulfhídric, intens	0,04	82	4,2
Etanotiol	62,1	35	Molt lleu	Sulfhídric, terra	0,032	92	2,6
Components nitrogenats							
Amoníac	17	-33,4	90 g	Intens, fort	26,6	39.600	33.100
Aminometà	31,6	-6,3	Molt	Peix, intens	25,2	12.000	*
Dimetilamina	45,1	7,4	Molt	Peix, amina	84,6	84,6	88,1
Trimetilamina	59,1	2,9	Moll	Peix, intens	0,8	0,8	0,52
3-metilindol (skatol)	131,2	265	Soluble	Excrements, xocolata	$4,0 \cdot 10^{-5}$	268	*
Àcids grassos volàtils							
Metanoic (fòrmic)	46	100,5	Inf.	Penetrant	45	37.800	*
Etanoic (acètic)	60,1	118	Inf.	Vinagre	2.500	250.000	2.500
Propanoic (proniònic)	74,1	141	Inf.	Ranci intens	84	60.000	*
Butanoic (butíric)	88,1	164	Inf.	Ranci	1	9.000	3,7

.../...

Nom	PM	PE	Solubilitat per 100 mL d'aigua	Olor	Nivell de detecció		
					baix, µg/m ³	alt, µg/m ³	ADL, µg/m ³
Pentanoic (valèric)	102,1	187	3,7 g	Desagradable	2,6	2,6	*
3-metilbutanoic (isovalèric)	102,1	176	4 g	Formatge ranci	52,8	52,8	*
Cetones							
Propanona (acetona)	58,1	56,2	Inf.	Dolç, menta	47.500	1.610.000	241.000
Butanona (MEK)	72,1	79,6	Molt	Dolç, acetona	737	147.000	30.000
2-pentanona (MPK)	86,1	102	Lleu	Dolç	28.000	45.000	*
Altres compostos							
Benzotiozol	135,2	231	Inf.	Penetrant	442	2.210	*
Etanal (acetaldehid)	44,1	20,8	Inf.	Dolç, fresc	0,2	4.140	385
Fenol	94,1	181,8	Soluble	Medicinal	178	2.240	184

PM: pes molecular; PE: punt d'ebullició (°C)

5.4. Comentaris

És important que les fotografies es facin en condicions similars d'il·luminació per poder comparar entre mostres. Pot ser positiu tenir una referència de les condicions de la càmera quan es fan les fotografies.

A Alemanya hi ha el test anomenat *Bonitur*, que intenta donar una impressió general de la qualitat del compost sense haver d'esperar els resultats complets de les anàlisis químiques; pretén fer una valoració sistematitzada i senzilla a partir de valorar, en una escala de quatre, els paràmetres següents:

- grau d'estabilitat (test d'autoescalfament)
- humitat
- granulometria
- impureses
- compactació

- textura
- color
- olor

Al nostre laboratori se'n va fer una adaptació, que es va utilitzar els anys 1992-1994 i de la qual se'n mostren uns models en les **taules 5.2, 5.3 i 5.4.**

Taula 5.2. Test Bonitur per a compost de RSU

Planta		Mostra		Data
Test d'autoescalfament °C				
Humitat %				
Impureses	% C _{tot}	Diferència		
% C _{<5}				
% impureses 12,5-5 (sms)				
Granulometria		f	% acum.	
> 40		> 40		
40-25		< 40		
25-12,5		< 25		
12,5-6,3		< 12,5		
6,3-5		< 6,3		
5-2		< 5		
< 2		< 2		
Compactació				
Textura				
Color				
Olor				

B= ; b= ; d= ; D= .

Qualificació

Taula 5.3. Test Bonitur per a compost de RSU. Valoració de paràmetres físics

Test d'autoescalfament	Ben madur	B	Gairebé madur	b	Fresc	d	Molt fresc	D
	20-35 °C		35-45 °C		45-55 °C		> 55 °C	
Humitat	Sec	B	Poc humit	B	Humit	b	Molt humit	D
	< 30%		30-40%		40-55%		> 55%	
Granulometria	Molt fi	B	Fi	B	Mig groller	B	Groller	D
	99% < 6,3		99% < 12,5		99% < 40		99% no < 40	
Impureses	Poques	B	Algunes	b	Bastant	d	Moltes	D
– impureses – cendres	< 2% sms < 0,5%		2-5% sms 0,5-2%		5-10% ms 2-5%		> 10% sms > 5%	
Compactació	Esponjós	B	Poc esponjós	b	Compacte	d	Molt compacte	D
Textura	Grumollós	B	Granulós	b	Coherent	d	Pastós	D
Coloració	Negre	B	Gris	b	Marró	b	Heterogeni	D
Olor	Neutre	B	No gaire desagrad.	b	Desagrad.	d	Molt desagrad.	D
Qualificació	Bo		Acceptable		Deficient		Dolent	
Condicions	B > 3		B + b = 8		d = 2		D + d = 3	
	i		o		o		o	
	d = 0		d = 1		D = 1		d > 2	
	D = 0		D = 0				o	
							D > 1	

Taula 5.4. Exemple d'aplicació del test Bonitur a una mostra de compost de RSU de l'ESAB

1. Impureses	A: < 2% sms		2
Vidres, pedres, sorra, ferro (rentat de cendres) > 2 mm	B: 2-10%	7,6	+1
	C: > 10%		0
Plàstics, cartró, tèxtil (visualment)	A: No se'n detecten		2
	B: Poques	***	+1
	C: Presència molt evident		0
2. Granulometria	A: < 2 mm	***	1
% sobre mostra humida	B: A + 50% (2-12,5 mm)	56,4	+2
	C: Ni A ni B		0
3. Conductivitat	A: < 3 dS/m		4
Conductivitat elèctrica	B: 3-4		3
en dS/m de l'extracte	C: 4-5		2
aquós en una relació	D: 5-6		1
MS/aigua = 1/5	E: > 6	7,2	+0
4. Color	A: marró fosc		+2
De l'extracte aquós	B: marró clar	***	1
	C: groc		0
5. Olor	A: terra vegetal		3
	B: neutre	***	+2
	C: desagradable		1
	D: molt desagradable		0
6. Grau de maduresa	A: < 35 °C		4
Determinat amb el test	B: 35-50		3
d'autoescalfament	C: 50-60		2
	D: 60-65		1
	E: > 65	66,8	+0
7. Humitat	A: < 25	15,1	+0
	B: 25-40		1
	C: > 40		0
Qualitat	Mitjana	Total	8

Qualitat: Molt Bona: > 16; Bona: 16-12; Mitjana: 11-7; Baixa: < 7

També els anys 1998-2001, en el marc de convenis amb el Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona, es valoraven diferents aspectes de les mostres

de compost de 0 a 5. Se'n mostren alguns exemples en la **taula 5.5**, i en la **taula 5.6** es mostra un altre tipus de valoració.

Taula 5.5. Valoració sensorial de mostres de compost (informes de convenis ESAB-SMADB)

Valoració sensorial de mostres comercials de planta C

Mostra	99-018	99-035	99-078	99-099	99-055	99-056
Olor	3	4	3	3	4	3
Aspecte	5	5	4	4	5	3 humida
Color	5	4	4	4	5	5

Valoració sensorial de mostres comercials de la planta T

Mostra	99-014	99-032	99-050	99-074	99-095
Olor	5	3	3	4	4
Aspecte	4	4	3	3	3
Color	5	5	3 molt seca	3 molt seca	3 molt seca

Valoració sensorial de mostres comercials d'S

Mostra	99-026	99-041	99-067	99-091
Olor	1	1	2	3
Aspecte	2	2	3	4
Color	3	3	4	4

Taula 5.6. Valoració sensorial de mostres de diferent edat (informes de convenis ESAB-SMADB)

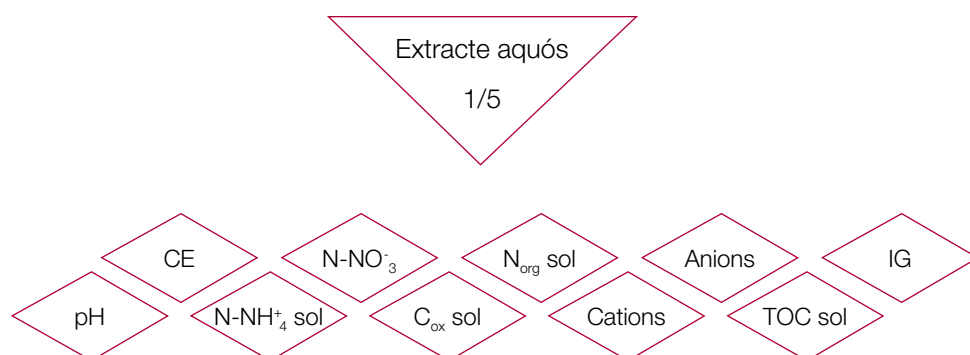
Núm. de mostra: 107-05		Origen: E1	Tipus de mostra: Sortida túnel 1
Aspecte	És un material molt humit i de color marró, amb poca presència de fracció vegetal.		
Olor	Pudor molt forta d'amoníac, molt desagradable.		
Impropis	Alguns vidres i plàstics, però amb poca presència.		
Altres comentaris	Aquest és un material que ha estat 10 dies en túnel i que ha sofert una primera descomposició.		
Núm. de mostra: 108-06		Origen: M	Tipus de mostra: producte final
Aspecte	Color marró, humit però no excessivament, es veuen algunes branquetes d'uns 20-25 mm de llarg.		
Olor	Olor de terra de bosc.		
Impropis	Presenta alguns plàstics i vidres d'aproximadament 1-2 cm.		
Altres comentaris	Aquest és un material que ha estat 15 dies en un túnel i 60 dies en piles de maduració amb voltejos quinzenals.		

6. Preparació de l'extracte aquós (P/V; 1/5)

6.1. Introducció

A partir de l'extracte aquós de la mostra humida es poden determinar diferents paràmetres fisicoquímics, químics i biològics que poden donar molta informació sobre el procés de compostatge i la qualitat del compost. La seva preparació és senzilla, però ha de ser rigorosa perquè se n'obtinguin resultats fiables. Els paràmetres bàsics que permet determinar són el pH, la conductivitat elèctrica i el contingut en nitrogen amoniacal soluble, però, a banda d'aquests, també es poden determinar paràmetres com la coloració o l'índex de germinació i components solubles en aigua: continguts en carboni i nitrogen (relacionats amb estabilitat) o continguts en clorurs, sulfats i bicarbonats per determinar a què és deguda la salinitat que puguin presentar (figura 6.1).

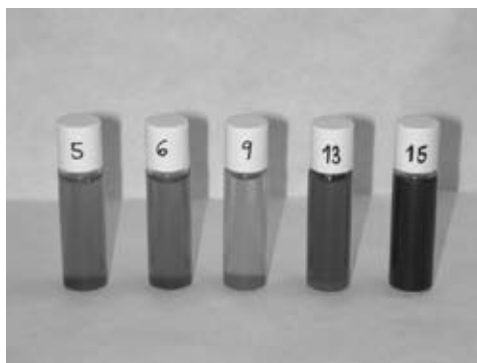
Figura 6.1. Determinacions que es poden fer a partir de l'extracte aquós



6.2. Procediment

1. L'extracte es fa amb la proporció mostra humida / aigua d'1/5 (P/V). Per a mostres homogènies (compost) n'hi ha prou de pesar 40 g ($\pm 0,01$) de mostra en l'ampolla d'agitació i afegir-hi 200 mL d'aigua destil·lada, però quan es tracta de mostres heterogènies (de mig procés o de material d'entrada) cal posar més quantitat, a fi i efecte d'obtenir uns resultats més representatius, i afegir-hi l'aigua corresponent.
2. S'ha d'agitar mecànicament durant 30 minuts exactes, ja que els resultats es podrien veure alterats si l'extracció no durés el temps establert i fos diferent entre mostres.
3. Després s'ha de traspasar el sobrenedant als tubs de centrifuga i centrifugar-ho durant 15 minuts a 3.500 rpm.
4. Finalment, s'ha de filtrar el líquid resultant de la centrifugació en les ampolles de conservació.

Figura 6.2. Diferent coloració dels extractes d'una seqüència de mostres d'un procés de compostatge



6.3. Comentaris

És aconsellable realitzar les determinacions immediatament després d'haver preparat l'extracte, i, en cas contrari, congelar-lo. De vegades, la congelació provoca floculacions que poden influir en determinades mesures.

El fet que l'extracció es dugui a terme sobre la mostra humida fa que els resultats de les determinacions que s'hi facin puguin estar molt influenciats pel contingut en humitat de la mostra; per tant, quan s'interpretin els resultats caldrà tenir en compte aquest factor.

Hi hauria la possibilitat de fer l'extracte quan ja es conegués la humitat de la mostra i afegir-hi l'aigua necessària després d'un senzill càlcul. Els avantatges que es poden obtenir fent-ho així no compensen el fet de no poder fer l'extracció en el moment d'arribar la mostra.

Per si mateixa, la coloració de l'extracte pot informar sobre la maduresa de la mostra; en el cas de compost de FORM i fems els extractes acostumen a ser més foscos com més madurs (**figura 6.2**).

Els mètodes d'anàlisi de substrats proposen obtenir l'extracte aquós a partir d'una proporció 1/5 V/V en comptes de P/V, atès que són materials que habitualment es venen i s'apliquen per volum.

En molts laboratoris l'extracte per determinar pH i CE es prepara amb altres proporcions mostra/extractant o amb diferents temps de contacte, per la qual cosa és important que en els fulls d'anàlisi apareguin les condicions de preparació. Al laboratori de l'ESAB sempre s'ha intentat utilitzar l'extracte 1/5 per al major nombre de determinacions possibles (com nitrogen amoniacal soluble, nitrogen nítric o índex de germinació) per estalviar temps i recursos, tot i no coincidir amb diferents fonts bibliogràfiques.

Nota bibliogràfica

Referències que poden ser d'interès per a aquest apartat:

CHANYASAK i KUBOTA, 1981; GARCIA *et al.*, 1991; JACAS i SOLIVA, 1986; LEVI-MINZI *et al.*, 1994; ROMERA, 1988; SALVADÓ, 1995; SAVIOZZI *et al.*, 1986; ZUCCONI *et al.*, 1981.

7. Valoració de la coloració de l'extracte

7.1. Introducció

A l'ESAB s'acostuma a comparar qualitativament la coloració dels extractes aquosos 1/5, i algunes vegades s'han fet mesures de la seva absorció en l'espectre visible (a 465 nm). S'ha comprovat que per fer-ho quantitativament caldria millorar l'extracte microfiltrant i fer dilucions.

D'alta banda, sí que s'han fet determinacions espectrofotomètriques de la coloració dels extractes de substàncies húmiques (**vegeu l'apartat 31**) (Moré, 1983; Saña, 1985).

Quan en la bibliografia es parla dels mètodes emprats per determinar la maduresa apareixen sovint referències a la disminució del carboni soluble al llarg del procés i la relació que té amb l'espectre d'absorció visible o UV de l'extracte aquós (Chetetz *et al.*, 1998; Said-Pullicino i Gigliotti, 2007). També es troben moltes referències als espectres d'absorció dels extractes de substàncies húmiques (Chen *et al.*, 1977; Saña, 1985; Chen i Inbar, 1993; Canet i Pomares, 1995).

En aquest apartat, més que una metodologia es comenten alguns resultats propis o de la bibliografia.

7.2. Comentaris i resultats de referència

En la **figura 7.1** es mostra una comparació de la coloració dels extractes aquosos de mostres de materials orgànics de diferents orígens i edats, corresponents a projectes realitzats a l'ESAB.

Figura 7.1. Coloració d'extractes aquosos de diferents materials orgànics (Huerta et al., 2006b)

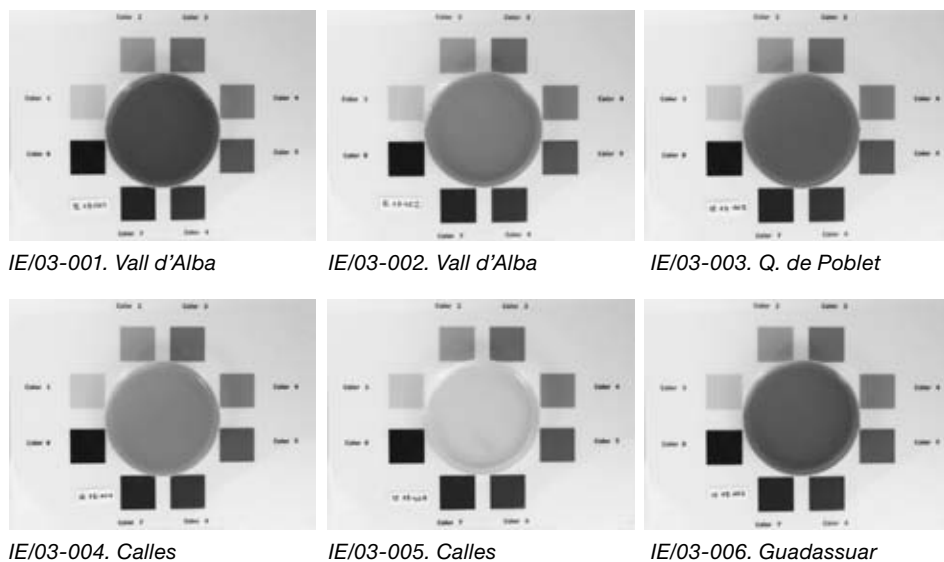
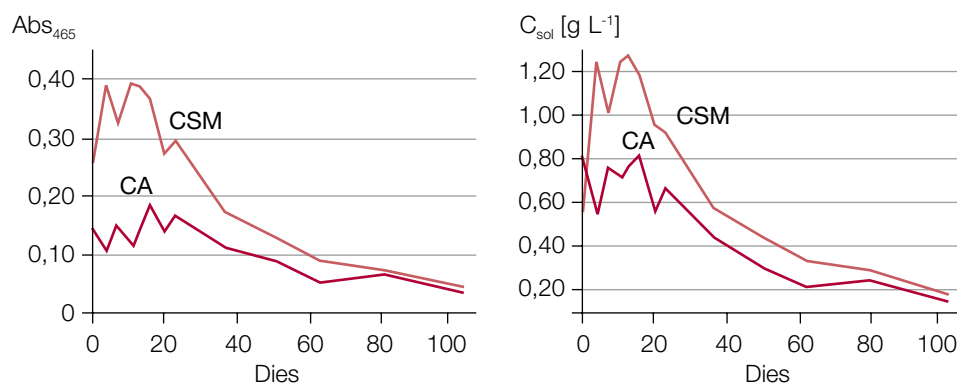


Figura 7.2. Evolució de l'absorbància a 465 nm (esquerra) i del contingut en carboni soluble en g L⁻¹ (dreta) en extractes aquosos de mostres agafades al llarg de dos processos de compostatge de fems de vaquí (Chen i Inbar, 1993)



CSM: Compostatge de fems sòlids; CA: Compostatge de fems prèviament tractats per digestió anaeròbia

Chen i Inbar tenen nombrosos treballs sobre la determinació de la maduresa de compost i, en particular, molts estan relacionats amb el tractament de fems; en una

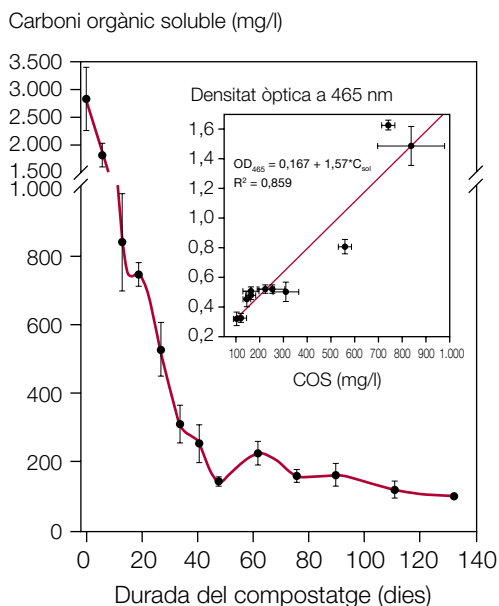
revisió de l'any 1993 comenten que els canvis que tenen lloc en la concentració de carboni soluble en extractes aquosos de materials mostrejats al llarg de processos de compostatge poden ser seguits mesurant l'absorbància a 465 nm. En la **figura 7.2** es mostren les variacions del contingut en carboni soluble i en l'absorbància en l'espectre visible de mostres corresponents a dos processos de compostatge de fems de vaquí; el perfil dels canvis per a tots dos paràmetres és molt semblant. En el mateix article es troben les correlacions lineals entre aquests dos paràmetres:

- Per a CSM Absorbància = $0,237 * C_{sol} - 0,018$ $r^2 = 0,997$ ($p = 0,01$)
- Per a CA Absorbància = $0,177 * C_{sol} - 0,021$ $r^2 = 0,960$ ($p = 0,01$)

A partir d'aquestes correlacions proposen la determinació de l' A_{465} com una manera de conèixer indirectament el contingut en C_{sol} , tot i que caldria fer les calibracions corresponents per a cada tipus de mostres.

La **figura 7.3** mostra una variació del carboni soluble semblant però corresponent al compostatge de RSU; en la mateixa figura està inserida la correlació lineal entre

Figura 7.3. Variació de la concentració del contingut en carboni orgànic soluble (COS) en extractes aquosos de mostres agafades al llarg del compostatge de residus municipals (Chefetz *et al.*, 1998)

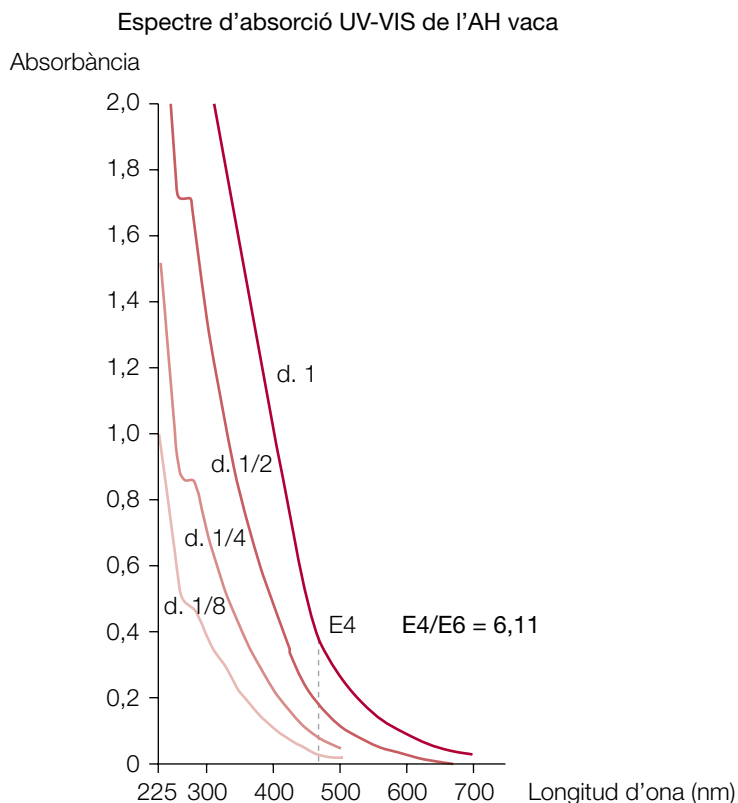


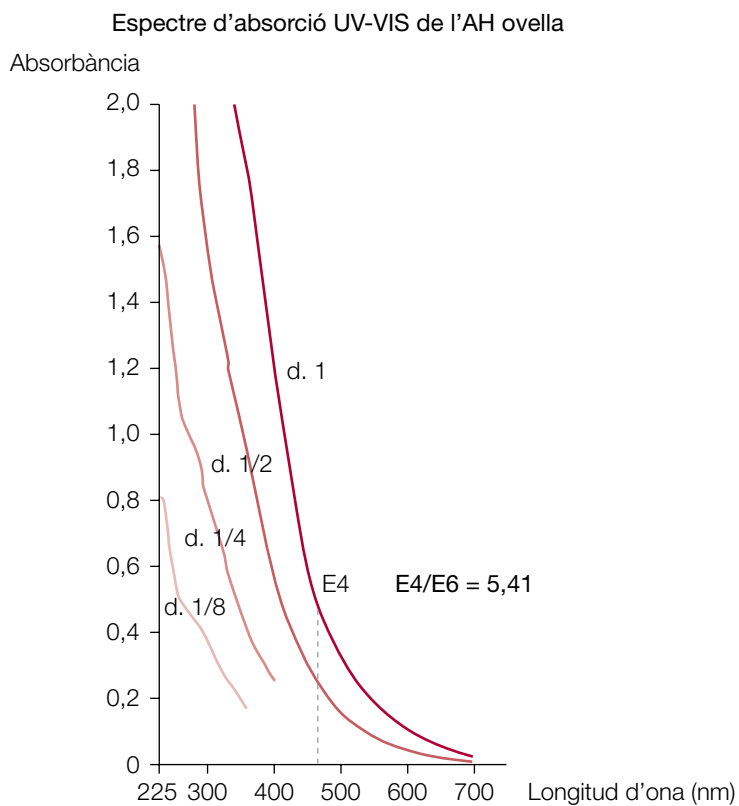
aquesta concentració i l'absorbància a 465 nm. Altres autors, com Said-Pullicino i Gigliotti (2007), fan determinacions semblants però en la zona de l'espectre corresponen a l'UV (254 nm).

En la **figura 7.4** es presenten espectres d'absorció de dissolucions de substàncies húmiques en què es destaca la importància dels canvis en l'absorbància a 472 i 665 nm que justifiquen la utilització del quocient entre ambdues (relació E4/E6) en estudis per qualificar el compost o altres materials orgànics.

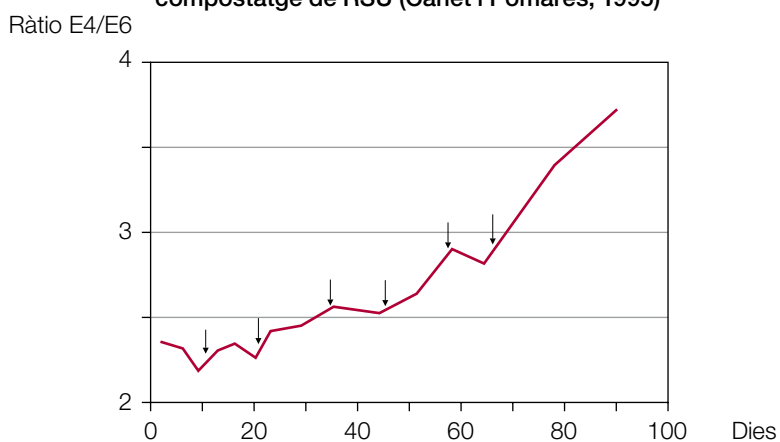
Figura 7.4. Corbes d'absorció d'extractes húmics de diferents materials orgànics utilitzades per caracteritzar-los

Espectres d'absorció d'extractes d'àcids húmics de fems de vaquí i d'ovella (Saña i Soliva, 1985)





Variació de la relació E4/E6 d'extractes húmics de mostres extretes al llarg del compostatge de RSU (Canet i Pomares, 1995)



8. pH i conductivitat elèctrica

8.1. Introducció

La propietat fisicoquímica més important del sòl com a medi destinat al conreu de les plantes és, potser, el valor del seu pH o activitat dels ions d'hidrogen. Cada planta té un pH òptim per al seu desenvolupament. Igualment, el pH influeix indirectament sobre les propietats físiques del sòl, sobre la vida microbiana i sobre la disponibilitat i l'activitat dels altres ions que intervenen en la nutrició vegetal.

Es lògic, doncs, conèixer el pH del compost, ja que, quan sigui afegit al sòl, podrà modificar-ne directa o indirectament, a curt o llarg termini, el pH original. El pH d'una mostra de compost o de les mostres agafades al llarg d'un procés de compostatge també pot donar informació del desenvolupament del tractament biològic, sempre que s'interpreti acuradament.

La conductivitat elèctrica (CE) pot donar informació sobre l'origen d'una mostra de compost, però, sobretot, serveix per saber si cal prendre alguna precaució en el moment d'utilitzar-lo.

La conductivitat elèctrica reflecteix el contingut en sals de la mostra, fonamentalment a causa dels cations Na^+ , K^+ , Ca^{2+} i Mg^{2+} i dels anions HCO_3^- , Cl^- i SO_4^{2-} , que formen al voltant del 98% del total de sals solubles. Té molta importància quan el compost és aplicat al sòl,¹² ja que una salinitat excessiva és un factor limitant en la germinació i en el desenvolupament dels conreus. A més a més, pot informar sobre els materials d'entrada i/o el funcionament del procés; en el cas de mostres agafades al llarg d'un procés de compostatge, la CE està molt relacionada amb

12. Encara en té més quan el compost s'utilitza com a substrat.

el contingut en nitrogen en forma amoniacal. En mostres de compost final també pot tenir relació amb el contingut en nitrats.

8.2. Procediment

Es treballa amb l'extracte aquós, i es determinen el pH i la conductivitat elèctrica del filtrat en els aparells corresponents.

La conductivitat dels extractes depèn de la temperatura, per la qual cosa és imprescindible anotar la temperatura a la qual s'han fet les lectures en cas que l'aparell no integri la temperatura ambient. Hi ha un factor de correcció de la conductivitat per a cada temperatura.

En cas d'utilitzar un conductímetre que s'hagi de calibrar es fan servir solucions de KCl de 0,01N i 0,1N, que presenta una conductivitat d' $1,412 \text{ mS cm}^{-1}$ i $12,46 \text{ mS cm}^{-1}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

8.3. Comentaris

Quan es donen els resultats dels valors del pH i la CE de diferents mostres o en comparar resultats de diferents laboratoris cal conèixer les condicions en què s'ha preparat l'extracte i s'ha fet la determinació.

En la **figura 8.1** es pot observar la diferència del pH i la CE segons l'origen de les mostres, la qual cosa posa en evidència la informació que es pot desprendre d'aquests paràmetres si s'analitzen amb cura. També mostra les diferències segons si l'extracte es prepara sobre proporcions P/V o V/V (Ansorena, 1994). Un altre aspecte que cal considerar són les diferències entre laboratoris malgrat utilitzar una mateixa metodologia, fet per al qual caldria trobar solució.

En la **figura 8.2** es mostra la variabilitat dels resultats en la determinació del pH i la CE en extractes aquosos, segons si es realitza sobre mostres de compost o sobre mostres d'inici de procés, que són més heterogènies.

Taula 8.1. Valors del pH i la CE de diferents tipus de mostres segons laboratori (I, II i III) i mètode de preparació de l'extracte¹³

Tipus compost	Laboratori	% H	pH (1/5 P/V)	CE (1/5 P/V)	pH (1/5 V/V)		CE (1/5 V/V)	
					UNE-EN 13037	UNE-EN 13038		
Compost RV	I	38,84	7,90	1,44	-	-	-	-
	II	37,40	7,75	1,43	-	-	-	-
	III	-	-	-	7,88	0,84	-	-
Compost escorça	I	40,67	7,84	0,49	-	-	-	-
	II	45,24	7,80	0,44	7,80	0,28	-	-
	III	-	-	-	7,81	0,33	-	-
Compost FORM -1	I	33,11	8,65	8,62	-	-	-	-
	II	33,30	7,35	3,10	7,60	1,65	-	-
	III	-	-	-	9,09	3,16	-	-
Compost FORM -2	I	20,08	8,18	3,92	-	-	-	-
	II	28,30	8,40	8,87	8,60	2,60	-	-
	III	-	-	-	8,92	1,91	-	-
Compost FORM -3	I	25,70	8,76	10,47	-	-	-	-
	II	25,40	8,70	9,10	8,80	4,10	-	-
	III	-	-	-	9,20	4,10	-	-
Compost fang -1	I	15,80	7,50	3,42	-	-	-	-
	II	15,40	7,60	3,20	7,70	1,48	-	-
	III	-	-	-	7,82	1,12	-	-
Compost fang -2	I	36,45	8,13	5,38	-	-	-	-
	II	39,00	7,70	5,52	7,80	2,46	-	-
	III	-	-	-	7,75	3,14	-	-
Compost fang -3	I	27,90	8,36	2,80	-	-	-	-
	II	24,95	8,05	2,64	8,00	1,50	-	-
	III	-	-	-	8,52	1,60	-	-
Compost fens	I	35,00	7,70	3,43	-	-	-	-
	II	37,70	8,50	3,24	8,50	1,40	-	-
	III	-	-	-	7,58	1,59	-	-

13. Dades no publicades obtingudes durant la preparació de les *Normes Tecnològiques de jardineria i paisatgisme NTJ 05C: Composts: qualitat i aplicació en espais verds* (Fundació de l'Enginyeria Agrícola Catalana. Col·legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles i Perits Agrícoles de Catalunya, 60 p.).

Taula 8.2. Variabilitat de la determinació del pH i la CE segons siguin mostres agafades a l'inici del procés de compostatge o als 60 dies (Campabadal, 1998)

	Inicial	60 dies	Inicial	60 dies
	pH	pH	CE	CE
	6,30	8,25	3,75	3,45
	5,50	8,10	4,42	4,31
	6,00	8,00	2,64	4,00
	6,15	8,00	2,48	3,99
	7,50	8,10	2,52	4,32
	7,45	8,10	2,70	4,04
Mitjana	6,48	8,09	3,09	4,02
Desv. estànd.	0,81	0,09	0,81	0,32
% CV	12,56	1,13	26,16	7,88

Els pH bàsics, al voltant de 7-8,5 (**taula 8.3**), s'associen a composts madurs i poden ser indicatius de productes de qualitat. El pH s'incrementa al llarg del procés aeròbic (**figures 8.1 i 8.2 i taula 8.4**), tot i que en la fase inicial hi ha un lleuger descens. En el producte final, pH àcids inferiors a 5 poden indicar que el procés ha estat anaeròbic, mentre que pH molt elevats poden estar lligats a la duresa de l'aigua de reg, a la utilització de certes matèries primeres o a la presència de carbonats. També cal tenir present que quan l'etapa de maduració s'allarga molt (per exemple, en el cas de la preparació de materials per utilitzar com a substrats) i les condicions ambientals són adequades, tenen lloc les reaccions de nitrificació que són acidificants (**figura 8.3; vegeu també l'apartat 15.6**) i que provoquen un descens del pH (Fauci *et al.*, 1999; Cáceres *et al.*, 2006).

Figura 8.1. Variació de temperatura i pH durant el procés de compostatge (Golueke, 1976)

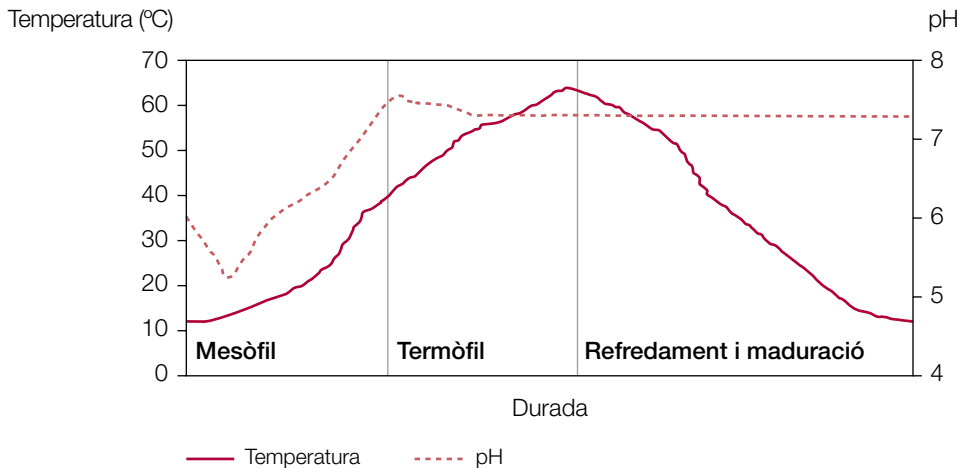
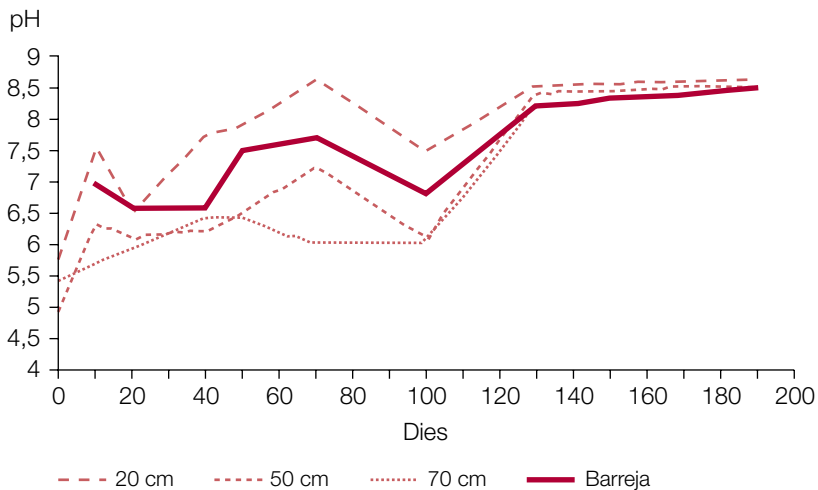


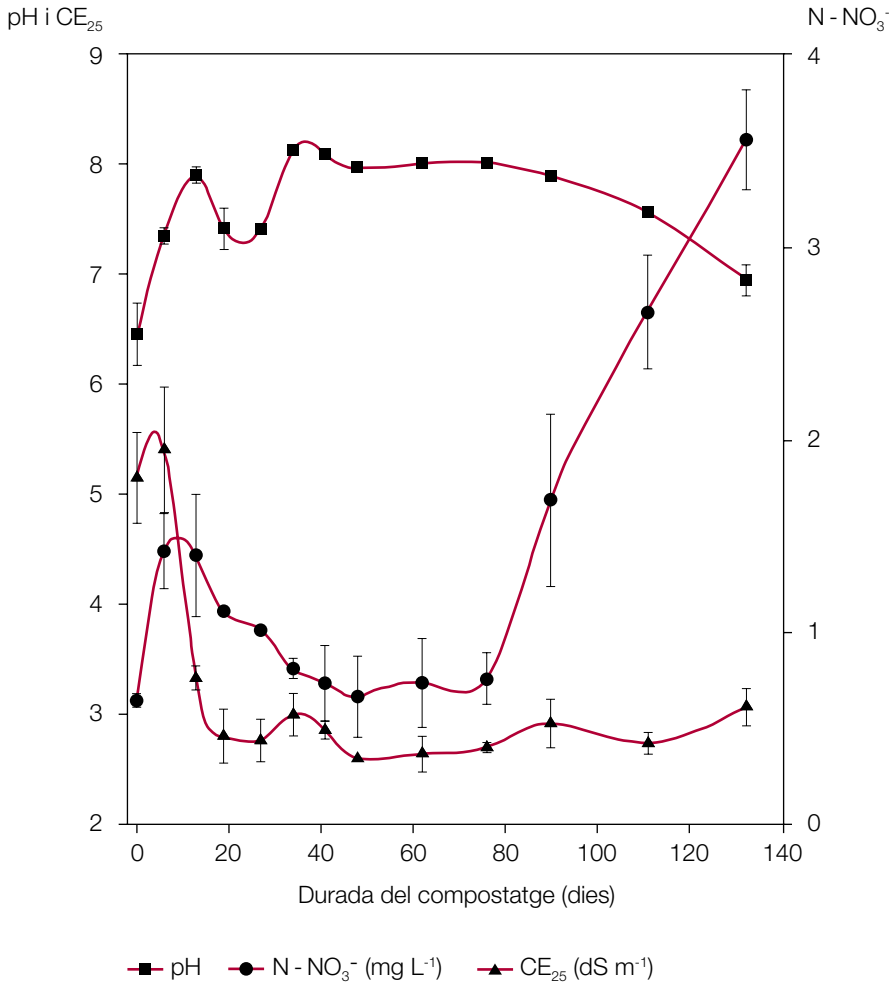
Figura 8.2. Variació del pH de mostres agafades al llarg d'un procés de compostatge i a diferents profunditats (Bonilla, 1983)



La CE en mostres de compost de FORM acostuma a trobar-se entre 5 i 8 dS m⁻¹ (taula 8.5). Valors més baixos poden indicar que hi ha una gran proporció de res-

tes vegetals en la barreja, mentre que valors molt elevats poden estar lligats a reg amb lixiviats o a l'ús de matèries primeres amb una elevada conductivitat inicial. En la **taula 8.6** es pot veure la variació de la CE en mostres agafades en diferents punts del procés de compostatge de residus municipals.

Figura 8.3. pH, CE i contingut en nitrats d'extractes aquosos (1/10) de mostres agafades en el procés de compostatge de residus municipals (Chefetz *et al.*, 1998)



8.4. Resultats de referència

Taula 8.3. pH de diferents grups de mostres de compost (informes de convenis ESAB-SMADB; Huerta *et al.*, 2006b)

	n	Mitjana	S	%CV	Mín.	Màx.
FORM + RV	159	8,05	0,53	6,63	6,13	8,93
Fangs	34	7,70	0,51	6,68	6,41	8,53
RSU 1 (abans 1996)	286	6,99	0,62	8,88	5,41	8,40
RSU 2 (després 1996)	45	7,42	0,69	9,27	6,00	9,27
Totes les mostres	524	7,39	0,76	10,31	5,41	9,27

n: nombre de mostres

Taula 8.4. pH de mostres agafades en diferents punts del procés de compostatge (MIMAM-ESAB-ARC, 2007)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FO	17	5,36	0,59	11,04	6,5	4,5
RVT	17	6,65	0,80	12,01	7,5	5,0
Inici descomposició	16	5,71	0,93	16,36	8,0	5,0
Inici maduració	9	6,97	0,85	12,19	8,0	5,5
Compost	28	8,20	0,48	5,83	8,5	7,5

n: nombre de mostres

Taula 8.5. CE de diferents grups de mostres de compost (dS m^{-1}) (informes de convenis ESAB-SMADB; Huerta *et al.*, 2006b)

	n	Mitjana	S	% CV	Mín.	Màx.
FORM + RV	159	6,84	1,83	26,70	2,45	12,06
Fangs	34	5,47	3,01	54,98	1,94	13,04

.../...

	n	Mitjana	S	% CV	Mín.	Màx.
RSU 1 (abans 1996)	286	7,89	1,51	19,17	2,28	12,60
RSU 2 (després 1996)	45	8,71	1,98	22,79	2,44	12,50
Totes les mostres	524	7,49	1,94	25,92	1,94	13,04

n: nombre de mostres

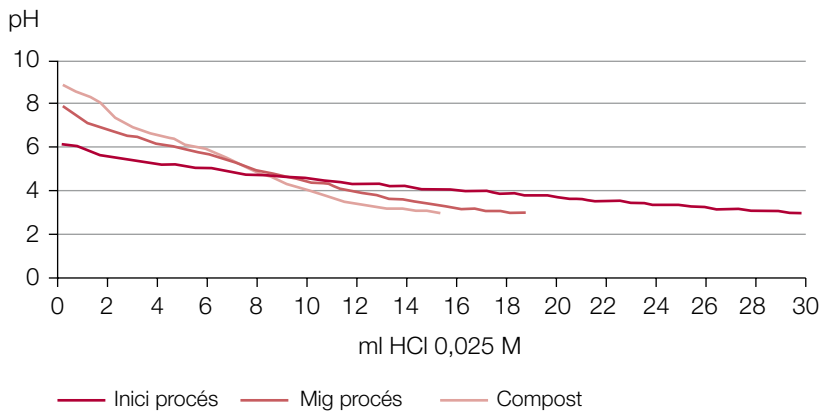
Taula 8.6. CE de mostres agafades en diferents punts del procés de compostatge (dS m⁻¹) (MIMAM-ESAB-ARC, 2007)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FO	17	3,33	1,45	43,41	7,0	2,0
RVT	17	2,19	1,54	70,44	5,50	0,5
Inici descomposició	16	4,70	1,52	32,40	7,5	3,0
Inici maduració	9	7,22	2,23	30,84	9,0	3,0
Compost	28	7,34	2,53	34,45	11,0	3,0

n: nombre de mostres

Amb els extractes aquosos es poden fer corbes de valoració amb solucions àcides (**figura 8.4**), en les quals es pot observar l'increment del pH inicial i del pendent de la corba en avançar el procés.

Figura 8.4. Corbes de valoració dels extractes aquosos de mostres procedents del compostatge de FORM + RV (de la Rosa, 1999)



Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

FAUCI *et al.*, 1999; SAKAI *et al.*, 2000; SMARS *et al.*, 2002; SUNDBERG *et al.*, 2004; WANG *et al.*, 2001.

9. Contingut d'anions i cations en l'extracte aquós

9.1. Introducció

És important conèixer la conductivitat elèctrica del compost, però també ho és el tipus cations i anions presents en l'extracte aquós. Aquests poden donar informació dels materials inicials i d'alguns canvis en el procés de compostatge i com es pot comportar un cop s'apliqui al sòl i si poden arribar a presentar problemes de fitotoxicitat. Aquesta és una manera de justificar la determinació del contingut en anions i cations, però també es considera important per veure quina part de determinats nutrients és més assimilable pels vegetals. En qualsevol cas, sempre es tracta de fer l'extracció adequada i després quantificar-ho mitjançant algun mètode instrumental com ara la cromatografia iònica o l'electroforesi capil·lar.

No és un mètode utilitzat rutinàriament a l'ESAB ni tampoc es pot considerar que la seva posada a punt estigui finalitzada, però es dona informació de les proves dutes a terme (de la Rosa *et al.*, 2000).

9.2. Procediment

Les condicions en què es fa l'extracció per la seva influència en els resultats són molt importants. La primera vegada que es va utilitzar al laboratori de l'ESAB (Echevarria, 1996) es van fer diferents proves d'extracció amb proporcions d'extracció 1/10 i 1/20.

Més endavant es va voler aprofitar l'extracte 1/5 que es prepara per a la determinació del pH i la CE, però els resultats no van ser del tot satisfactoris. Per aquesta raó només es comenten algunes de les dades trobades per Echevarria (1996).

9.3. Resultats i comentaris

En la **taula 9.1** es donen resultats trobats en extractes preparats amb mostres procedents de plantes de compostatge de RSU (M, G i V) catalanes i de FORM d'Alemanya, totes prèvies a 1997. Destaquen les diferències entre les mostres pròpies i les mostres alemanyes i també el desequilibri entre la suma de cations i anions per a les mostres d'M i V. En aquests dos grups de mostres els continguts en SO_4^{2-} són més baixos, cosa que pot ser deguda al fet que hagin estat reduïts a S^{2-} per les condicions anaeròbies que es presentaven sovint en les instal·lacions d'on provenien les mostres; això coincidiria amb l'observació feta en determinar els carbonats (**vegeu l'apartat 24**) d'aquestes mostres sobre que se sentia una forta olor a sulfhídric (Freire, 2002).

Taula 9.1. Anàlisi d'extractes aquosos 1/20 preparats amb mostres seques de compost de diferent origen (Echevarria, 1996)

Origen mostra compost	M	G	V	Mostres alemanyes
n	36	16	26	4
pH	7,10	7,25	7,09	7,91
CE (dS/m)	3,80	3,60	4,24	1,36
meq/L				
HCO ₃ ⁻	19,87	29,99	21,58	4,36
Cl ⁻	12,76	10,14	14,86	3,91
NO ₃ ⁻	0,24	0,51	0,22	0,83
SO ₄ ²⁻	9,37	23,71	11,01	0,74
PO ₄ ³⁻	0,09	0,06	0,09	0,40
Total anions	42,68	65,36	49,26	10,24
meq/L				
Ca ²⁺	32,67	32,37	32,87	2,82
Mg ²⁺	5,80	4,76	5,67	0,40
Na ⁺	16,93	11,98	17,63	5,25
K ⁺	7,57	5,45	8,22	6,58
Total cations	62,97	54,50	64,54	15,05

Les mostres alemanyes tenen uns continguts molt baixos en els diferents ions, cosa que segurament està relacionada amb el tipus d'aigües i sòls d'on són originàries. Es considera que pot tenir interès d'aprofundir en les raons d'aquestes diferències.

10. Índex de germinació

10.1. Introducció

Els vegetals són uns indicadors biològics adequats per determinar toxicitat o assimilabilitat de nutrients gràcies a la interacció entre el sistema radicular i el substrat/sòl que permet l'absorció dels constituents solubles. En aquest context cal donar importància a proves biològiques de diferent tipus que, ben escollides i aplicades oportunament i adequada, poden donar informació interessant i pràctica. En certa manera, alguns bioassaigs aplicats a l'estudi del compost i altres materials orgànics es poden comparar amb tests de toxicitat utilitzats en l'estudi de la contaminació d'aigües.

Entre els diferents tipus de bioassaigs, les proves de germinació són les més utilitzades i són fàcils de dur a terme i, en certa manera, d'interpretar; poden donar una idea sobre si hi ha toxicitat total sobre la germinació o si simplement es produeix un retard; fent-ne un seguiment mínim, les proves poden informar de si la toxicitat influeix més en el desenvolupament de la plàntula que en la germinació. Les proves es poden fer utilitzant extractes o sobre mostra sòlida directament.

El compost no prou estabilitzat pot tenir un efecte inhibidor sobre el desenvolupament de les llavors dels vegetals. Per observar aquest efecte, una de les proves és determinar la capacitat germinativa de llavors de *Lepidium sativum* en contacte amb l'extracte aquós.

Hi ha diferents metodologies i el que les pot diferenciar molt és l'obtenció de l'extracte. Al laboratori de l'ESAB sempre es fa amb l'extracte general (1/5) utilitzat per fer altres determinacions, com pH, CE, NH_4 sol.

Els treballs inicials més significatius sobre l'índex de germinació són de Zucconi *et al.* (1981 i 1987), que el van aplicar a la mesura de la fitotoxicitat del compost imma-

dur. Es pretenia aconseguir un test simple, ràpid i que necessités un mínim utilatge. Van realitzar proves amb diferents proporcions mostra/extractant, i es van decantar per les del 30% i 10%, utilitzant *Lepidium sativum* per fer el test, atès el seu ràpid creixement i la seva ràpida resposta. Sobre paper de filtre col·locat dins una càpsula de Petri i a sobre de les llavors es posava 1 mL de l'extracte, s'incubava durant 24 hores a 27 °C, a la foscor, i es parava la prova afegint-hi alcohol al 50%.

L'índex de germinació (IG) el determinaven multiplicant el percentatge de germinació pel percentatge de creixement de les arrels (el percentatge referit al comportament del control) i dividint per 100. Aquesta mesura permetia valorar tant la toxicitat baixa, que afecta el creixement de les arrels, com la toxicitat elevada, que afecta la germinació.

10.2. Procediment

Es prenen 5 mL d'extracte aquós 1/5 i es dipositen en una càpsula de Petri on prèviament s'ha col·locat una base de paper de filtre. Es preparen cinc repeticions per a cada extracte i un blanc per extracte. A cada càpsula es dipositen 25 llavors de *Lepidium sativum*, es tanquen i es col·loquen en una cambra sense llum i a una temperatura controlada de 25 °C.

Després de 24 hores es compten les llavors germinades a cada càpsula i es mesura la longitud mitjana de radícules i coleòptils de 10 plàntules representatives. Un cop finalitzades aquestes operacions les càpsules es tornen a deixar a la cambra i 24 hores després es repeteixen totes les mesures.

10.3. Càlculs

Per calcular el percentatge de germinació (% IG) de la mostra, es fa una mitjana del nombre de llavors germinades per placa, s'expressa en percentatge i es divideix pel percentatge de germinació del blanc. El càlcul de les longituds mitjanes (mm) de coleòptils i radícules (L) es fa de la mateixa manera, relacionant-lo amb el blanc. L'anomenat índex de germinació (IG) es calcula segons la fórmula següent:

$$\% \text{ IG} = \frac{\% \text{ G mostra} \cdot \text{L mm radícula}}{\% \text{ G blanc} \cdot \text{L mm blanc}} \cdot 100$$

10.4. Comentaris i taules de referència

Les **taules 10.1** i **10.2** són dos exemples dels resultats de determinacions d'índex de germinació realitzades dins del marc dels convenis de l'ESAB amb el Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona.

Taula 10.1. Resultats mitjans IG (48 h) de mostres de compost de FORM + RV de Catalunya (informes de convenis ESAB-SMADB)

	C	T	B	LS*	J	M**
n	4	4	2	2	1	1
% G	92,9	95,5	86,3	21,4	97,5	84,6
L coleòptil (mm)	39,0	33,7	14,3	11,9	74,0	11,9
L radícula (mm)	43,3	46,4	38,2	6,6	52,9	25,7
IG	39,6	44,8	32,9	1,4	51,5	21,7

* Mostra que presentava un contingut molt elevat en N en forma amoniacal.

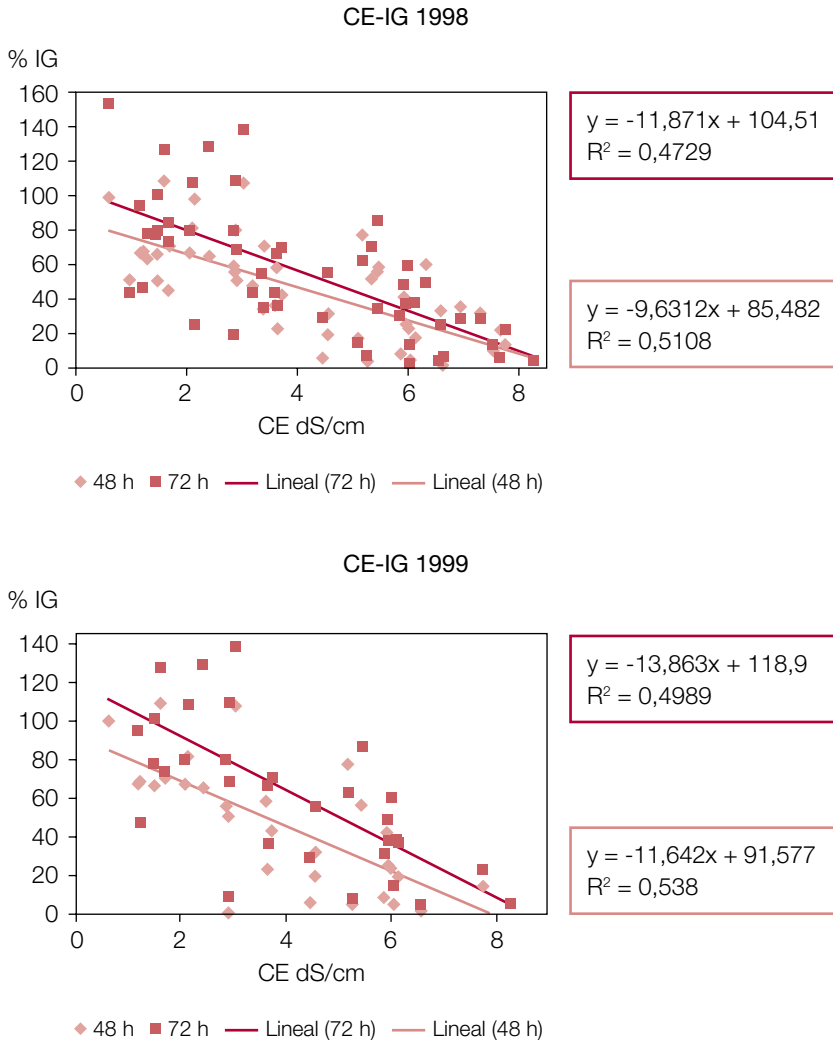
** Mostra que presentava una CE molt elevada.

Taula 10.2. Resultats mitjans IG (48 h) de mostres de compost de plantes europees (informes de convenis ESAB-SMADB)

	Herten	Viersen	Quarzbichl	Linz	Amzburg
% G	95,8	93,3	91,5	100	98,3
L coleòptil (mm)	53,2	91,7	59,5	64,3	61,9
L radícula (mm)	52,4	48,6	65,1	71,1	59,2
IG	50,9	45,3	59,6	71,1	58,2

La CE té relació, entre altres factors, amb el desenvolupament de la germinació; així, en la **figura 10.1** es relaciona la CE amb l'índex de germinació de dues col·leccions de mostres de compost de FORM + RV.

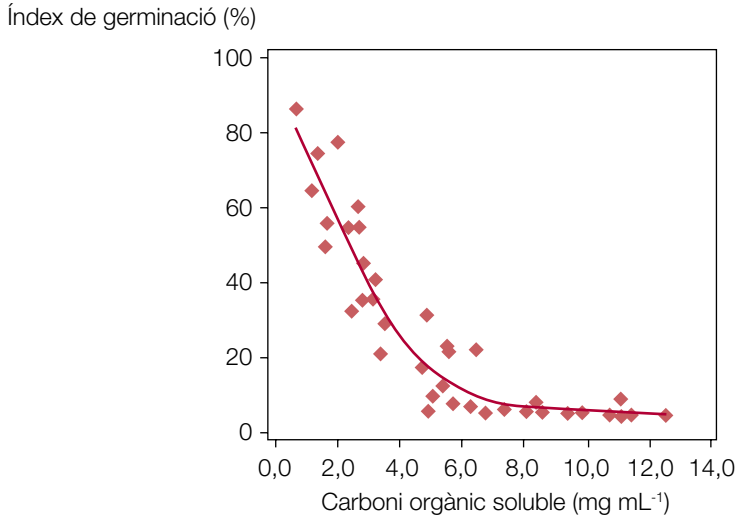
Figura 10.1. Correlació entre l'índex de germinació i la CE d'extractes aquosos de mostres de compost de FORM + RV (Andújar i López, 2001)



En la bibliografia es troba molta informació sobre la importància de l'índex de germinació en la determinació de la maduresa del compost i la relació que presenta amb paràmetres com la CE i el contingut en determinats components solubles (vegeu l'apartat 16); en la **taula 10.3** es pot veure com millora l'índex de germina-

ció en avançar el compostatge, i en la **figura 10.2** es veu la relació que hi ha entre la disminució del carboni soluble que es produeix al llarg del compostatge i la millora en la germinació.

Figura 10.2. Influència del contingut en carboni soluble en l'índex de germinació (Said *et al.*, 2007)



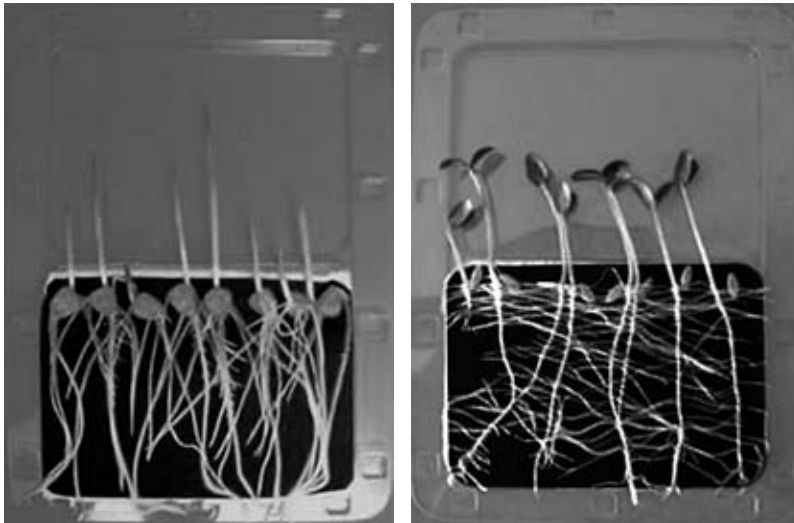
Taula 10.3. Evolució de l'índex de germinació de llavors d'enciam i nap utilitzant extractes aquosos de barreges de fang i restes vegetals, amb diferents dies de compostatge (Jouraiphya *et al.*, 2005)

Dies	% índex de germinació	
	Enciam	Nap
0	10,1 ± 0,1	12,2 ± 0,5
15	17,0 ± 0,9	20,2 ± 2,1
60	36,6 ± 3,0	48,2 ± 2,3
90	64,2 ± 4,3	72,1 ± 2,0
135	98,5 ± 2,1	98,5 ± 0,7

Tots els resultats corresponen a la mitjana de 5 repeticions.

El test de germinació i les mesures de la longitud de radícules i coleòptils a vegades poden tenir una certa dificultat. Per tant, hi ha laboratoris que utilitzen aparells com el de la **figura 10.3**, on es fàcil observar el desenvolupament de la germinació i que permeten, amb poca manipulació de les plàntules, fer fotografies i, amb un programa d'anàlisi d'imatges, obtenir d'una manera ràpida resultats reproduïbles. En aquests casos se solen utilitzar tres espècies diferents (una monocotiledònia i dues dicotiledònies) que destaquen per la rapidesa de la seva germinació i del seu creixement: *Sorghum saccharatum* (monocotiledònia) i *Lepidium sativum* i *Sinapis alba*, ambdues dicotiledònies.

Figura 10.3. Desenvolupament de les plàntules durant la realització del test de germinació (<http://www.microbiotests.be/>10 abril 2009)



Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

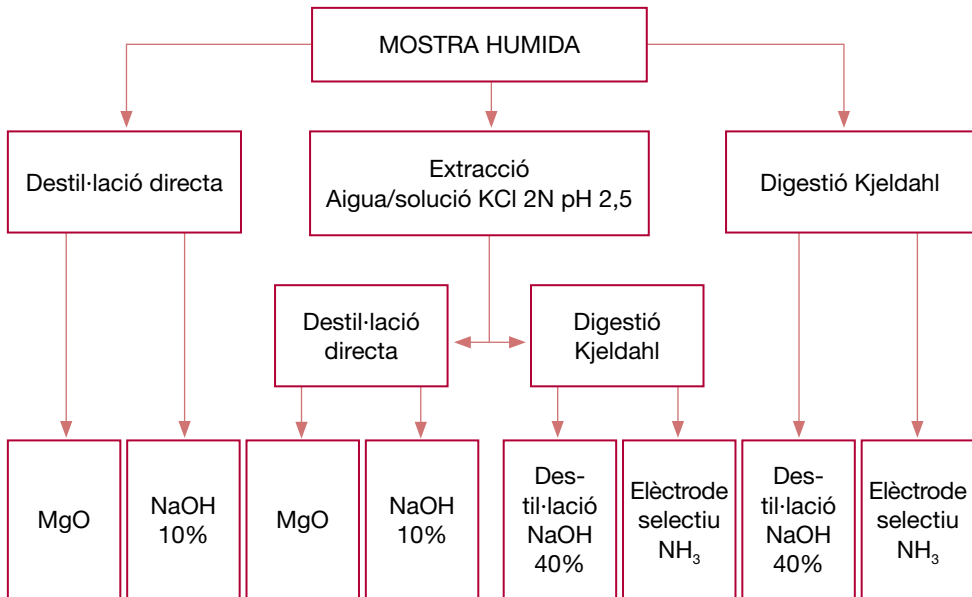
LEVI-MINZI *et al.*, 1994; KEELING *et al.*, 1994; WU i MA, 2001; CAMPBELL i DARBYSHIRE, 1990; HOEKSTRA *et al.*, 2002; PARÉ *et al.*, 1997; SAID-PULLICINO *et al.*, 2007.

11. Nitrogen amoniacal soluble (NAS)

11.1. Introducció

El nitrogen és un fitonutrient molt important per a la producció vegetal i es presenta en diferents formes i proporcions en els residus orgànics, cosa que fa que la velocitat d'alliberació sigui molt variable i influeixi en la nutrició dels conreus i en la contaminació difusa de les aigües. La determinació del contingut en les diferents formes en què es troba té interès en la valoració dels processos de compostatge i en la qualitat dels productes obtinguts, així com també per a la caracterització de qualsevol residu orgànic. La influència del processament de la mostra (conservació, assecat, extracció, digestió, sistema de quantificació) en els resultats i la seva interpretació fa necessari assegurar les condicions de treball i deixar-les clares en els fulls de resultats.

En la **figura 11.1** s'indiquen diferents determinacions que es poden realitzar sobre la mostra humida d'un residu orgànic; cadascuna dóna un tipus d'informació diferent sobre el contingut en N, tal com s'indica en la **taula 11.1**. No sempre cal fer totes les determinacions en una mostra –depèn de quina és la informació que es vol obtenir–, però sí que cal tenir molt clar què representa i de què informa cadascuna per evitar problemes d'interpretació a l'hora de comparar resultats.

Figura 11.1. Diferents mètodes de determinació de nitrogen en mostres humides**Taula 11.1. Informació que aporten els diferents mètodes de determinació de nitrogen en mostres humides**

	Destil·lació NaOH 40%	Destil·lació MgO	Digestió i destil·lació	Digestió i elèctrode selectiu NH ₃
Mostra humida	N amoniacal total + N orgànic fàcilment hidrolitzable	N amoniacal total (soluble + intercanviable)	N orgànic + N amoniacal, totals	
Extracte aquós de la mostra humida	N amoniacal soluble i N orgànic soluble fàcilment hidrolitzable	N amoniacal soluble	N orgànic i amoniacal solubles	
Extracte amb KCl de la mostra humida	N amoniacal total i N orgànic soluble fàcilment hidrolitzable	N amoniacal total (soluble + intercanviable)	N amoniacal total i N orgànic soluble	

En la **taula 11.2** es mostren resultats d'algunes d'aquestes determinacions realitzades sobre mostres agafades al llarg de dos processos de compostatge per donar idea dels valors que presenten, i en la **figura 13.1** s'observen aquest tipus de canvis, però procedents d'una altra font. En la **taula 11.3** es posa en evidència la pèrdua de nitrogen amoniacal en assecar la mostra i, a la vegada, s'observa que les pèrdues no són iguals per a tot tipus de mostres.

Taula 11.2. Contingut en diferents formes de nitrogen de mostres agafades al llarg del procés de compostatge (descomposició en túnels i maduració en piles). Resultats expressats sobre matèria seca (Campabadal, 1998; Giró *et al.*, 1994)

	Edat Dies	N amoniacal soluble (NAS) mg kg ⁻¹ sms	N amoniacal total (NAT) sms	N orgànic soluble (NOS) % sms	N orgànic total (NOT) % sms
Túnel	1	260	530	0,14	1,14
	9	964	1.692	0,44	2,27
	16	768	1.030	0,33	1,89
	23	918	1.700	0,24	2,01
	30	1.453	2.280	0,37	1,86
	37 (SR)	1.387	1.821	0,28	1,42
	37 (R)	194	570	0,18	1,60
Pila	47	351	985	0,15	1,51
	58	1.084	1.271	0,34	1,27
	72 (SR)	1.413	1.782	0,24	1,21
	72 (R)	903	1.484	0,17	1,44

SR: sense refí; R: refinat.

Taula 11.3. Variabilitat del contingut en N amoniacal total (5 repeticions) determinat, sobre mostra humida i sobre mostra seca, en una mostra de compost i una altra de fang de depuradora (resultats expressats sms) (Chacó, 1997)

	Compost		Fang de depuradora	
	Determinat sobre mostra humida	Determinat sobre mostra seca	Determinat sobre mostra humida	Determinat sobre mostra seca
	% sms			
	0,544	0,147	0,563	0,520
	0,432	0,032	0,574	0,353
	0,397	0,060	0,564	0,459
	0,361	0,036	0,408	0,290
	0,447	0,041	0,758	0,429
Mitjana	0,436	0,063	0,573	0,410
Desviació	0,069	0,048	0,124	0,090
% CV	15,78	76,04	21,65	21,98

11.2. Determinació del nitrogen amoniacal soluble

En aquest apartat es determina el nitrogen amoniacal soluble a partir del mateix extracte aquós preparat per a la determinació del pH i la CE (**vegeu els apartats 6 i 8**); com s'indica en la **taula 11.1**, en fer l'extracte aquós no se separa el nitrogen amoniacal total, sinó el soluble en les condicions d'extracció. Si la quantificació es fa per destil·lació en medi bàsic fort es determina el nitrogen amoniacal soluble (NAS), però també aquell nitrogen orgànic que s'ha solubilitzat en les condicions de treball i que forma part de molècules senzilles hidrolitzables en medi bàsic fort; no passa el mateix si la destil·lació es duu a terme en medi bàsic suau (MgO). La quantificació que es comenta a continuació es fa utilitzant l'elèctrode selectiu d'amoníac, que, en les condicions emprades, quantifica el nitrogen amoniacal extret.

11.2.1. Base teòrica de la quantificació del nitrogen amoniacal soluble (NAS) amb l'elèctrode selectiu d'amoníac

El nitrogen amoniacal present en la mostra d'extracte aquós és desplaçat a amoníac per l'addició de NaOH 40% i quantificat a través d'un elèctrode selectiu d'amoníac; els elèctrodes selectius mesuren l'activitat d'un ió segons l'equació de Nernst:

$$E = E_c - \frac{0,059}{n} \cdot \log \frac{1}{a_{i_0}}$$

On:

E = potencial del sistema;

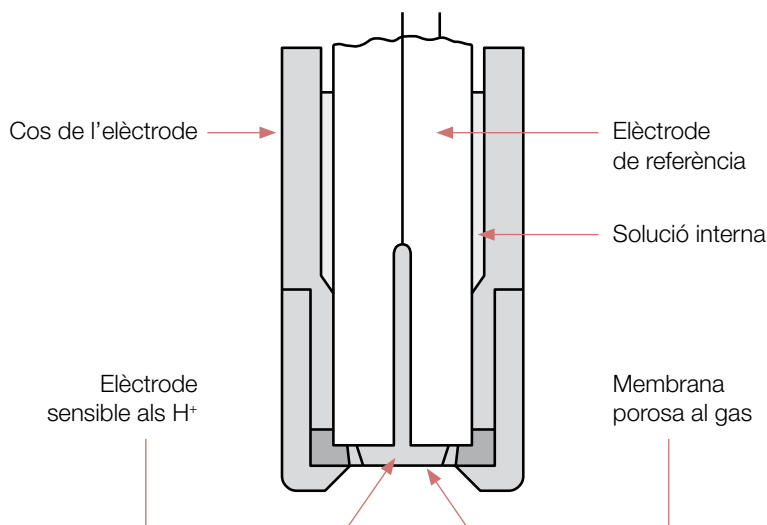
E_c = potencial a causa de l'elèctrode de referència i de les solucions internes;

n = càrrega en valor absolut de l'ió que es detecta;

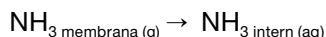
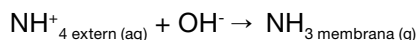
a_{i_0} = activitat iònica (activitat iònica = concentració en solució diluïda).

La **figura 11.2** mostra l'esquema d'aquest elèctrode; la cel·la es compon d'un elèctrode de referència i un elèctrode indicador que mesura el potencial causat pel gas que passa selectivament a través de la membrana permeable.

Figura 11.2. Elèctrode selectiu d'amoníac



La membrana microporosa de l'elèctrode és permeable a un gas determinat (en aquest cas concret, al NH_3) i impedeix que l'aigua i l'electròlit passin a través seu. Quan el gas penetra en la membrana, s'assoleix un equilibri amb la solució interna seguint la seqüència següent:



Quan hi ha un canvi de concentració de NH_4^+ en les mostres per analitzar, s'altera la concentració interna de OH^- (pH) i varia el potencial en l'elèctrode indicador (elèctrode de vidre). Aquest elèctrode es pot utilitzar des de 0 °C fins a 50 °C i en un rang de concentracions compreses entre 10^{-6} M i 1 M en NH_3 .

11.2.2. Reactius i aparells

- Elèctrode selectiu d'amoníac
- Agitador magnètic i imant
- Tubs Nessler
- NaOH 40%
- Solució mare de 1.000 mg N L⁻¹
- Solucions intermèdies de 50 i 500 mg N L⁻¹
- Solució NH_4Cl 0,1M

11.2.3. Procediment

Per a la determinació del contingut en nitrogen de les mostres cal comparar les lectures de les mostres en l'elèctrode selectiu d'amoníac amb les d'una recta patró, tractades totes en les mateixes condicions.

Funcionament i posada en marxa de l'elèctrode

Cal assegurar-se que a l'interior de l'elèctrode hi hagi líquid intern; si no fos així, s'hauria de reblir i deixar-lo una nit abans de fer cap determinació. Mentre estigui muntat però no es faci funcionar, cal deixar-lo en remull en una solució de NH_4Cl 0,1M.

Entre mitja hora i una hora abans de començar a llegir, cal equilibrar l'elèctrode amb el patró de 2 ppm de N amb 2,6 mL de NaOH 40%.

Figura 11.3. Detall de l'elèctrode d'amoniac fent lectures



Preparació dels patrons

La recta patró ideal és la constituïda amb els patrons de 2, 5, 10, 20, 50 i 100 mg L^{-1} de nitrogen. La preparació d'aquests patrons es fa a partir d'una solució mare de 1.000 mg L^{-1} de nitrogen (D_0). A partir d'aquesta solució es preparen dues solucions patrons intermèdies:

- D_1 : solució intermèdia de 50 mg L^{-1} : 10 mL de D_0 diluïts en 200 mL
- D_2 : solució intermèdia de 500 mg L^{-1} : 25 mL de D_0 diluïts en 50 mL

A partir d'aquestes solucions intermèdies es preparen els patrons en tubs de Nessler de 50 mL segons s'indica a continuació:

2 mg L ⁻¹ :	2 mL de D ₁ diluïts en 50 mL
5 mg L ⁻¹ :	5 mL de D ₁ diluïts en 50 mL
10 mg L ⁻¹ :	10 mL de D ₁ diluïts en 50 mL
20 mg L ⁻¹ :	20 mL de D ₁ diluïts en 50 mL
50 mg L ⁻¹ :	5 mL de D ₂ diluïts en 50 mL
100 mg L ⁻¹ :	10 mL de D ₂ diluïts en 50 mL

Poden fer-se patrons més baixos (0,5 i 1 mg L⁻¹) si les mostres ho requereixen, però, en aquest cas, s'haurà d'utilitzar aigua desionitzada per fer les dilucions de les mostres i dels patrons. La lectura dels patrons s'ha de fer començant a llegir pel més diluït i acabant pel més concentrat.

Preparació de la solució de lectura de les mostres

Amb una pipeta es traspassen 10 mL de l'extracte aquós en un tub Nessler de 50 mL, que s'enrasarà amb aigua destil·lada. Aquesta és l'anomenada solució de lectura. En el cas dels lixiviats, amb 2 mL n'hi ha prou, i fins i tot pot ser necessari en alguns casos haver de fer dilucions.

Lectures

El procediment per als patrons i per a les mostres és el mateix. Consisteix a abocar tota la solució de lectura en un vas de precipitats de plàstic de 50 mL, net i sec, a l'interior del qual s'hi ha posat un imant i seguidament s'hi introdueix l'elèctrode i es remena el líquid amb l'agitador magnètic. Aleshores s'hi afegeixen 2,6 mL de la solució de NaOH (al 40%) (vegeu l'apartat 26).

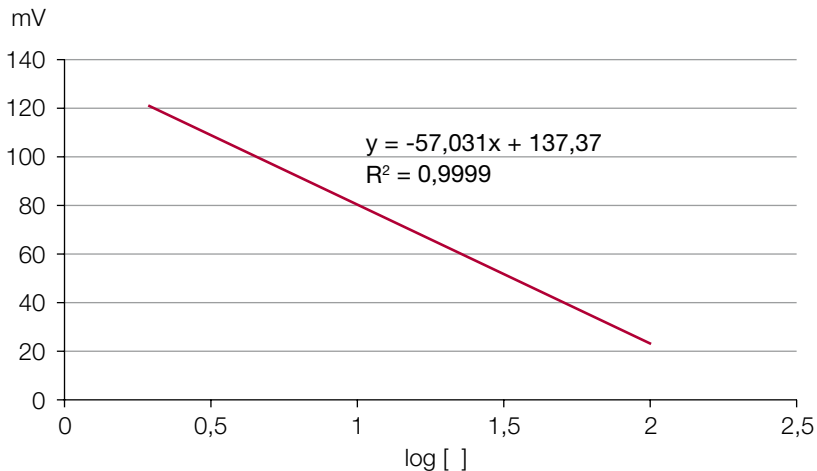
Entre la determinació d'una mostra i la següent cal esbandir l'elèctrode amb aigua destil·lada i assecar-lo suaument sense tocar la membrana. Cal tenir molta cura amb el maneig de l'elèctrode, ja que la membrana és molt sensible al fregament i a les turbulències.

Per a cada sèrie de 15 lectures de mostres s'ha de fer una nova tanda de patrons, que es llegeixen al començament de la sèrie de mostres.

11.2.4. Càlculs

Aquest elèctrode és, de fet, un elèctrode de pH i, per tant, les lectures són logarítmiques. El pendent de la recta patró ha de ser de 57 ± 3 , és a dir, si disminuïm 10 vegades la concentració de NH_3 , la diferència en mV ha de ser de 57 ± 3 .

Figura 11.4. Recta model



A l'hora de trobar la concentració s'ha de tenir en compte que el resultat de posar el valor del potencial dóna el logaritme de la concentració, del qual s'haurà de trobar la concentració real en la recta.

Si es considera la metodologia duta a terme en la preparació de l'extracte aquós (1/5, P/V), s'hauria d'aplicar la fórmula:

$$\frac{\text{mgN} - \text{NH}_4^+}{\text{kg ms}} = \frac{X \text{ mg N}}{1.000 \text{ mL dis}} \cdot \frac{50 \text{ mL dis}}{V \text{ mL extr}} \cdot \frac{200 \text{ mL extr}}{40 \text{ g mf}} \cdot \frac{100 \text{ g mf}}{M \text{ g ms}} \cdot \frac{1.000 \text{ g ms}}{1 \text{ kg ms}}$$

On:

X = concentració trobada en la recta de la solució de lectura;

M = grams de matèria seca per 100 g de matèria humida;

V = volum d'extracte.

11.3. Comentaris

La lectura dels patrons és decreixent, és a dir, el que dóna un potencial més alt és el de 2 mg L⁻¹; pot succeir que els patrons més alts, especialment el de 100 mg L⁻¹, donin una lectura negativa, però el que s'ha de tenir en compte és que es mantingui el pendent de 57 ± 3 .

El mètode s'ha descrit utilitzant una solució de lectura de 10 mL de l'extracte aquós, però s'ha de considerar que, segons el tipus de mostra, la lectura pot sortir-se de la recta. Es pot solucionar fent noves lectures en què es posa més o menys volum. En general, per a les mostres de compost madur n'hi ha prou amb 10 mL, però per a mostres immadures o en què el procés de compostatge no s'hagi fet adientment (manca de carboni en la barreja), amb 2 o 5 mL n'hi ha prou. Per contra, per a restes vegetals o materials inicials, pot ser necessari posar-ne 20 o 50 mL per poder arribar a concentracions que entrin dins la recta.

També s'ha de recordar que els patrons i les mostres han d'estar a la mateixa temperatura (una diferència d'1 °C suposa un 2% d'error).

En anàlisis de rutina és aconsellable determinar el contingut en NAS més que en NAT, per aprofitar l'extracte preparat per a la determinació del pH i la CE.

11.4. Taules de referència

En l'**apartat 14 (taula 14.1)** s'indica la repetibilitat d'aquesta determinació, i es resalta la diferència segons es determini en mostres inicials o finals.

La **taula 11.4** mostra la variabilitat dels continguts en NAS de diferents grups de mostres de compost i les diferències entre ells. La **taula 11.5** exposa les diferències en el contingut en nitrogen amoniacal de mostres agafades en diferents punts del procés. En un compostatge ben controlat i amb una barreja inicial equilibrada, el contingut en nitrogen amoniacal hauria d'anar disminuint al final de la descomposició i durant tota l'etapa de maduració. Algunes referències indiquen que hauria d'arribar a valors inferiors a 400-500 mg kg⁻¹ (Zucconi i de Bertoldi, 1987; Brinton, 2000; California Compost Quality Council - CCQC, 2001), encara que segurament es refereixen als continguts totals (**vegeu l'apartat 12**).

Taula 11.4. Taula descriptiva del contingut en nitrogen amoniacal (mg N kg⁻¹ ms) de mostres de compost de diferent origen (informes de convenis ESAB-SMADB; Huerta *et al.*, 2006b)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FORM (posteriors a 1996)	158	1.067	927	86,89	60	5.065
Fangs	34	2.686	2.343	87,21	934	9.678
RSU 1 (abans 1996)	42	2.720	1.455	53,50	700	6.417
RSU 2 (després 1996)	44	1.768	1.171	66,27	200	4.164
Totes les mostres	278	1.626	1.472	90,56	934	9.678

n: nombre de mostres

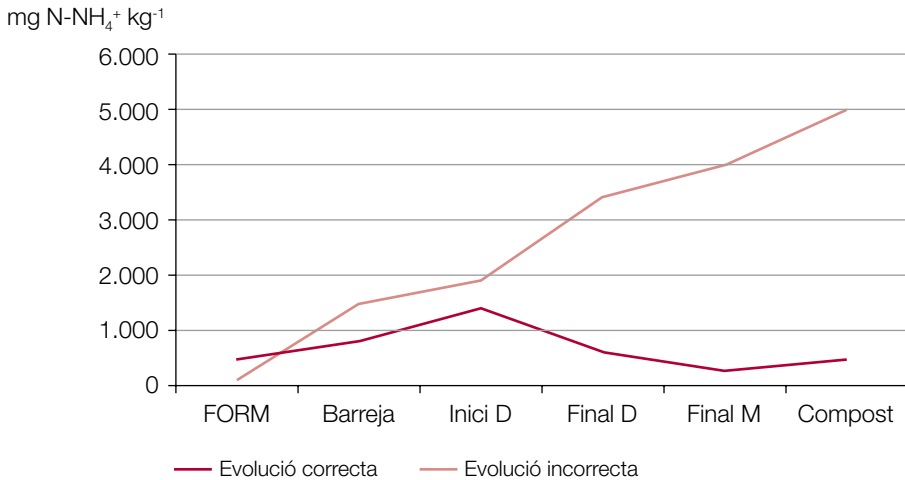
Taula 11.5. Contingut en nitrogen amoniacal soluble (mg N kg⁻¹ ms) de mostres agafades en diferents punts del procés de compostatge (MIMAM-ESAB-ARC, 2007)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FORM	17	742	586	79	2.100	110
RVT	17	170	173	101	500	15
RCV	26	1.125	908	81	92	3.067
Inici descomposició	16	822	1.307	159	4.400	290
Inici maduració	9	2.797	1.727	62	5.500	510
Compost	27	1.625	1.257	77	4.300	200

n: nombre de mostres

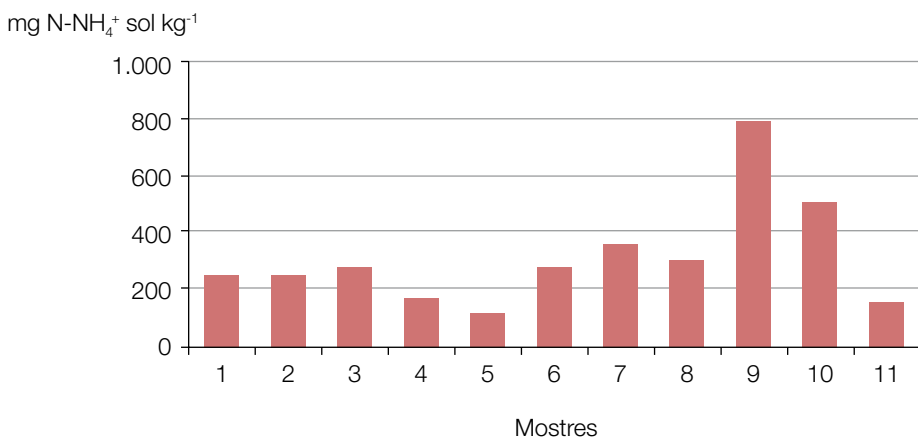
En la **figura 11.5** es mostra l'evolució del contingut en NAS en dues plantes de compostatge de FORM; quan el NAS continua incrementant-se al llarg de tot el procés indica que aquest procés no està ben portat i es presentaran molèsties per olors desagradables, a part de pèrdues de N.

Figura 11.5. Variació del contingut en nitrogen amoniacal soluble de mostres agafades al llarg del procés de compostatge en dues plantes



La **figura 11.6** mostra la variació en el contingut en NAS de mostres d'una mateixa planta de compostatge de FORM agafades al llarg d'un any. Els continguts més elevats es poden relacionar amb mostres menys madures o mal compostades.

Figura 11.6. Contingut en NAS de mostres de compost procedents d'una mateixa planta de compostatge de FORM (Molina, 1997; Campabadal, 1998)



En la **taula 11.6** es mostra la variació del contingut en N amoniacal i orgànic durant un procés incorrecte de compostatge de residus sòlids urbans (RSU) sense recollida selectiva; paral·lelament a la disminució del contingut en nitrogen orgànic s'incrementa el contingut en nitrogen amoniacal que fàcilment es podrà perdre durant els voltejos.

Taula 11.6. Variació del contingut en nitrogen amoniacal i orgànic durant 16 setmanes del compostatge de RSU en condicions inadequades (Manzano,1993)

Nre. setmanes	2	4	6	8	12	16
% N-NH ₄ ⁺ sol	0,17	0,21	0,26	0,41	0,48	0,60
% N _{org}	1,46	1,59	1,13	1,13	1,18	0,99

Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

BRINTON, 2000; CALIFORNIA COMPOST QUALITY COUNCIL (CCQC), 2001; HUERTA *et al.*, 2008a; ZUCCONI i DE BERTOLDI, 1987.

12. Nitrogen amoniacal total (NAT)

12.1. Introducció

Per a aquesta determinació, i tenint en compte que l'ió NH_4^+ pot estar retingut pel complex de canvi de la mostra, cal fer una extracció utilitzant una solució capaç de desplaçar-lo (solució àcida de KCl). Una vegada feta l'extracció en condicions adequades i ben definides, cal quantificar el nitrogen amoniacal extret (total) fent, per exemple, una destil·lació en medi bàsic.

Figura 12.1. Destil·lador automàtic



12.2. Reactius i aparells

- NaOH 0,02N normalitzada
- HCl 0,02N afegint-hi els indicadors verd de bromocresol i roig de metil
- MgO sòlid
- Destil·lador Vapodest 12
- KCl 2N (pH 2,5)

12.3. Procediment

- Es fa una extracció sobre la mostra humida amb la solució de KCl 2N (portada a pH 2,5 amb HCl) (1/10) (P/V). Se segueix el mateix procediment que en fer l'extracció amb aigua (**vegeu apartat 6**).
- 25 mL de l'extracte s'introdueixen en el tub del destil·lador, netejant les parets del tub amb aigua destil·lada.
- S'encaixa el tub al destil·lador i s'afegeixen 2 g de MgO.
- S'engega l'aparell perquè comenci a destil·lar i es recull el destil·lat en un erlenmeyer amb un volum de HCl conegut (generalment 25 o 50 mL).
- Quan ja ha acabat la destil·lació i ha passat tot el N-NH_4^+ a NH_3 , aquest es troba recollit en l'HCl en excés.
- Valorar l'HCl sobrant amb la NaOH 0.02N normalitzada.

S'ha de fer un blanc cada 6 mostres utilitzant MgO i aigua destil·lada.

12.4. Càlculs

$$\% \text{ N - NH}_4 \text{ sms} = \frac{(V_b - V_m) \cdot 0,02f \cdot 14 \cdot V_{ET} \cdot 10}{25 \text{ g mh} \cdot \text{MS}}$$

On:

g mh: g de mostra humida per fer l'extracte.

V_b : mL de sosa 0,02 N gastats en la valoració del blanc.

V_m : mL de sosa 0,02 N gastats en la valoració de la mostra.

V_{ET} : mL d'extracte total.

f: factor de normalització de la sosa.

MS: percentatge de matèria seca.

12.5. Comentaris

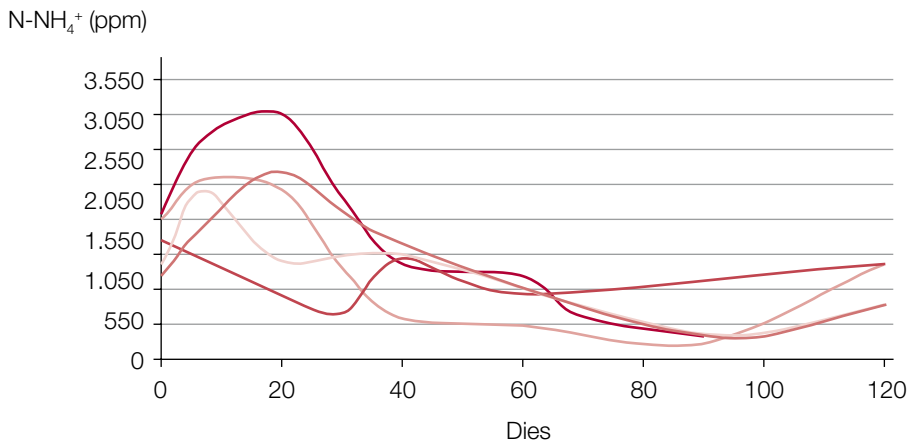
Tot i l'interès que puguin tenir els resultats dels continguts de NAT, no s'aconsella la seva determinació en els controls de rutina atès que els complica, ja que obliga a fer una altra extracció. En canvi, la determinació del NAS es pot fer sobre el mateix extracte aquós utilitzat per a altres determinacions.

Sovint es proposa el contingut en NAT com a paràmetre de maduresa del compost (vegeu l'apartat 29); Zucconi i De Bertoldi (1987) donaven com a contingut màxim en composts madurs 0,04% sms.

En l'apartat 14 (taula 14.1) s'indica la repetibilitat d'aquesta determinació, i es resalta la diferència segons es determini en mostres inicials o finals.

En la figura 12.2 es pot veure la variació del contingut en N-NH_4^+ total al llarg del compostatge de diferents piles de barreges de FORM i RV; durant la fase de descomposició (primers 20-30 dies) és quan hi ha més activitat i més formació de ni-

Figura 12.2. Variació del contingut en nitrogen amoniacal total en diferents piles de compostatge de FORM+RV (Huerta *et al.*, 2008a)



trogen amoniacal. Posteriorment, en la fase de maduració, aquest va disminuint si la barreja inicial i el control seguit són correctes.

En la **figura 12.3** es mostra la correlació dels continguts en NAS i NAT determinats en mostres de RO de diferents tipus; en la **figura 12.4** es mostra la relació entre els valors individuals dels mateixos continguts.

Figura 12.3. Correlació (95% de significació) entre els valors de NAS i NAT en mostres de residus orgànics de diferents orígens (ESAB-SMADB, 1998)

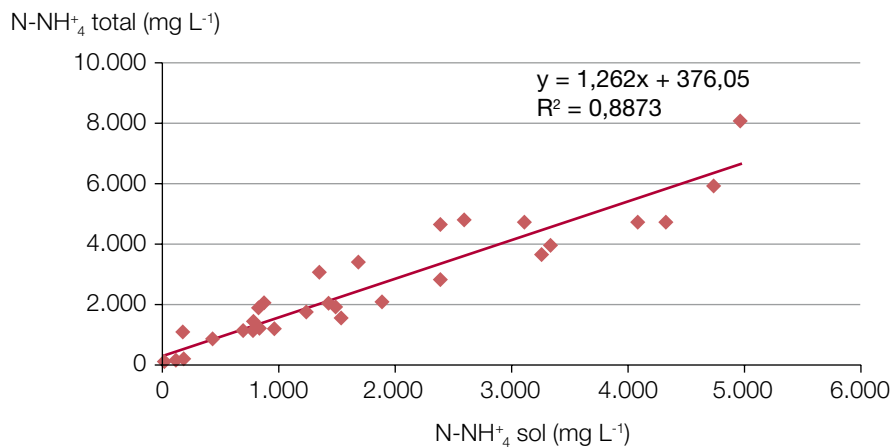
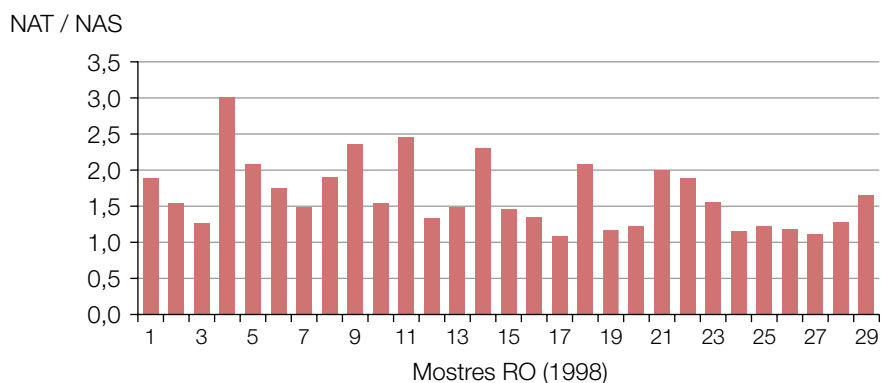


Figura 12.4. Relació entre els continguts de NAT i NAS de mostres de residus orgànics (RO) de diferents tipus (Chacó, 1997; Campabadal 1998)



13. Nitrogen soluble (orgànic més amoniacal)

13.1. Introducció

El nitrogen contingut en l'extracte aquós es determina després de fer-ne una digestió Kjeldahl, seguida de la posterior quantificació amb elèctrode selectiu d'amoníac (**vegeu l'apartat 11**). Permet determinar diferents formes de nitrogen solubles en aigua, orgànic i amoniacal, però no es quantifica el nitrogen en forma nítrica si la mostra en conté.

13.2. Reactius i aparells

- H_2SO_4 concentrat
- Catalitzador Kjeldahl
- NaOH 40%
- Digestor Kjeldahl
- Potenciòmetre i elèctrode selectiu d'amoníac

13.3. Procediment

Es posen 10 mL d'extracte (**apartat 6**) dins d'un tub Kjeldahl i s'hi afegeix 1,5 g de catalitzador Kjeldahl i 7 mL de H_2SO_4 . Atès que es tracta d'un medi molt líquid, per evitar que es produeixi una ebullició excessiva dins els tubs es pot procedir de dues maneres: bé posant els tubs a l'estufa a 70-80 °C el temps suficient per tal de reduir l'aigua abans de digerir-los, o bé posant els tubs directament al digestor i pujar de mica en mica la temperatura. També s'han de fer blancs posant-hi només catalitzador i àcid sulfúric.

La mostra es digereix fins que la solució sigui transparent, amb una certa tonalitat blavosa, durant prop d'una hora, comptabilitzada a partir del moment en què la temperatura arriba als 400 °C. Es treuen els tubs Kjeldahl del bloc del digestor i es deixen refredar, i es mantenen l'extractor i el buit encesos una estona més, fins que deixi de fumejar. Quan els tubs han recuperat la temperatura ambient s'hi afegeixen amb precaució uns mil·lilitres d'aigua destil·lada (de 15 a 20 mL), que farà que tornin a escalfar-se. Es deixen refredar de nou i es traspasa quantitativament tot el líquid contingut en el matràs aforat de 100 mL filtrant-lo amb paper de filtre; es fan els rentats oportuns, que es recullen amb el digerit, i finalment s'enrasa el matràs amb aigua destil·lada.

La quantificació del digerit es fa com s'ha explicat respecte del nitrogen amoniacal soluble (**vegeu l'apartat 11**), però tenint en compte que cal afegir tants mL de blanc als patrons com mL de mostra es posin a la solució de lectura per tal d'equilibrar la concentració salina. També es pot quantificar per destil·lació en medi bàsic i fer una valoració posterior.

13.4. Càlculs

El procediment es fa igual que en el nitrogen amoniacal (**vegeu l'apartat 11.2**), a partir de l'elaboració de la recta per obtenir la concentració des de les lectures de les mostres en mV.

$$\%N = \frac{X \text{ mg N}}{1.000 \text{ mL}} \cdot \frac{50 \text{ mL}}{10 \text{ mL dig}} \cdot \frac{100 \text{ mL dig}}{10 \text{ mL extracte}} \cdot \frac{200 \text{ mL}}{40 \text{ g mh}} \cdot \frac{100 \text{ g mh}}{Y \text{ g ms}} \cdot \frac{1 \text{ g}}{1.000 \text{ mg}}$$

On:

X = mg en N en la solució de lectura calculats a partir de la recta patró;

Y = g de matèria seca per 100 g de mostra humida.

Nota: En aquests tipus de determinacions és important fixar-se que s'han fet sobre la mostra humida però el resultat normalment s'expressa sobre mostra seca.

En el cas que les lectures quedin fora de la recta, no es poden repetir posant més o menys volum d'extracte, com es feia en el nitrogen amoniacal, ja que en aquest cas

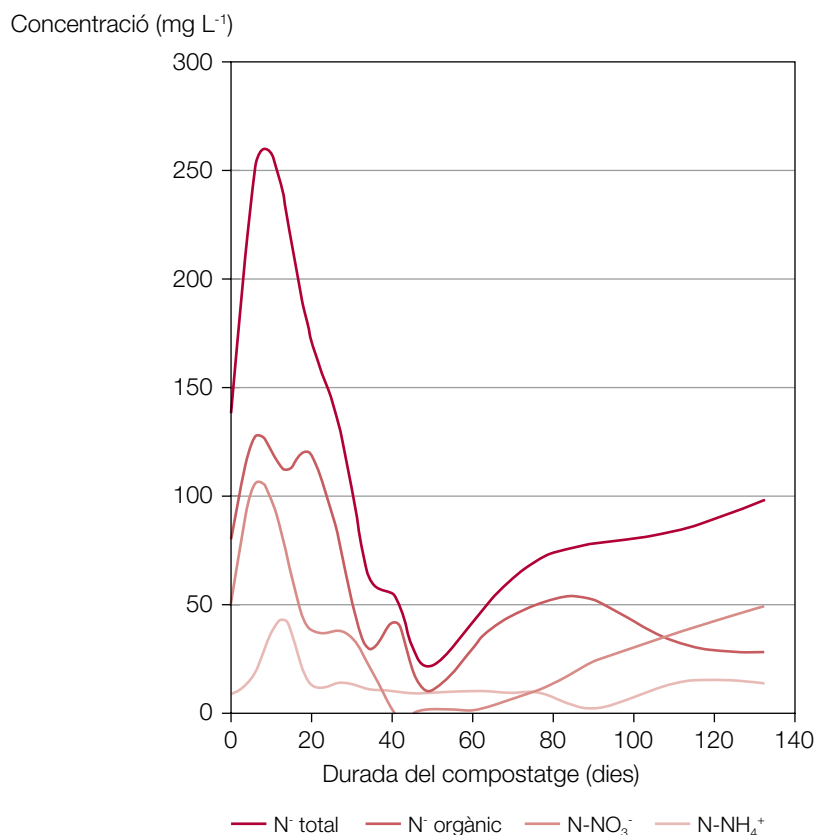
s'ha afegit blanc en els patrons en el mateix volum. En tal cas, s'hauria de fer una nova recta posant tant blanc en els patrons com volum de mostra es vulgui llegir.

13.5. Comentaris

Tot i l'interès que puguin tenir els resultats dels continguts de nitrogen soluble, no se'n aconsella la determinació en els controls de rutina.

En la **figura 13.1** es mostren continguts en diverses formes solubles de nitrogen en extractes aquosos (1/10) de compost de residus municipals (Chefetz *et al.*, 1998).

Figura 13.1. Contingut en diferents formes solubles de nitrogen en extractes aquosos (1/10) de compost de residus municipals (Chefetz *et al.*, 1998)



En treballs de recerca es pot determinar els continguts en N i C solubles per relacionar-los amb l'estabilitat del compost (**taula 13.1**). En avançar el procés de compostatge va disminuint el contingut en components solubles; alguns autors assenyalen que és més representativa la variació de la relació C/N en l'extracte aquós que en la mostra sòlida (Chanyasak i Kubota, 1981; Romera, 1988) (**vegeu apartat 16**).

Taula 13.1. Canvis en els continguts en nitrogen orgànic total i soluble (Said-Pullicino *et al.*, 2007)

Dies de compostatge	NOT (g kg ⁻¹)	NOS (mg mL ⁻¹)	COT/NOT	COS/NOS
0	15,4	0,23	20,6	26,8
6	12,8	0,17	24,8	22,5
13	14,9	0,13	21,0	26,3
19	19,5	0,22	17,2	15,8
25	17,0	0,40	18,4	8,7
28	18,3	0,25	18,6	10,5
45	19,2	0,33	16,8	7,6
70	18,2	0,40	17,0	7,4
90	22,2	0,34	13,8	6,9
250	24,8	0,22	10,8	6,7

Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

CHEFETZ *et al.*, 1998a, 1998b; GARCIA *et al.*, 1991; ZMORA-NAHUMA *et al.*, 2005.

14. Nitrogen fàcilment mineralitzable (NFM)

14.1. Introducció

Per determinar el nitrogen fàcilment mineralitzable (amoniacal soluble i intercanviable i els components nitrogenats orgànics més sensibles a la hidròlisi –compostos de baix pes molecular–) es tracta directament la mostra sòlida humida amb NaOH al 40% en calent, destil·lant i recollint l'amoníac després en una solució àcida. Es quantifica la part de solució àcida que no ha reaccionat i per diferència amb l'inicial es pot conèixer la quantitat de nitrogen anomenada nitrogen fàcilment mineralitzable (NFM).

14.2. Reactius i aparells

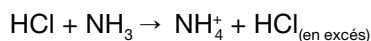
- Balança de precisió
- Destil·lador
- Tubs Kjeldahl
- Solució 0,02N de HCl
- Solució 0,02N de NaOH factoritzada
- Indicador roig de metil
- Indicador verd de bromocresol
- Pipeta
- Erlenmeyer

14.3. Procediment

Es pesen entre 9 i 10 g de mostra humida, amb la balança de precisió ($\pm 0,0001$ g). Aquesta quantitat es transvasa a un tub Kjeldahl que es connecta al destil·lador (figura 12.1). S'hi afegeixen 10 mL de sosa del 40% (el destil·lador ha d'estar connectat a un dipòsit d'aigua destil·lada i a un dipòsit amb sosa del 40%).

Es col·loca l'erlenmeyer de 250 mL amb 25 mL de HCl 0,02N amb indicador (roig de metil i verd de bromocresol) per recollir l'amoníac, i es procedeix a la destil·lació.

Quan la destil·lació ha finalitzat es retira l'erlenmeyer per fer una valoració per retrocés de l'àcid clorhídric que no ha reaccionat amb l'amoníac que s'ha després.



La valoració es fa amb sosa 0,02N factoritzada. També cal valorar un blanc on es posen 25 mL de HCl amb indicador en l'erlenmeyer i els 10 mL de NaOH 40% en el tub Kjeldahl. Quan passa d'un color vermellós a un color verd grisós ja es dona per finalitzada la valoració.

En cas que ja en el destil·lador ens aparegui aquest color verd grisós, això indica que tenim més amoníac que àcid clorhídric, i, per tant, hi hauríem d'afegir una quantitat més gran d'àcid clorhídric o bé més quantitat de sosa del 40%.

14.4. Càlculs

$$\% \text{ NFM sms} = \frac{(V_b - V_m) \cdot 0,02f \cdot 14 \cdot 10}{\text{g mh} \cdot \text{MS}}$$

On:

g mh = pes de mostra humida;

Vb = mL de sosa 0,02N gastats en la valoració del blanc;

Vm = mL de sosa 0,02N gastats en la valoració de la mostra;

f = factor de normalització de la sosa;

MS = percentatge de matèria seca.

14.5. Comentaris

La **taula 14.1** compara el contingut en NFM amb els continguts de nitrogen amoniacal soluble i total determinats en mostres de barreges inicials (FORM + RV) i les mateixes barreges al cap de 60 dies de procés.

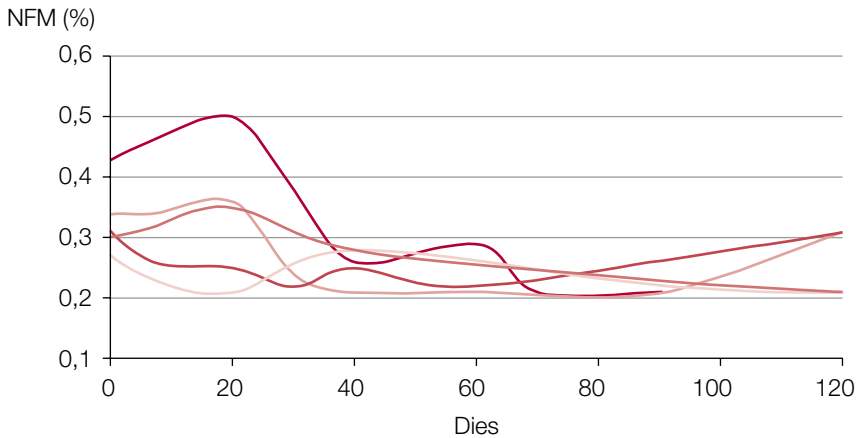
Taula 14.1. Variabilitat de les determinacions de diferents formes de (N mg kg⁻¹) sms segons siguin mostres agafades a l'inici del procés de compostatge o als 60 dies (Molina, 1997; Campabadal, 1998)

	N-NH ₄ ⁺ sol		N-NH ₄ ⁺ tot		NFM	
	inicial	60 dies	inicial	60 dies	inicial	60 dies
	1.721	626	2.656	1.097	3.500	1.800
	1.942	690	2.597	988	4.200	2.000
	1.619	602	2.194	828	3.300	2.300
	1.202	602	1.835	882	3.400	2.500
	458	703	420	1.061	1.900	2.200
	686	650	812	1.059	2.300	2.300
Mitjana	1.271	646	1.752	986	3.100	2.183
Desv. estànd.	597	44	937	109	846	248
% CV	46,96	6,74	53,48	11,02	27,30	11,37

És important adonar-se que la destil·lació directa de la mostra humida en medi bàsic fort quantifica quelcom més que el considerat com a nitrogen amoniacal total.

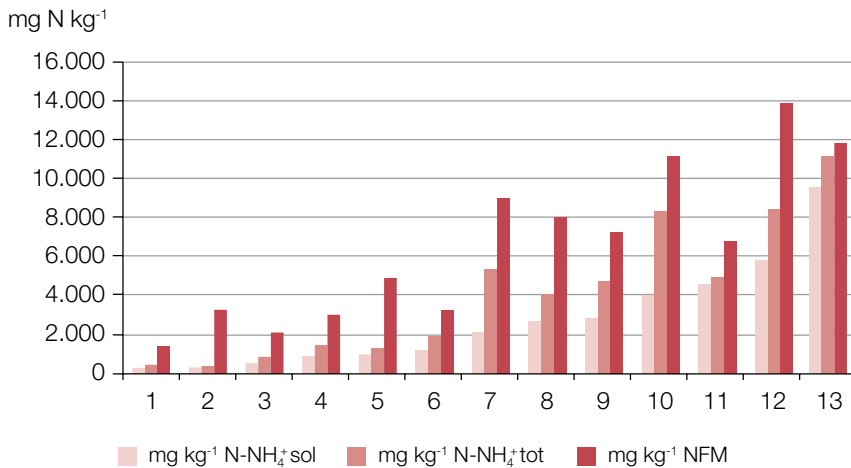
En la **figura 14.1** es pot veure la variació en el contingut en NFM en mostres agafades al llarg de diferents processos de compostatge de FORM + RV.

Figura 14.1. Contingut en NFM de mostres agafades al llarg del procés de compostatge de diverses piles de FORM + RV (Huerta *et al.*, 2008a)



En la **figura 14.2** es mostren els continguts en NFM, comparats amb els continguts en N amoniacal soluble i total, de mostres de residus orgànics de diferents orígens.

Figura 14.2. Continguts en NFM de residus orgànics de diferents orígens comparats amb els continguts en N amoniacal soluble i total (Fernández i Soliva, 2001)



15. Nitrogen nítric

15.1. Introducció

En els primers estadis del compostatge pràcticament no es formen nitrats; quan finalitza la fase de descomposició (termofílica) i es van incrementant els microorganismes mesofílics aquests poden afavorir la formació de nitrats. El nitrogen nítric és un bon indicador de la maduresa del compost. Implica que el procés s'ha completat i que gràcies a les condicions finals (aeròbies, baixa temperatura i continguts baixos de nitrogen amoniacal) s'ha establert el procés de nitrificació. Quan la fase de maduració s'allarga per aconseguir un material molt estable, com és el cas de preparar compost per ser utilitzat com a substrat, l'increment de la formació de nitrats afavoreix el descens del pH.

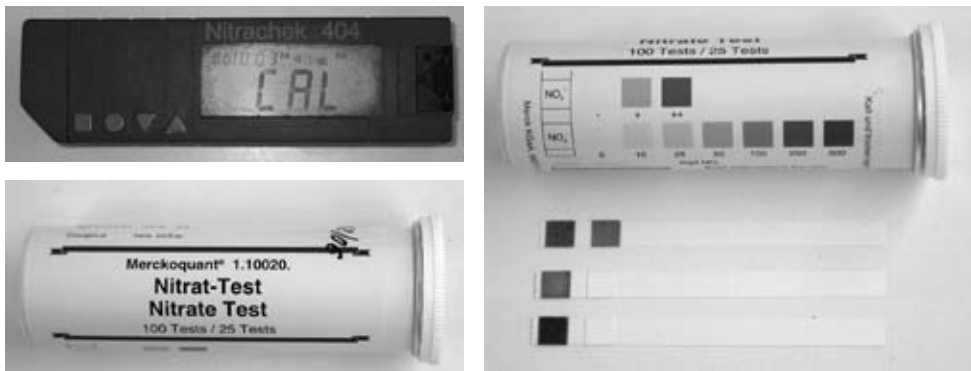
15.2. Base teòrica

La determinació del nitrogen nítric es fa a partir de l'extracte aquós i es poden quantificar els nitrats extrets per diferents metodologies: elèctrode selectiu de nitrats (Vidal, 1995), electroforesi capil·lar (de la Rosa, 1999; Fernández, 2001), o bé per electrometria utilitzant el Nitrate Meter, Nitracheck 404 (Almansa, 1999). En aquest darrer cas, els ions nitrat es redueixen a ions nitrit per l'acció d'un reductor que, en presència d'un tampó àcid, reacciona amb una amina aromàtica donant una sal de diazoni que amb N-(1-naftil)-etilendiamina dóna un azocolorant violat rogenç.

15.3. Reactius i aparells

- Test de nitrats (varetes indicadores) Merckoquant
- Nitrachek 404

Figura 15.1. Nitrachek 404 i varetes indicadores



15.4. Procediment

Amb les varetes indicadores del test de nitrats Merckoquant es pot efectuar de manera senzilla i ràpida la determinació dels nitrats. Aquesta determinació es fa a partir de l'extracte aquós. Abans de fer la lectura de les mostres cal realitzar una recta patró de N-NO_3^- (nitrogen nítric) de concentració: 1, 2, 5, 10, 20, 50 i 100 mg L^{-1} a partir de la solució mare de 1.000 mg L^{-1} . Aquesta solució mare es pot tenir preparada i guardada a la nevera, però llavors caldrà afegir-hi solució conservadora; l'altra possibilitat és preparar els patrons cada cop que s'enceta un tub de varetes.

- S'introdueix la vareta analítica amb les dues zones de reacció durant uns segons en la solució (que ha d'estar a una temperatura d'entre 15 i $25 \text{ }^\circ\text{C}$). En primer lloc, es determina la lectura dels patrons i, a continuació, de les mostres. La vareta analítica consta de dues zones de reacció: una on es reflecteix la concentració en nitrats i l'altra on apareixen els nitrits, espècie que interfereix en la lectura i que cal eliminar afegint 5 gotes d'àcid amidosulfúric al 10% a 5 mL de la mostra.

- S'elimina l'excés de líquid de la vareta agitant-la i, passat un minut, s'introdueix en l'aparell de lectura Nitrachek 404, que donarà el resultat en mg L^{-1} de NO_3^- (nitrats).

15.5. Càlculs

En primer lloc, cal determinar la concentració de lectura a partir de la recta patró. L'aparell proporciona les lectures en mil·ligrams de nitrats o L^{-1} .

Taula 15.1. Patrons de N en forma nítrica i la seva concentració expressada en NO_3^-

Patrons N-NO_3^-	Concentració teòrica en NO_3^- ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
1	4
2	9
5	22
10	44
20	89
50	221
100	443

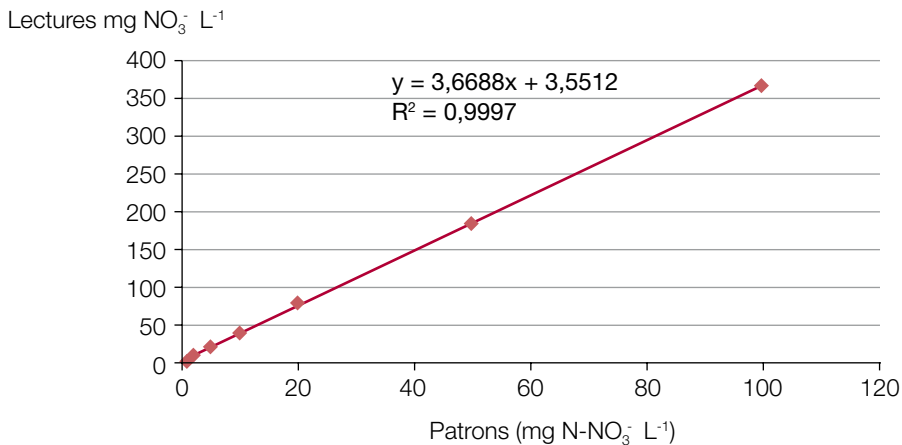
La **taula 15.1** mostra l'equivalència teòrica entre N-NO_3^- (allò que es vol determinar) i NO_3^- (lectura del Nitrachek).

	Factor de conversió
De N-NO_3^- a NO_3^-	4,43
De NO_3^- a N-NO_3^-	0,226

No obstant això, la realitat mostra que les lectures dels patrons, encara que s'aproximen, no són exactament les que apareixen en la taula ni les resultants d'aplicar

el factor de conversió, raó per la qual no es pot transformar directament la lectura a N-NO_3^- , sinó que cal fer una recta que relacioni concentració dels patrons de N-NO_3^- amb lectures de NO_3^- (figura 15.2).

Figura 15.2. Recta patró de N-NO_3^-



Un cop obtinguda la lectura de la solució en $\text{mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ a partir de la recta, cal transformar-la a mg sobre kg de matèria seca:

$$\frac{\text{mg N-NO}_3^-}{\text{kg ms}} = \frac{X \text{ mg N-NO}_3^-}{1.000 \text{ mL}} \cdot \frac{V \text{ mL}}{\text{g mh}} \cdot \frac{100 \text{ g mh}}{\text{MS}} \cdot \frac{1.000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}$$

On:

X = concentració de la lectura dins la recta patró;

V = volum d'extractant;

g mh = g de mostra humida per fer l'extracte;

MS = percentatge de matèria seca (g per 100 g de mostra humida).

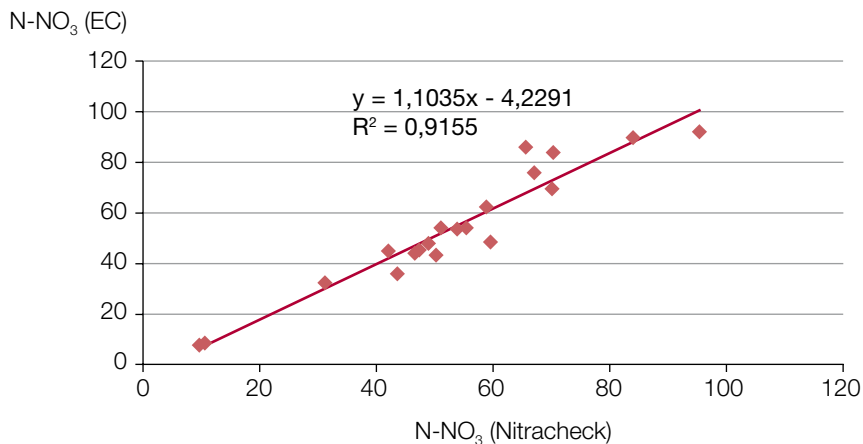
La sensibilitat de les varetes se situa entre 10 i 500 mg L^{-1} de nitrat, per la qual cosa pot ser necessari diluir la solució de lectura. Aquest factor caldrà tenir-lo en compte a l'hora de determinar la concentració sobre matèria seca.

Perquè la lectura amb varetes sigui adequada, el pH ha de trobar-se entre 1 i 12; si és inferior a 1 caldrà amortir-lo amb acetat sòdic, mentre que si és superior a 12 s'haurà de rebaixar amb àcid tartàric fins a un valor entre 3 i 5.

15.6. Comentaris

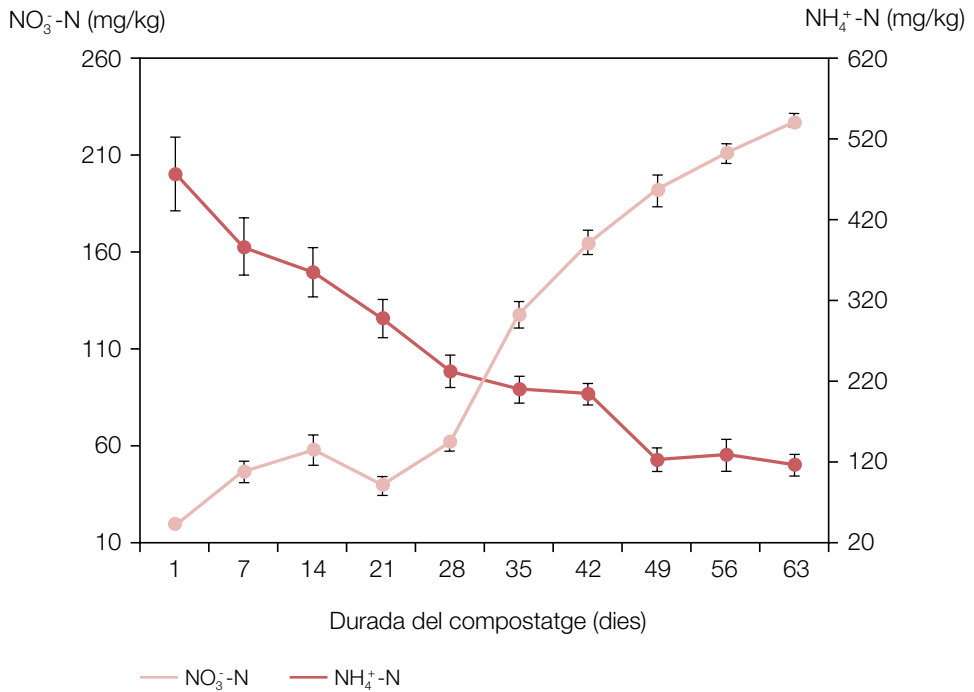
La determinació del contingut en nitrats en els extractes pel mètode del Nitratecheck és una metodologia més assequible per fer anàlisis de rutina que utilitzar l'electroforesi capil·lar o la cromatografia iònica. En la **figura 15.3** es mostra la bona correlació existent entre els resultats trobats entre la determinació amb el Nitratecheck o per electroforesi capil·lar.

Figura 15.3. Correlació entre el contingut en nitrats (mg kg^{-1}) determinats pel Nitratecheck i per electroforesi capil·lar (Almansa, 1999)



En avançar la maduració va disminuint el N amoniacal i incrementant-se el N-NO_3^- (**taula 15.2** i **figura 15.4**). El contingut en N-NO_3^- és considerat per certs autors com un paràmetre per informar de la maduresa del compost. Barberis *et al.* (1990) parlen del fet que en un compost madur el contingut N-NO_3^- ha de ser superior al 0,04% sms i, en canvi, el de N en forma amoniacal inferior al 0,06%.

Figura 15.4. Canvis en el contingut en N amoniacal i nítric al llarg del compostatge de fems (Han et al., 2008)



Taula 15.2 . Variació dels continguts en nitrogen amoniacal i nítric al llarg de dos processos de compostatge (A, B)

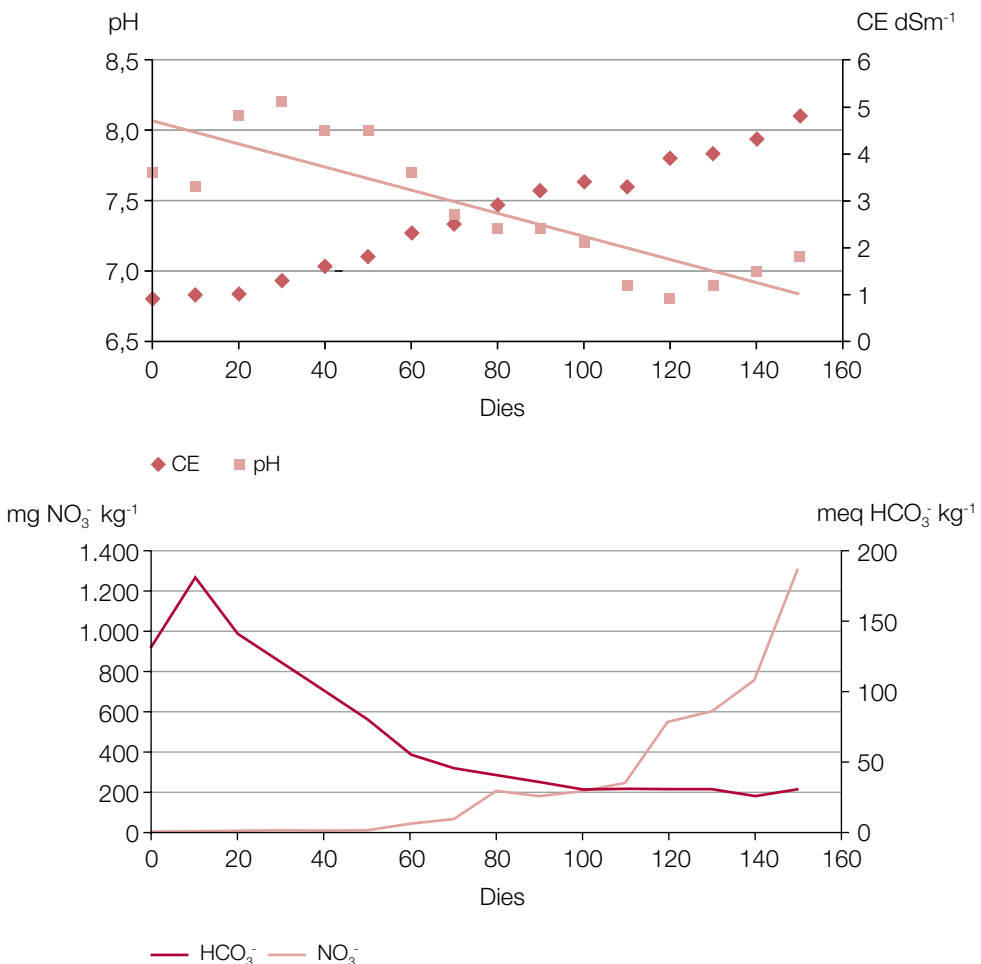
	mg kg ⁻¹ sms			
	N amoniacal		N nítric	
	A	B	A	B
Inici	2.198	900	41	10
Fase descomposició	1.766	1.200	132	25
Fase de maduració	926	1.400	256	20
Producte final	18	1.900	951	30

A: Compostatge ben controlat de RV + fangs

B: Compostatge de RSU mal controlat

En la **figura 15.5** es pot observar com en el compostatge de fems de vaquí, per obtenir un substrat, s'ha dut a terme una maduració molt completa, aconseguint que a partir dels 100 dies es produeixi una davallada important del contingut en nitrogen amoniacal a causa del procés de nitrificació. Paral·lelament s'aprecia la disminució del pH (cal recordar que la nitrificació és acidificant)¹⁴ i la pujada de la CE.

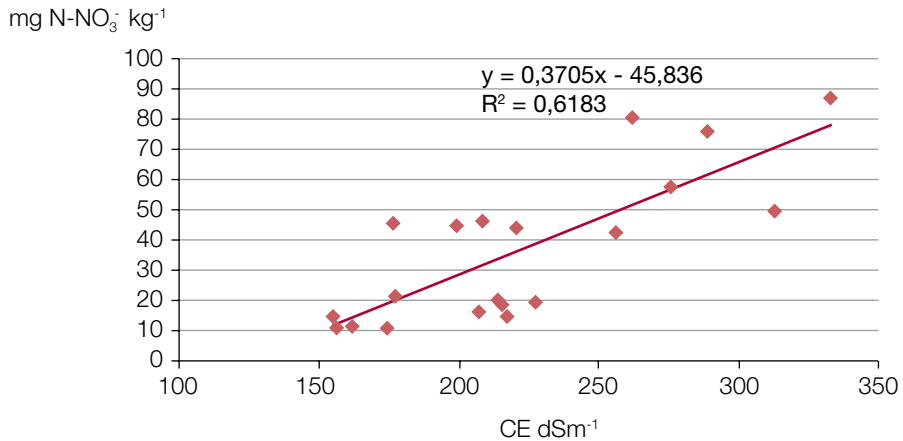
Figura 15.5. Variació del pH i la CE al llarg del compostatge de fems de vaquí (piles voltejades) i evolució del contingut en nitrats i bicarbonats (Càceres, 2003)



14. $\text{NH}_4^+ + 1,86 \text{O}_2 + 1,98 \text{HCO}_3^- \rightarrow 0,02 \text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2 + 0,98 \text{NO}_3^- + 1,88 \text{H}_2\text{CO}_3 + 1,04 \text{H}_2\text{O}$.

En la **figura 15.6** es mostra la influència del contingut en nitrats en la CE de l'extracte aquós.

Figura 15.6. Regressió entre CE i continguts en nitrats de mostres de RO de diferents orígens (Fernández i Soliva, 2001)



Nota bibliogràfica

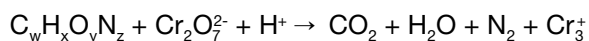
A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

CHEFETZ *et al.*, 1998; DE LA ROSA, 1999; FAUCI *et al.*, 1999; CACERES *et al.*, 2006.

16. Carboni soluble oxidable

16.1. Base teòrica

En l'extracte aquós obtingut de la mostra humida (**vegeu l'apartat 6**) es pot determinar el contingut en carboni orgànic soluble (C_{ox} , o també COS), que dóna informació sobre l'estat de la matèria orgànica de la mostra; com més estable sigui aquesta més baix hauria de ser el contingut en carboni orgànic soluble (Romera, 1988; Chanyasak i Kubota, 1981; Zmora-Nahuma *et al.*, 2005). La quantificació del carboni extret es pot fer per oxidació de la matèria orgànica per via humida amb dicromat potàssic i en un medi àcid segons la fórmula següent:



Tot i que es podria determinar la quantitat de dicromat sobrant per una volumetria d'oxidació-reducció, en aquest cas, a causa de les baixes concentracions, es fa per un mètode colorimètric.

16.2. Reactius

- Dicromat potàssic: $K_2Cr_2O_7$ 1N
- Àcid sulfúric concentrat i puríssim (per a colorimetries)

Patrons

- Es prepara una solució de 5 mg de glucosa/mL de solució: es pesen 5 g de glucosa pura anhidra assecada a 80 °C durant una hora i s'enrasen a 1 L. Aquesta solució es pot guardar al congelador en recipients petits.

– Els patrons són de 5, 10, 15, 20 i 25 mg de glucosa, i es posa respectivament en un tub de Nessler de 50 mL 1, 2, 3, 4 i 5 mL de solució de glucosa de 5 g L⁻¹.

16.3. Procediment

Es pipeteja 5 mL de K₂Cr₂O₇ 1N en un tub de Nessler de 50 mL més 2 mL de l'extracte aquós. S'hi afegeixen lentament mentre s'agita 15 mL de H₂SO₄ al 96% procurant que la barreja quedi tan homogènia com sigui possible. Es preparen els patrons de glucosa i un blanc (5 mL K₂Cr₂O₇ + 15 mL H₂SO₄ al 96%).

Prèviament, cal engegar l'estufa per tenir-la a 150 °C i introduir-hi durant 15 minuts aquests tubs. Passat aquest quart d'hora es treuen i es deixen reposar 24 hores. Un cop a temperatura ambient, es llegeixen les absorbàncies a 590 nm en el colorímetre utilitzant el blanc per calibrar l'aparell i posar-lo a zero.

16.4. Càlculs

$$\% C_{ox} = \frac{A \text{ extracte}}{C \text{ ml extracte}} \cdot \frac{5 \text{ mg glucosa}}{D} \cdot \frac{40 \text{ mg C}}{100 \text{ mg glucosa}} \cdot \frac{B \text{ ml extractant}}{E \text{ gr mostra}} \cdot 100$$

On:

A = lectura de l'absorbància de la mostra;

B = mL d'aigua destil·lada afegits per fer l'extracció;

C = mL d'extracte afegits al tub Nessler;

D = absorbància que correspon a 5 mg de glucosa i que es calcula de la manera següent:

$$D = \frac{\text{suma d'absorbàncies dels patrons} \cdot 5}{\text{suma mg dels patrons}}$$

(aquest valor oscil·la entre 0,080 i 0,090);

E = g de mostra sobre els quals es fa l'extracció.

$$\% C_{ox} = \frac{A}{C} \cdot \frac{B}{D} \cdot \frac{0,2}{E}$$

Factor de transformació de C en MOT. En el cas de la matèria orgànica dels sòls, s'utilitza el factor 1,724; en el cas de compost i adobs orgànics s'aconsella utilitzar el factor 2 (Zucconi i De Bertoldi, 1987).

16.5. Comentaris

Aquesta determinació, tot i donar molta informació per al seguiment del procés de compostatge no s'utilitza en controls de rutina. La determinació de carboni soluble per oxidació amb dicromat no és aconsellable a causa dels residus contaminants que genera (Claver *et al.*, 2003). Actualment, s'utilitza més la determinació del TOC (carboni orgànic total).

Certs autors, com Chanyasak *et al.* (1982) i Hirai *et al.* (1983), consideren que el compostatge és una transformació bioquímica de la matèria orgànica dels residus que resulta de l'acció de microorganismes que es desenvolupen en la fase orgànica soluble en aigua. Per tant, una manera raonable de seguir l'evolució del compostatge podria ser l'estudi dels canvis produïts en els components solubles d'un extracte aquós del compost. Estudiant els diferents components de l'extracte (àcids grassos de baix pes molecular, aminoàcids, pèptids i sucres) s'observa que disminueixen en avançar el procés (figures 16.1 i 16.2), però que, de la mateixa manera que la relació C/N (vegeu l'apartat 26) del material sòlid, no són indicadors absoluts; en canvi, troben que la relació C/N de l'extracte aquós està sempre entre 5 i 6 en els composts ben madurs (taules 16.1 i 16.2).

Taula 16.1. Evolució de les relacions C/N de la mostra sòlida i de l'extracte aquós durant un procés de compostatge (Chanyasak *et al.*, 1982)

	C/N mostra sòlida	C/N extracte aquós
U1	21,6	29,5
U2	14,4	7,7
U3	15,7	6,4
U4	16,1	5,9

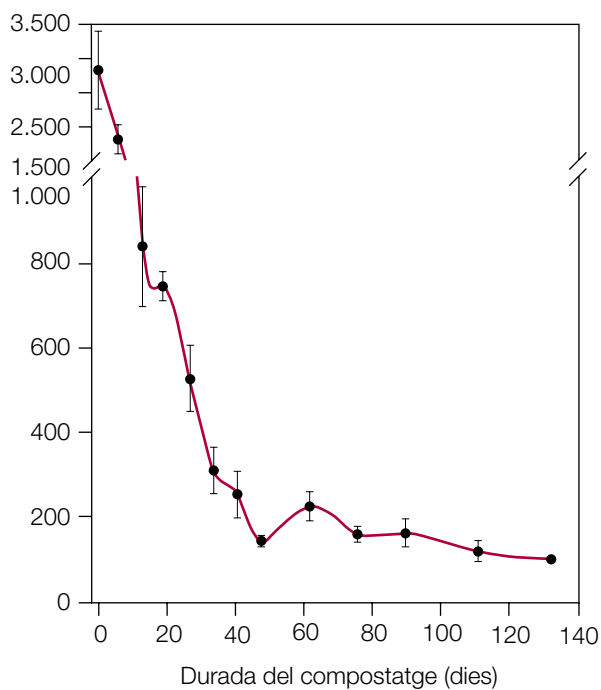
.../...

	C/N mostra sòlida	C/N extracte aquós
K1	16,0	13,9
K2	15,7	9,3
K3	16,0	7,4
K4	15,8	5,7

U i K són dues instal·lacions diferents.

Figura 16.1. Variació de la concentració del contingut en carboni soluble en extractes aquosos de mostres agafades al llarg del compostatge de residus municipals (Chefetz *et al.*, 1998)

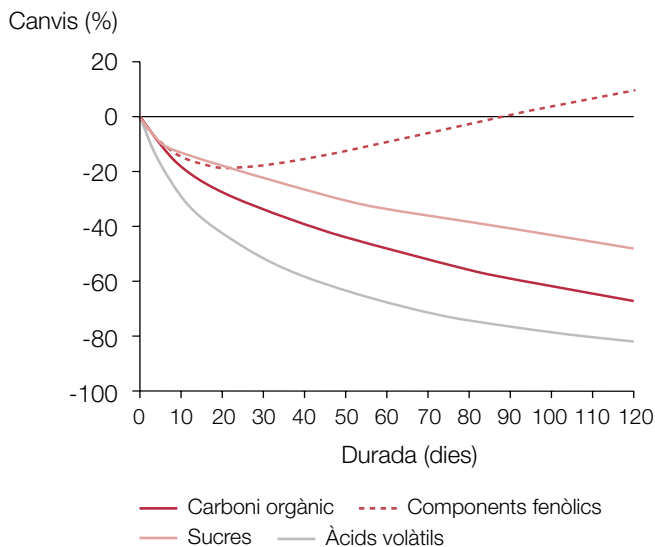
Carboni orgànic soluble (mg L⁻¹)

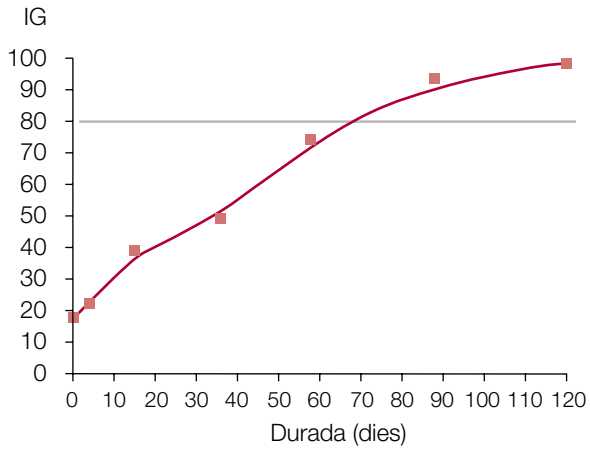


Taula 16.2. Valors de la relació C/N, determinada sobre extractes aquosos i sobre mostra sòlida, en materials d'inici del compostatge i en els productes finals corresponents (Barberis *et al.*, 1990)

	Material inicial		Compost	
	C/N extracte	C/N sòlid	C/N extracte	C/N sòlid
Fang depuradora	5,56	8,74	6,01	11,20
Fang + palla arròs	6,05	14,90	5,50	14,20
RSU + escorça	29,50	21,60	6,36	16,10
FORM	13,90	16,00	5,72	15,80
RSU	26,20	20,70	6,85	14,90
Fems	12,00	22,00	5,16	11,30
Gallinassa	8,64	5,26	5,68	8,21
Fulles	2,95	33,40	5,00	12,10

Figura 16.2. Canvis en el contingut de components orgànics solubles al llarg del procés de compostatge de residus municipals i influència en l'índex de germinació (Saviozzi *et al.*, 1992)





Taula 16.3. Comparació dels continguts en matèria orgànica total i nitrogen orgànic amb els continguts en carboni i nitrogen solubles de diferents tipus de compost (Romera, 1988)

Mostres	MOT	N orgànic	C/N	C soluble	N soluble	C_{sol}/N_{sol}
Compost RSU M	40,54	1,07	18,94	2,19	0,67	3,27
Compost RSU V	74,77	1,37	27,29	2,76	0,56	4,93
Compost RSU A	34,84	1,85	9,42	0,42	0,08	5,25
Compost restes poda A	19,57	0,58	16,87	0,17	0,02	8,50

En la **taula 16.4** es pot observar la disminució del carboni soluble en el transcurs dels dies i com són molt més importants els canvis en la fracció de carboni soluble hidrofílica que en la hidrofòbica.

Taula 16.4. Canvis en els continguts en carboni total i soluble i les seves fraccions al llarg del compostatge (Said-Pullicino *et al.*, 2007)

Dies de compostatge	COT (g kg ⁻¹)	COS (mg mL ⁻¹)	COS-hf (mg mL ⁻¹)	COS-hl (mg mL ⁻¹)	COS-hf/ COS-hl
0	318	6,04	1,01	5,03	0,20
6	318	3,77	0,68	3,09	0,22
13	312	3,40	0,63	2,77	0,23
19	336	3,44	0,69	2,75	0,25
25	314	3,50	0,80	2,70	0,29
28	341	2,60	0,93	1,67	0,56
45	323	2,49	0,84	1,65	0,51
70	308	2,95	0,84	2,11	0,40
90	307	2,33	0,93	1,40	0,67
250	268	1,50	0,88	0,63	1,40

COT: carboni orgànic total; COS: carboni orgànic soluble; COS-hf: COS hidrofòbic; COS-hl: COS hidrofílic.

16.6. Determinació d'àcids grassos volàtils (AGV)

El contingut en àcids grassos volàtils en mostres de compost està relacionat amb la descomposició dels biopolímers hidrocarbonats; es generen en les fases més inicials de la descomposició, cosa que provoca una disminució inicial del pH (**vegeu l'apartat 8**), però si el procés funciona correctament, en medi aeròbic el seu contingut es redueix ràpidament; per tant, quan aquests àcids es troben en fases avançades del procés, indiquen que aquest no s'està desenvolupant correctament. En la **figura 16.2** es pot veure la variació dels continguts en carboni soluble i AGV al llarg d'un procés de compostatge i la influència en l'índex de germinació.

Al laboratori de l'ESAB es va posar puntualment a punt el mètode de determinació d'AGV per comparar el material de dues plantes de compostatge de RSU (Salvador, 1995); per aquesta raó, només es comenta com un subapartat del carboni soluble.

La metodologia d'extracció utilitzada va ser una modificació de les emprades per Estaún *et al.* (1985) i Manios *et al.* (1989):

- Extracció dels AGV de la mostra sòlida humida, amb una solució aquosa de HCl 1N
- Extracció líquid/líquid amb èter dietílic
- Concentració de l'extracte eteri
- Quantificació per cromatografia de gasos

La **taula 16.5** mostra la repetibilitat de la metodologia aplicada a una mostra de compost de RSU i la **taula 16.6** els resultats d'aplicar el mètode a mostres de dues piles de compostatge: una de RSU i una altra de RSU complementats amb restes vegetals per millorar la relació C/N i donar esponjositat a la barreja; s'observa una reducció del contingut en AGV en afegir restes vegetals, fet que es va comprovar *in situ*, ja que van disminuir els problemes d'olor (Salvador, 1995; Pérez *et al.*, 1995).

Taula 16.5. Concentració en mmol kg⁻¹ de mostra seca (Salvador, 1995)

Repeticions	Acètic	Propiònic	Isobutíric	Butíric	Valèric	Isovalèric
R1	617	121	16	637	31	17
R2	511	104	14	524	27	15
R3	697	135	17	658	33	17
R4	681	141	19	804	39	22

Taula 16.6. Contingut en AGV (mmol kg⁻¹) de materials en procés de compostatge

	Acètic	Propiònic	Isobutíric	Butíric	Valèric	Isovalèric
V	209	67	19	333	3	38
V + RP	82	10	6	19	1	13

V: compostatge de RSU; V + RP: compostatge de RSU + restes vegetals.

La **taula 16.7** posa en evidència la reducció dels AGV en el decurs d'un procés de compostatge i la influència en l'índex de germinació (**vegeu l'apartat 10**).

Taula 16.7. Concentració en AGV en mostres de compost de diferents edats, el pH, la CE i % l'IG de les quals també es dona, a més del contingut en humitat (Stofella *et al.*)

	Setmanes			
	3 dies	4	8	Final
pH	7,2	6,8	6,3	7,7
CE, dS m ⁻¹	6,6	8,8	9,4	6,7
% H	47,0	35,6	37,5	47,6
mg kg ⁻¹				
Acètic	2.474	1.790	1.776	13
Propiònic	311	102	262	< 10
Isobutíric	24	< 10	22	< 10
Butíric	171	113	265	< 10
Isovalèric	62	< 20	< 20	< 20
Valèric	33	< 40	< 40	< 40
% IG	0	0	0	100

Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

CHEFETZ *et al.*, 1998; GARCIA *et al.*, 1991; ZMORA-NAHUMA *et al.*, 2005; McENTEE, 2005; IGLESIAS JIMÉNEZ i PÉREZ GARCÍA, 1992; LECHNER i ERWIN, 1995; KIRCHMANN i LUNDVALL, 1993; DU TOIT, 1987; SOLIVA *et al.*, 1992; MANZANO, 1993.

17. Contingut de llavors de males herbes

17.1. Introducció

Aquest mètode determina el contingut en llavors de males herbes i parts germinables de plantes que es troben en un volum conegut de compost. Si el procés d'obtenció del compost ha estat correcte ha d'estar pràcticament lliure de llavors de males herbes; la presència d'aquestes llavors indica un procés incorrecte, o bé que s'ha contaminat durant l'emmagatzematge o en fer alguna barreja.

En els resultats d'aquesta prova podria tenir molta influència el contingut en sals i/o components orgànics solubles que poden inhibir la germinació; per aquest motiu es considera adequat rentar o diluir la mostra per reduir la seva CE.

17.2. Metodologia

S'introdueixen 4 L de compost en un recipient i s'hi afegeixen 16 L d'aigua desionitzada, es barreja bé i es mesura la CE. Es filtra i es repeteix l'operació anterior fins que la CE de l'aigua de rentat sigui inferior a $0,30 \text{ dS m}^{-1}$ i es deixa assecar a temperatura ambient.

En el fons d'una safata de germinació de $25 \times 50 \text{ cm}$ es col·loca una capa de sorra de 2,5 cm i a sobre 2 cm de compost rentat. Es preparen tres repeticions i, després d'identificar-les bé, les safates es cobreixen amb una tapa transparent per minimitzar les pèrdues d'humitat i es mantenen a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ durant 2-3 setmanes.

És aconsellable introduir un control positiu afegint llavors de rave en una ubicació controlada de les safates, per assegurar que no aparegui algun problema d'inhibició de la germinació.

Diàriament se segueix i s'anota el desenvolupament de la germinació.

Taula 17.1. Interpretació dels resultats

Llavors germinades per a 4 L	Classificació	Ús aconsellat
< 1	Lliure de llavors	Per a totes les aplicacions
< 3	Baixa contaminació	No s'ha d'utilitzar en substrats per a testos/contenidors
3-7	Contaminació moderada	En ple camp
> 7	Contaminació significativa	En ple camp

17.3. Comentaris

En algunes metodologies, per reduir i igualar els valors de la CE de les diferents mostres es fan dilucions amb torba.

La possibilitat que la contaminació per llavors de males herbes s'hagi produït durant l'emmagatzematge a l'exterior es pot determinar comparant resultats de mostres agafades de la part exterior i de l'interior de la pila.

En situacions problemàtiques es pot arribar a determinar l'origen de la contaminació per estudi de la composició botànica de les llavors presents.

La sensibilitat/resistència de les llavors a altes temperatures va en funció de l'espècie i pot dependre de: la dormància, l'estructura de la coberta, la composició de l'endosperma (olis, midó, proteïnes, etc.) i la facilitat de dispersió de llavors. Les llavors embegudes són menys resistents.

Els paràmetres del procés de compostatge que afecten la viabilitat de les llavors són:

- Temperatures superiors a 60 °C (Eghball i Lesoing, 2000; Tompkins *et al.*, 1997; Wiese *et al.*, 1998), però amb molta variabilitat de resultats segons l'espècie.
- Temperatura màxima, que té més importància que el temps d'exposició (Thompson *et al.*, 1997).

- Temps d'exposició i nombre de voltejos.
- Humitat.
- Imbibició de llavors.
- Substàncies fitotòxiques; àcids grassos de cadena curta (Kirchmann *et al.*, 1994; Ozores-Hampton *et al.*, 2002).

Taula 17.2. Efecte del compostatge (2 i 4 setmanes) sobre la viabilitat de llavors de males herbes (Tompkins *et al.*, 1997)

Espècies	Control	% viabilitat 2 setmanes	4 setmanes
<i>Amaranthus retroflexus</i>	100	3,5 a	0
<i>Chenopodium album</i>	95	2,0 ab	0
<i>Galeopsis tetrahit</i>	80	1,5 ab	0
<i>Malva rotundifolia</i>	30	1,0 b	0
<i>Avena fatua</i>	80	1,0 b	0
<i>Polygonum persicaria</i>	85	0,5 b	0
<i>Galium aparine</i>	80	0 b	0
<i>Setaria viridis</i>	40	0 b	0
<i>Kochia scoparia</i>	35	0 b	0
<i>Matricaria perforata</i>	25	0 b	0
<i>Thlapsi arvense</i>	95	0 b	0
<i>Polygonum convolvulus</i>	60	0 b	0

Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

CARLSBAEK i BROEGGER, 1999; WILEN, 1997.

18. Granulometria

18.1. Introducció

La granulometria mesura la distribució de les partícules del compost (o altre tipus de material) dins d'uns rangs establerts segons la finalitat de la mesura o els possibles usos del material estudiat. Per segons quines aplicacions és suficient conèixer el sedàs pel qual passa el material, però, en altres casos, com, per exemple, la preparació de substrats, cal conèixer la distribució completa de les partícules, ja que afecta la porositat (relacionada amb l'equilibri en el contingut d'aigua i aire). La distribució s'expressa com el percentatge de material retingut per cadascun dels tamisos.

La determinació de la granulometria s'utilitza sobretot per a la classificació del compost final, tal com s'indica en aquest mètode, però també pot tenir interès en l'estudi d'altres materials que poden participar en el procés (restes vegetals) o que es poden originar com a rebuig en alguna de les operacions (rebuig vegetal, rebuig de taula densimètrica...).

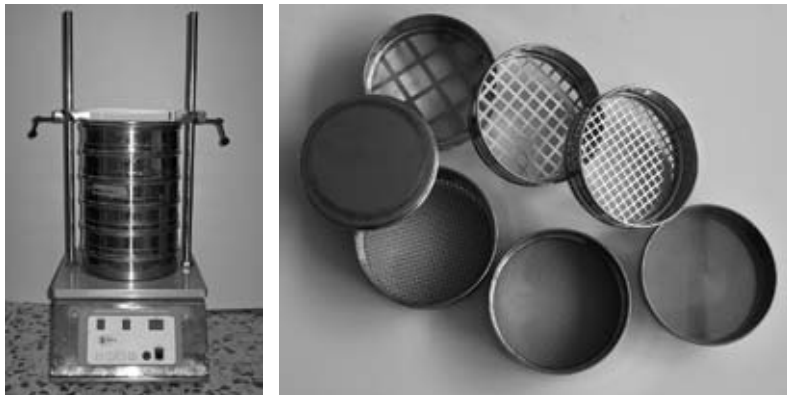
La normativa espanyola (RD 824/2005) només exigeix en relació amb la granulometria:

- pedres i graves: $\emptyset > 5\text{mm}$, menys del 5%;
- impureses: $\emptyset > 2\text{mm}$, menys del 3%;
- partícules: $\emptyset < 25\text{ mm}$, 90%.

18.2. Material

- Una columna de sedassos
- Sedassos de les llums de malla de 60 mm, 40 mm, 25 mm, 12,5 mm, 6,3 mm, 5 mm i 2 mm

Figura 18.1. Torre de garbellament i tamisos per a determinació de mida de partícula



18.3. Procediment

- Es pesen 200 g de mostra humida amb una precisió de 0,01 g i es fiquen dalt de tot de la columna de sedassos, que s'haurà preparat seguint aquest ordre de dalt a baix: 60 mm, 40 mm, 25 mm, 12,5 mm, 6,3 mm, 5 mm i 2 mm.
- La columna es fa vibrar de forma intermitent durant 5 minuts, amb una amplitud de 8 i un interval màxim. És important garbellar totes les mostres en les mateixes condicions.
- Un cop han passat els 5 minuts, es recull i es pesa amb una precisió de 0,01 g el contingut de cada sedàs
- La determinació es fa per triplicat per a cadascuna de les mostres.
- En cadascuna de les fraccions es pot determinar el contingut en impureses i quantificar-les.

18.4. Càlculs

Granulometria

Per calcular el percentatge de mostra d'una grandària determinada se segueix la fórmula següent:

$$F_x = \frac{(\text{pes de mostra més sedàs X} - \text{tara sedàs X})}{200 \text{ g de mostra}} \cdot 100$$

On

F_x = percentatge de mostra que ha quedat en el sedàs X.

Elements no desitjables

Percentatge de vidre:

$$\% \text{ vidre} > 5 \text{ mm} = \frac{\text{g vidre} > 5 \text{ mm}}{\text{g mostra} > 5 \text{ mm}} \cdot 100 \quad \% \text{ vidre} < 5 \text{ mm} = \frac{\text{g vidre} < 5 \text{ mm}}{\text{g mostra} < 5 \text{ mm}} \cdot 100$$

Percentatge de plàstic:

$$\% \text{ plàstic} > 5 \text{ mm} = \frac{\text{g plàstic} > 5 \text{ mm}}{\text{g mostra} > 5 \text{ mm}} \cdot 100 \quad \% \text{ plàstic} < 5 \text{ mm} = \frac{\text{g plàstic} < 5 \text{ mm}}{\text{g mostra} < 5 \text{ mm}} \cdot 100$$

Percentatge de metall:

$$\% \text{ metall} > 5 \text{ mm} = \frac{\text{g metall} > 5 \text{ mm}}{\text{g mostra} > 5 \text{ mm}} \cdot 100 \quad \% \text{ metall} < 5 \text{ mm} = \frac{\text{g metall} < 5 \text{ mm}}{\text{g mostra} < 5 \text{ mm}} \cdot 100$$

18.5. Dades de referència

En les **taula 18.1** i **18.2** es mostren els resultats de la granulometria determinada en mostres de compost tal com es presentaven en els informes dels convenis ESAB-SMADB; s'observa la marcada diferència entre els dos grups de mostres respecte a la distribució de la grandària de les partícules; té a veure amb el dife-

Taula 18.1. Granulometria de mostres procedents de la planta de compostatge de RSU de Vilafranca del Penedès, amb indicació de la presència de plàstics (P) i vidres (V) (informe de conveni ESAB-SMADB, 1997)

Data Ø tamís	16-7-97			1-9-97			6-10-97			17-11-97		
	%	P	V	%	P	V	%	P	V	%	P	V
> 40 mm	0			0			0			0		
40-12,5 mm	1,65	+++		3,45	+++	+	2,82	+		1,39	+++	
12,5-6,3 mm	8,75	++	++	7,84	++	+++	7,62	+	+	7,76	++	+
6,3-5 mm	5,57	+	+	3,08	+	+	4,90	+	++	5,07	++	+
5-2 mm	64,57	+	+	57,24	+	+	62,51	+	+	57,7	+	+
<2 mm	19,46	+	++	28,39	++	+	22,15	+	+	27,9	++	+

rent tipus de selecció i refí que es feia a les dues plantes. Comparant-ho amb les dades de la **figura 18.2** s'observa que en l'actualitat en les plantes de compostatge de FORM la distribució de la grandària de les partícules encara està més esbiaixada vers la fracció més fina.

Taula 18.2. Granulometria de mostres procedents de la planta de compostatge de RSU de Mataró, amb indicació de la presència de plàstics (P) i vidres (V) (informe de conveni ESAB-SMADB, 1997)

Data Ø tamís	16-07-97			01-09-97			06-10-97			17-11-97		
	%	P	V	%	P	V	%	P	V	%	P	V
>40 mm	0			0			0			0		
40-12,5 mm	22,33	++	+	5,18	+		9,05	+	+	2,89	++	+++
12,5-6,3 mm	10,27	+	+++	10,30	+	+	11,15	+	+	7,09	++	+
6,3-5 mm	3,25	++	+	5,23	+	+	2,06	+	+	3,79	++	++
5-2 mm	30,69	+	+	37,44	+	+	34,37	+	+	35,00	++	+
<2 mm	33,46	++	+	41,85	+	+	43,37	+	+	51,23	+	+

Figura 18.2. Granulometria mitjana i percentils 2,5% i 97,5% de 18 mostres de compost de FORM + RV (MIMAM-ESAB-ARC, 2007)

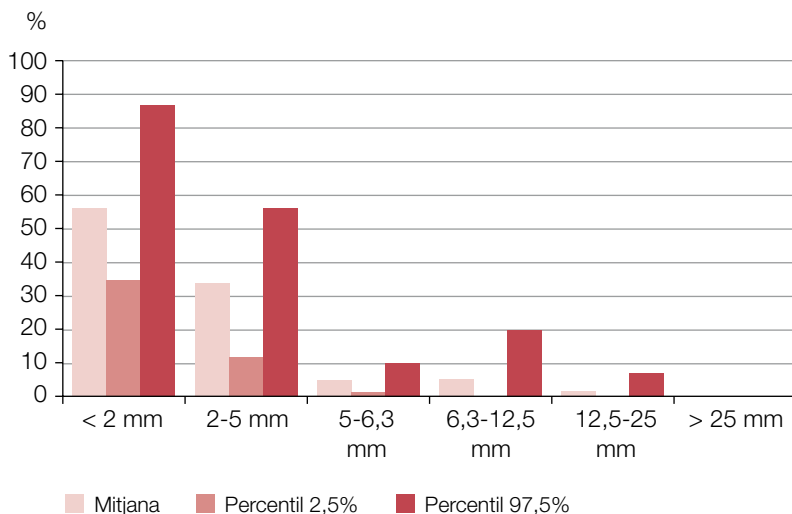
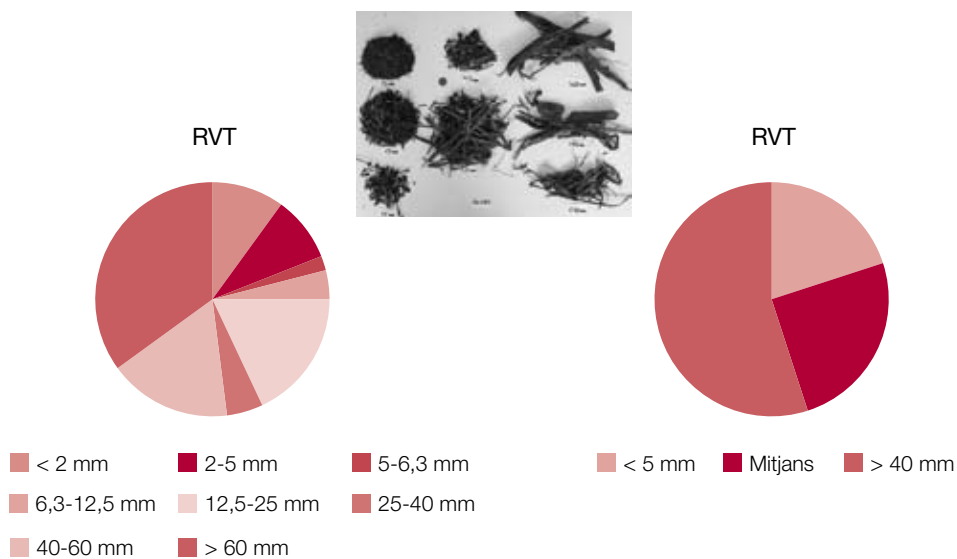


Figura 18.3. Granulometria completa (esquerra) i agrupada (dreta) de restes vegetals triturades (RVT) i de recirculat vegetal (RCV) (MIMAM-ESAB-ARC, 2007)



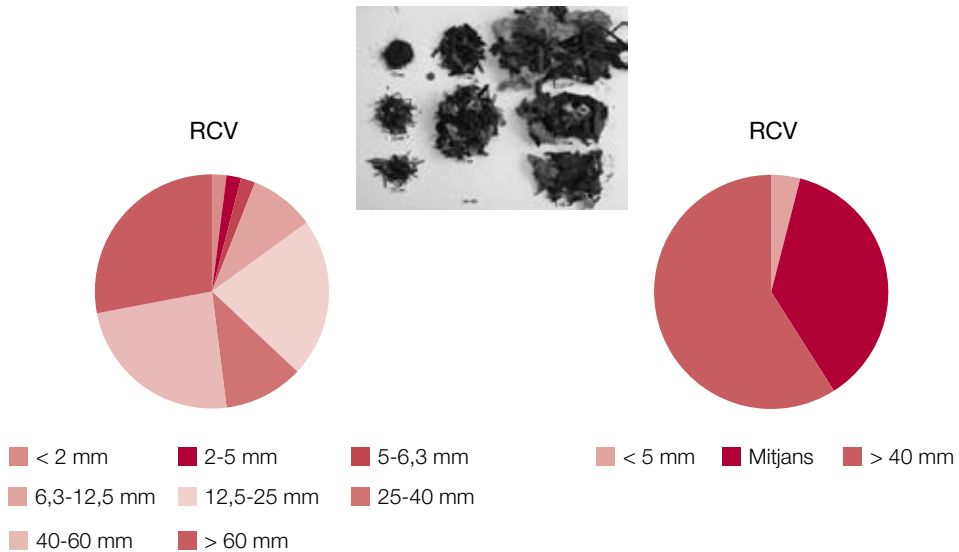
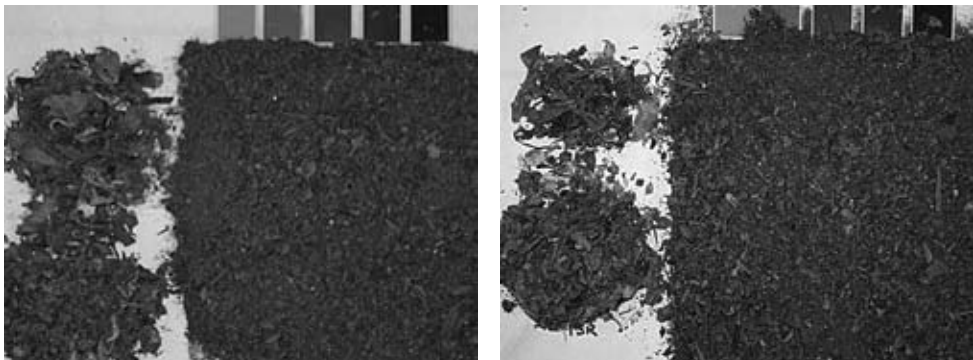
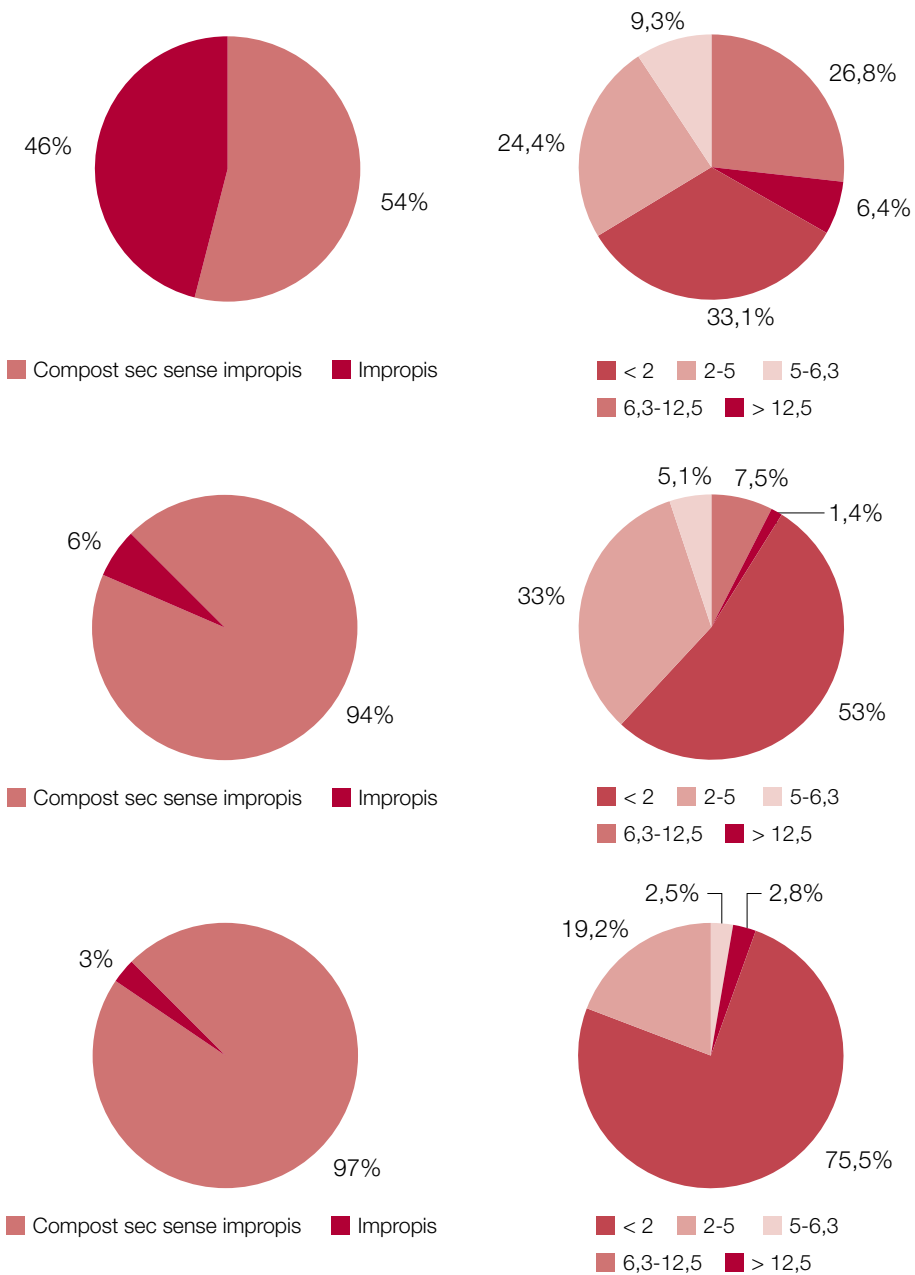


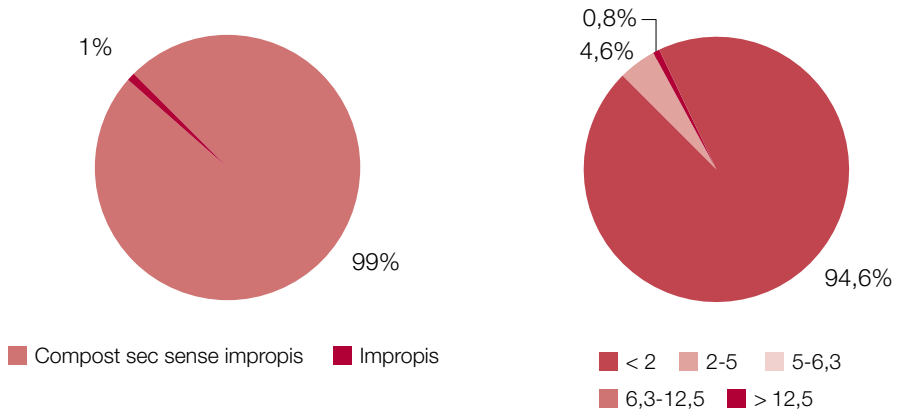
Figura 18.4 Impureses en mostres de compost



En plantes de compostatge de residus municipals moltes vegades s'utilitzen garbells de refí amb malla molt petita per aconseguir eliminar impureses que hagin arribat al producte final. En la **figura 18.5** es compara la granulometria de diferents mostres de compost amb el seu contingut en impureses i s'observa com la mostra que té menys impureses és la que presenta una granulometria més fina.

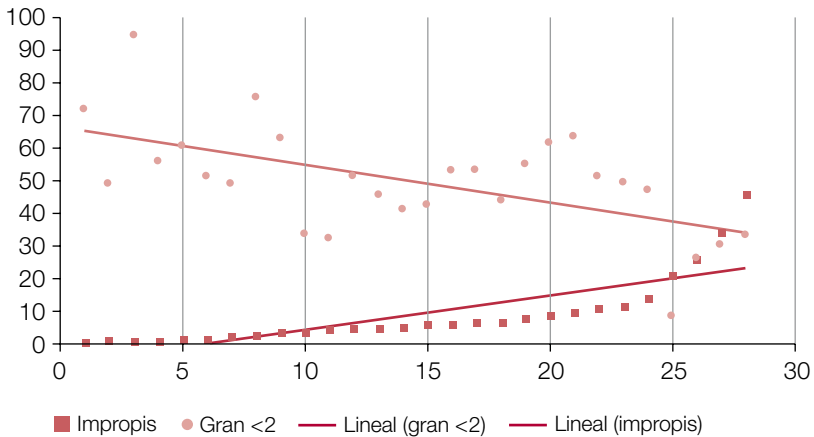
Figura 18.5. Relació entre contingut en impureses i granulometria (Huerta et al., 2006b)





La **figura 18.6** presenta el contingut en impropis de mostres de compost de RSU enfront de la proporció en pes de la fracció granulomètrica inferior a 2 mm, que en certa manera confirma la informació de la **figura 18.5**.

Figura 18.6. Gràfic del contingut en pes de les impureses i la proporció de fins (mida de partícula inferior a 2 mm) (Huerta et al., 2006b)



19. Aproximació a la determinació del rendiment

19.1. Introducció

En qualsevol instal·lació industrial cal conèixer el rendiment del procés i, normalment, es pretén obtenir la màxima producció amb la mínima entrada de materials i el mínim consum energètic, i alhora reduir els problemes ambientals. En el cas de les plantes de compostatge, la valoració del rendiment és atípica, per diverses raons:

- Com més bé es controli el procés, la reducció deguda a la transformació biològica serà més gran com més elevat sigui el contingut en matèria orgànica inicial.
- Depenent dels materials tractats i la seva biodegradabilitat, la reducció no segueix sempre les mateixes pautes.
- Si es tracta material amb elevat contingut en impropis (RSU, per exemple) es poden produir elevades pèrdues de matèria orgànica durant la selecció segons com i quan es faci.
- El rendiment final dependrà també molt del tipus de refí que s'apliqui.
- El tipus de material tractat en aquestes instal·lacions i el fet que en l'actualitat, econòmicament, es valori més la quantitat de material tractat que el compost i la seva qualitat fan que els gestors es preocupin poc pels rendiments.

El mètode aquí proposat tan sols pretén conèixer el rendiment aproximat quan el material de final de maduració es garbella per obtenir el compost amb una determinada granulometria.

L'operació de refí utilitzada en les instal·lacions de compostatge consisteix bàsicament en l'aplicació d'equips de separació física (*trommels*, barres i malles) amb l'objectiu de normalitzar la mida de partícula del compost obtingut. El mètode aquí proposat com a rendiment s'aplica al material ja madurat just abans de passar

pel refí, amb intenció d'estimar la quantitat de compost que s'obtidria en aplicar aquesta operació. Amb aquest objectiu es tamisa aquest material fent servir les llums de pas que normalment acostumen a utilitzar les instal·lacions de compostatge, sense considerar, però, l'ús de la taula densimètrica.

En el cas de les plantes de compostatge de FORM, el material que s'ha de refinar pot contenir impureses (plàstics, vidres, etc.). En aquests casos, no només es tracta de normalitzar la mida de partícula, sinó també de retirar bona part d'aquestes impureses. Així doncs, segons la qualitat de la FORM tractada, les instal·lacions opten només per un mecanisme de separació física quan els nivells d'impropis en la FORM són inferiors al 5%, o bé, si la qualitat de la FORM es més dolenta, afegeixen, a més a més, separadors balístics (bàsicament taula densimètrica), magnètics i/o de Foucault. Així mateix, cal tenir en compte que amb el refí també s'obté el vegetal compostat groller, que caldrà netejar de plàstics i d'altres impureses si es té la intenció de tornar-lo a fer servir (recirculat vegetal).

Figura 19.1. Operació de refí en una planta de compostatge de FORM



19.2. Procediment

Es pesa 1 kg de mostra de final de maduració amb precisió 0,01 g fent servir un granetari. Seguidament, es tamisa en un equip de vibració durant 5 minuts utilitzant sedassos de 25 mm, 15 mm i 10 mm. Com a resultat s'obtenen quatre fraccions: fracció superior a 25 mm, fracció superior a 15 mm, fracció superior a 10 mm i fracció inferior a 10 mm. Aquestes fraccions es pesen per calcular els percentatges de les fraccions obtingudes i determinar les minves respecte del material inicial (cal fer tres repeticions, com a mínim).

P: pes de mostra;

P_{25} : pes retingut en el tamís de 25 mm;

P_{15} : pes retingut en el tamís de 15 mm;

P_{10} : pes retingut en el tamís de 10 mm;

P_i : pes de la fracció inferior a 10 mm;

P_p : pes de les pèrdues;

P_t : pes sumat de les fraccions P_i a P_{25} .

$$\text{Rendiment (\%)} \text{ a } 25 \text{ mm: } \frac{P_{15} + P_{10} + P_i}{P_t}$$

$$\text{Rendiment (\%)} \text{ a } 15 \text{ mm: } \frac{P_{10} + P_i}{P_t} \cdot 100$$

$$\text{Rendiment (\%)} \text{ a } 10 \text{ mm: } \frac{P_i}{P_t} \cdot 100$$

Figura 19.2. Fraccions obtingudes amb el mètode del rendiment

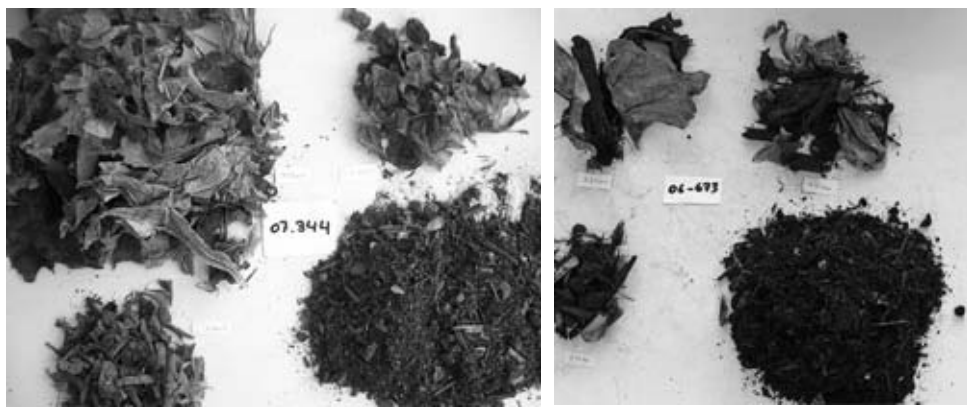
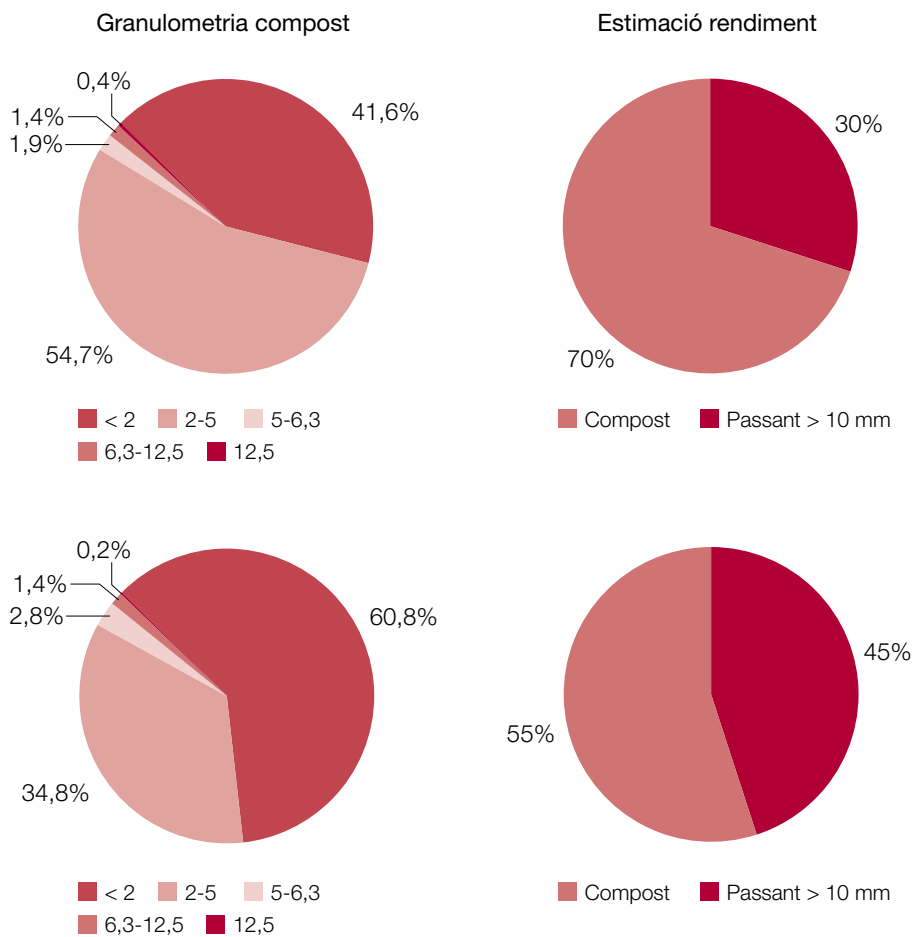
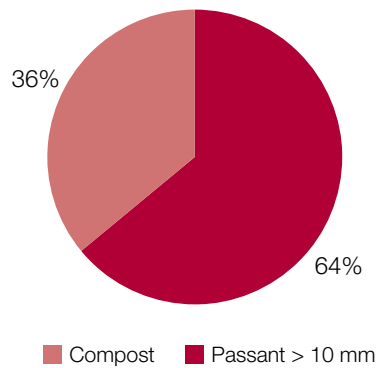
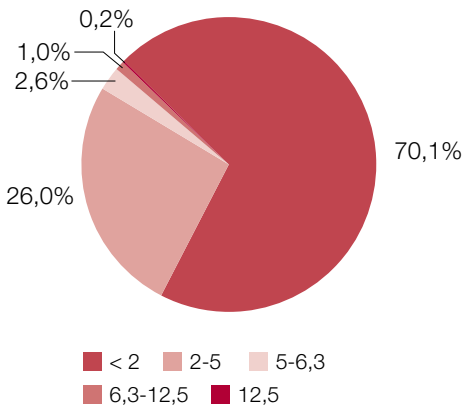
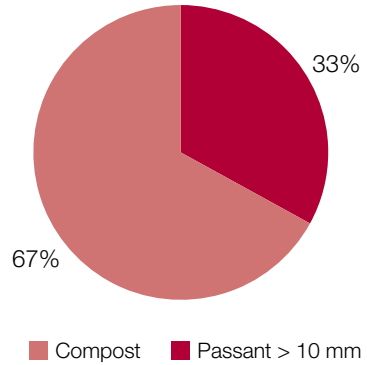
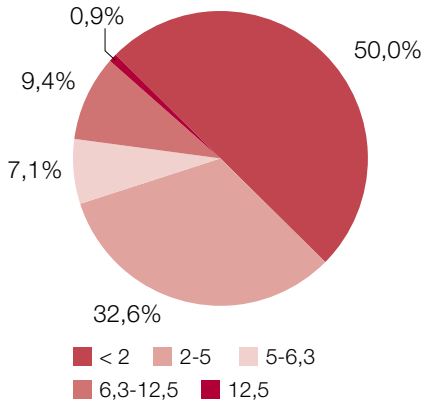
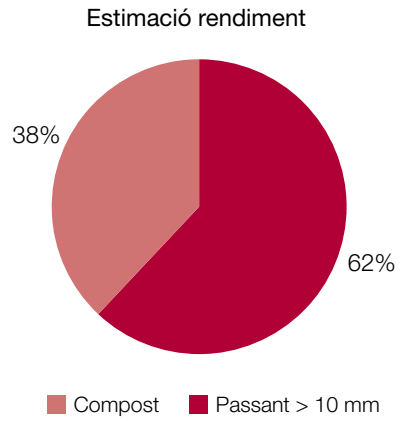
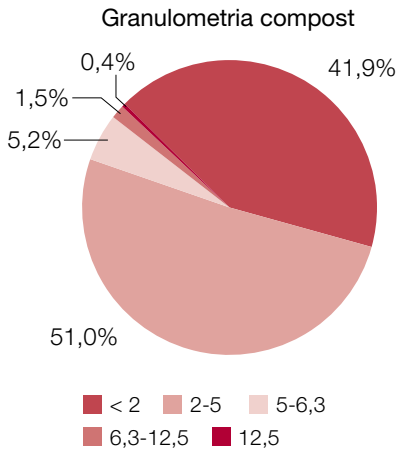


Figura 19.3. Rendiments estimats en diferents plantes i granulometria del compost (Huerta et al., 2010c)



.../...



19.3. Comentaris

És convenient comprovar la diferència entre la suma de fraccions (P_t) i la mostra considerada (P) amb la intenció de comprovar possibles errors metodològics. Aquesta determinació està molt condicionada per la humitat de la mostra agafada i cal tenir-ho molt en compte perquè materials molt secs o molt humits poden originar minves importants ($P - P_t$), per deriva o polsim quan és molt sec, o per adhesió o formació d'agregats quan és humit. Davant d'aquesta situació és molt interessant quantificar aquestes minves i expressar-les com a rendiment de mostra total i donar la resta de rendiments (10, 15 i 25 mm) respecte al total de mostra pesada (P).

$$\text{Minves: } \frac{P - P_t}{P} \cdot 100$$

20. Assecat de la mostra. Contingut d'humitat i de matèria seca

20.1. Introducció

La determinació de la humitat és un paràmetre senzill i alhora imprescindible, ja que, a part de la informació que pot aportar respecte el procés i l'estat del material analitzat, és necessària per poder fer altres determinacions i per a l'expressió dels resultats sobre matèria seca, que facilita la comparació entre mostres.

La humitat és un dels cinc paràmetres que cal manejar bé durant el procés de compostatge (juntament amb C/N, porositat, temps i temperatura). Una humitat excessiva pot provocar que el material estigui en condicions anaeròbies en quedar tota la porositat plena d'aigua. I si està massa sec, la vida dels microorganismes no pot progressar. La humitat adequada durant el procés ha de ser del 50-60% i en el producte final, del 35-40%, aspecte que, a més a més, recull el Reial Decret 824/2005.

La determinació de la humitat per assecat i gravimetria és la millor manera, però es tarda, com a mínim, 24 hores abans de conèixer el resultat, per la qual cosa és aconsellable que quan es té experiència en compostatge de determinats materials s'agafin punts de referència quant a l'aspecte i al tacte.

De vegades, per al seguiment del procés de compostatge, s'utilitza el test del puny, que és un mètode no quantitatiu, però que dóna idea de la humitat de la mostra; Consisteix a agafar un grapat de mostra i espremer-la:

- si surt aigua, està excessivament humida (segurament > 60%);
- si no surt aigua, però en obrir la mà manté la forma que ha pres, es pot considerar una humitat del 50%;
- i si en obrir la mà s'esmicola, és que la humitat està per sota del 40%.

El mètode estàndard de l'EPA asseca la mostra en estufa ventilada a 103-105 °C fins a pes constant i, en canvi, en el mètode adoptat per l'US Composting Council s'asseca en estufa a 65-75 °C fins a pes constant.

A causa de l'heterogeneïtat de les barreges que s'han de compostar i de les seves característiques, és difícil utilitzar els sensors que es basen en mesures de conductivitat elèctrica o constant dielèctrica.

D'altra banda, cal tenir en compte que moltes de les determinacions que es fan sobre materials orgànics cal fer-les sobre la mostra seca i mòlta per assegurar-ne la repetibilitat; per tant, bona part del material assecat és triturat i conservat en condicions adequades per a l'anàlisi posterior, sense oblidar que l'assecat de la mostra pot produir canvis importants en algun dels components; per tant, és important assegurar quines determinacions es poden fer sobre la mostra seca o si cal assecar a temperatura més baixa (**figura 1**). Per exemple, la determinació del contingut en nitrogen amoniacal caldrà fer-la sempre sobre la mostra humida, i per determinar el contingut en Hg o de contaminants orgànics, com les dioxines, caldrà assecar-la a l'aire o a temperatures inferiors a 40 °C.

20.2. Procediment

La metodologia seguida per a mostres sòlides i pastoses/líquides difereix substancialment. Per a les mostres líquides és convenient determinar prèviament la densitat per poder expressar els resultats finals sobre mostra líquida.

Per a mostres sòlides, cal:

1. Tarar una safata (P_t).
2. Pesar una quantitat de mostra humida (P). El pes de la mostra variarà segons la seva humitat i homogeneïtat; si és una mostra homogènia (de compost madur o producte final) amb 200 g de mostra n'hi haurà prou, mentre que si és una mostra més humida i heterogènia (de mig procés o de material d'entrada), caldrà pesar-ne més quantitat a fi i efecte d'obtenir uns resultats més representatius (de prop de 500 g).
3. Les mostres es fiquen a l'estufa i s'assequen a 110 °C fins a pes constant. Les mostres de material fresc molt humides i molt fermentables s'escalfen a 110 °C durant 2 hores, per aturar l'activitat biològica, i després es baixa la temperatura a

80 °C i es manté fins a pes constant. Quan es treu la mostra de l'estufa es deixa refredar i es pesa (P_s), es torna a ficar a l'estufa unes 2 hores més i es torna a pesar per comprovar que no hi ha hagut més pèrdua de pes.

4. Un cop seca, si no es pot processar immediatament per a la seva mòlta i altres determinacions, cal guardar-la ben tancada i identificada.

Per a mostres líquides, cal:

1. Tarar una càpsula de ceràmica de 100-200 mL de capacitat.

2. Pesar un volum conegut (amb pipeta) si les mostres són molt líquides; si són espesses, pesar una quantitat que ocupi unes tres quartes parts del volum de la càpsula. Cal assegurar l'homogeneïtat de les mostres agitant-les fort.

3. Abans de ficar-les a l'estufa, cal evaporar la major part del contingut en aigua dins una campana extractora amb ajut d'una placa calefactora.

4. Introduir-les a l'estufa a 110 °C fins a pes constant.

5. Deixar refredar en un dessecador i pesar.

En el cas de mostres líquides, si es volen fer determinacions posteriors sobre el residu sec, aquest s'ha de retirar de la càpsula i guardar en un pot hermètic, ja que té una gran tendència a agafar humitat.

20.3. Càlculs

El contingut d'humitat en percentatge s'obté de la manera següent:

$$H(\%) = \frac{P - P_t}{P} \cdot 100$$

El contingut de matèria seca (MS) s'obté de la manera següent:

$$MS(\%) = 100 - H(\%)$$

On:

P_t = pes safata / pes de càpsula;

P = P_t + pes mostra humida (g);

$P_s = P_t + \text{pes mostra seca (g)}$;

H = percentatge d'humitat;

MS = percentatge de matèria seca.

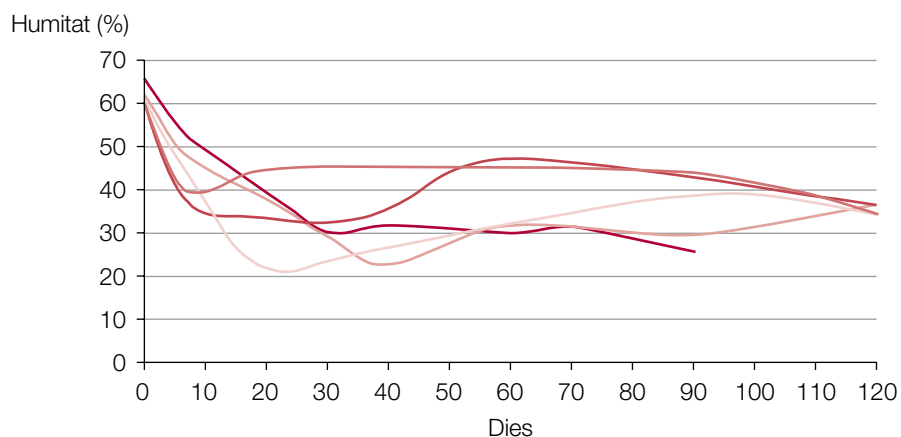
20.4. Comentaris

La determinació del contingut en humitat d'una mostra és fàcil de dur a terme, però cal, a part d'assegurar-ne la representativitat, interpretar-la correctament depenent del punt del procés d'on s'ha obtingut (**taula 20.1**). La humitat disminueix al llarg del procés (**figura 20.1**), però en el producte final, si és massa baixa, pot amagar processos sense acabar i, a més a més, dificultar-ne el maneig i l'aplicació.

Taula 20.1. Variabilitat de la determinació del contingut en humitat segons siguin mostres agafades a l'inici del procés de compostatge o als 60 dies (Campabadal, 1998)

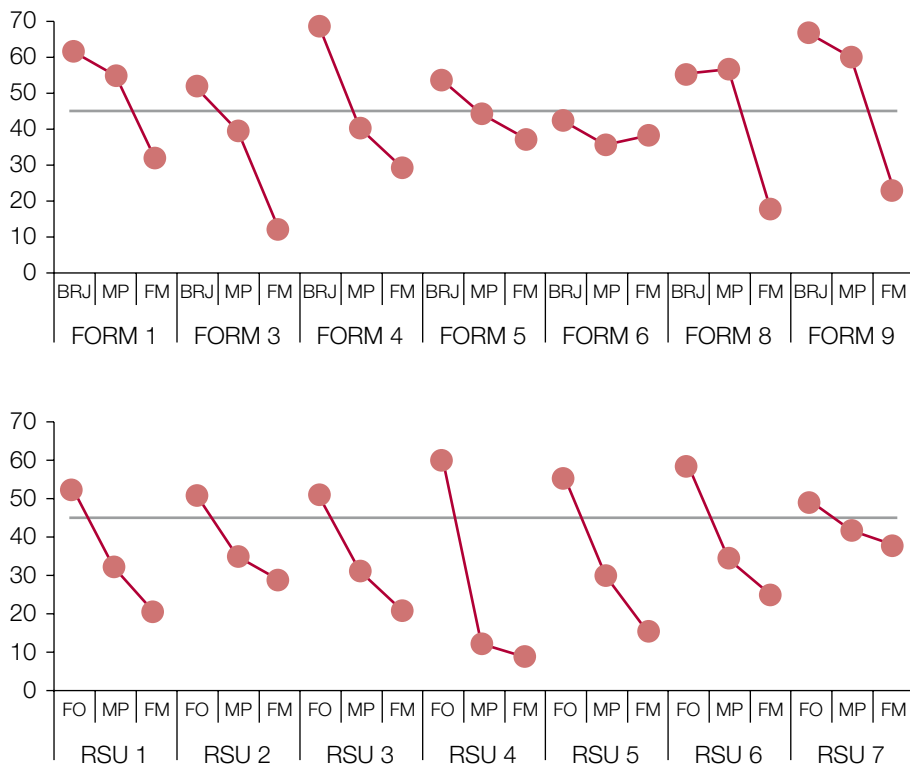
	Inicial % humitat	60 dies % humitat
	66,43	45,17
	62,46	48,06
	59,99	48,13
	63,52	47,75
	66,27	47,87
	48,64	47,25
Mitjana	61,22	47,37
Desv. estànd.	6,62	1,12
%CV	10,82	2,37

Figura 20.1. Variació de la humitat en diferents piles de compostatge de FORM i RV corresponents a una mateixa planta de compostatge (Huerta *et al.*, 2010c)



En la **figura 20.2** es mostra de manera simplificada la variació del contingut en humitat al llarg del procés de compostatge de residus municipals (FORM, material procedent de recollida selectiva, RSU, material procedent de recollida tot en un); per diferents raons, en la majoria de plantes treballen amb continguts massa baixos en humitat.

Figura 20.2. Variació de la humitat de mostres agafades al llarg del procés de compostatge en plantes de compostatge de FORM i RSU (MIMAM-ESAB-ARC, 2007; Huerta *et al.*, 2006b)



BRJ: barreja; MP: mig procés; FM: final maduració

En les **taules taula 20.2 i 20.3** es mostren els canvis observats en el valor de la humitat i en els paràmetres (pH, CE i contingut en N-NH₄ soluble) determinats sobre l'extracte 1/5 (**vegeu els apartats 6 i 8**) utilitzant la mostra humida original o les resultants de l'aplicació de diferents temps d'assecat en dues mostres de compost.

Taula 20.2. Influència del temps d'assecat en la determinació de la humitat i d'altres paràmetres en dos composts diferents (Huguet i López, 2008, dades no publicades)

Temps (hores)	% H	% MS	pH	CE	N-NH ₄ ppm
Compost A					
2	14,32	85,68	8,46	8,04	1.198
4	24,01	75,99	8,16	8,87	999
6	33,29	66,71	7,67	11,34	870
8	37,57	62,43	7,40	12,33	770
10	38,57	61,43	7,24	12,44	381
12	39,55	60,45	7,16	12,89	203
14	39,18	60,82	7,13	11,71	170
16	38,77	61,23	7,07	11,94	154
Compost B					
2	20,43	79,57	9,08	4,39	407
4	31,69	68,31	8,92	5,50	270
5	34,80	65,20	8,73	5,45	244
6	38,52	61,48	8,58	6,05	159
8	40,15	59,85	8,51	6,49	144
10	43,37	56,63	8,34	7,02	54
12	42,61	57,39	8,41	6,78	46

Assecat de la mostra en forn microones (Coker, 2002)

En aquest cas, el temps d'assecat depèn molt del tipus de microones, de la quantitat de mostra i del contingut en humitat. Com a exemple, una mostra de 100 g amb una humitat del 50-80% es pot assecat durant 6-8 minuts en un microones amb una potència de 600 W, pesar-la i tornar-la a introduir en el forn durant dos minuts

i comprovar si ha perdut pes; en cas que sigui així, cal anar-la introduint al forn durant un minut fins que el pes es mantingui constant.

Assecat de la mostra utilitzant balança d'infrarojos

Aquest tipus de balances permeten, a la vegada, assecar la mostra per infrarojos, amb temps inferiors a les dues hores, depenent, sobretot, del contingut en humitat. Són adequades per a materials homogenis, amb baix contingut en humitat i utilitzant quantitats petites de mostra. Per aquesta raó són adients per a mostres moltes o sòls amb els quals es poden fer capes fines que faciliten l'actuació dels infrarojos.

Figura 20.3. Balança d'assecat per infrarojos



Cal diferenciar entre les mesures en un laboratori per al control de la qualitat del compost i les mesures que es fan a la mateixa planta de compostatge, que, a la vegada, també poden ser diferents si el que es vol controlar és la humitat del pro-

ducte final o és la seva variació al llarg del desenvolupament del procés. En aquest darrer cas, caldria disposar d'algun tipus de sonda que permetés fer la mesura ràpida i en la mateixa pila, sense necessitat de prendre'n una mostra, que sempre té la seva dificultat. Per a l'heterogeneïtat dels materials (mida i composició) i les condicions en què estan, sembla que no s'ha aconseguit trobar una manera fiable de determinar la humitat directament amb algun tipus de sonda, tot i que el mercat ofereix diferents tipus d'aparells (figura 20.4).

Figura 20.4. Aspecte d'una sonda de determinació de la humitat en piles de compostatge (Reotemp Compost Moisture Meter, <http://www.biconet.com/compost/moisturemeter.html>)



20.5. Taules de referència

Taula 20.3. Contingut en humitat de diferents grups de mostres de compost (informes de convenis ESAB-SMADB; Huerta *et al.*, 2006b)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FORM	159	26,86	8,43	31,39	10,34	55,95
Fangs	34	32,46	8,71	26,83	13,75	49,14
RSU 1 (abans 1996)	286	41,37	8,94	21,61	7,57	58,93
RSU 2 (després 1996)	45	29,53	12,14	41,12	3,86	51,30
Totes les mostres	524	35,37	11,29	31,91	3,86	58,93

Taula 20.4. Contingut en humitat de mostres agafades en diferents punts del procés de compostatge (MIMAM-ESAB-ARC, 2007)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FO	17	70,44	6,06	8,61	80	58
RVT	17	32,27	14,38	44,55	51	9
Inici descomposició	17	58,71	8,83	15,04	70	40
Inici maduració	9	43,07	7,64	17,63	55	32
Compost	28	31,87	9,22	28,93	50	17

Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

BLOOM i RICHARD, 2002; FENTON i KENNEDY, 1998; FRATTICCIOLI *et al.*, 2004; GALE *et al.*, 1991; RECHIGL, 1992; STEEVENS *et al.*, 2008; WOOD i HALL, 1991; GOLDSTEIN, 2008.

21. Impureses sobre la mostra seca

21.1. Introducció

Es consideren impureses tots aquells materials no compostables que arriben al final del procés de compostatge, mentre que es consideren impropis aquells materials no compostables que arriben amb els RSU, i que són presents durant els primers estadis del procés.

La determinació de les impureses es fa per dues raons: d'una banda, per tal de preservar els equips de mòlta, és convenient retirar totes les partícules que els puguin malmetre com ara vidres, metalls, etc.; de l'altra, l'actual legislació espanyola, en el Reial Decret 824/2005, especifica el contingut en impureses.

La determinació es fa sobre mostra seca,¹⁵ ja que facilita que les impureses es puguin retirar més que en humit, on a causa del contingut en humitat, aquestes podrien quedar enganxades a les restes orgàniques.

21.2. Procediment

Després de l'assecat de la mostra es reuneixen les tres repeticions, i se n'agafa una submostra representativa per fer la determinació dels impropis.

Es col·loca la submostra sobre una superfície llisa i amb unes pinces es van separant els impropis que es troben, classificant-los en recipients diferents segons siguin:

15. La metodologia emprada per US Composting Council també fa la determinació sobre mostra seca.

- plàstic film
- plàstic dur
- paper
- vidre
- tèxtil
- metalls
- pedres
- altres

Un cop neta la mostra, es pesa cada recipient per separat i, a partir d'aquest pes i sobre el pes total de la submostra, es podran determinar els percentatges d'impropis. A continuació, es pren una fotografia per posar de manifest clarament quina proporció d'impropis conté la mostra.

La mostra neta es guarda en una bossa de plàstic transparent etiquetada amb la numeració que correspon a la mostra, que ja està preparada per poder ser mòlta. Malgrat que el paper també es quantifica, es torna a incorporar ja que no es considera impuresa.

21.3. Resultats i comentaris

Figura 21.1. Impureses d'una mostra de compost de FORM

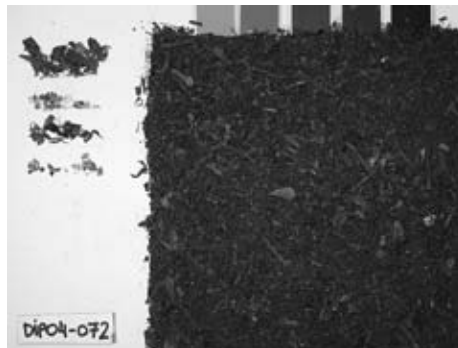
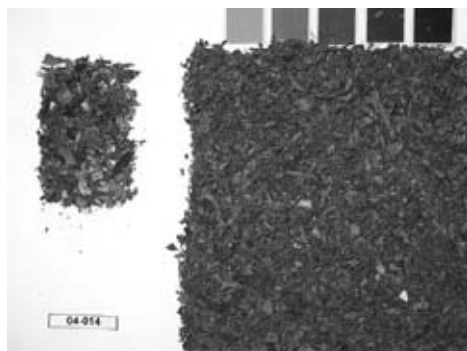


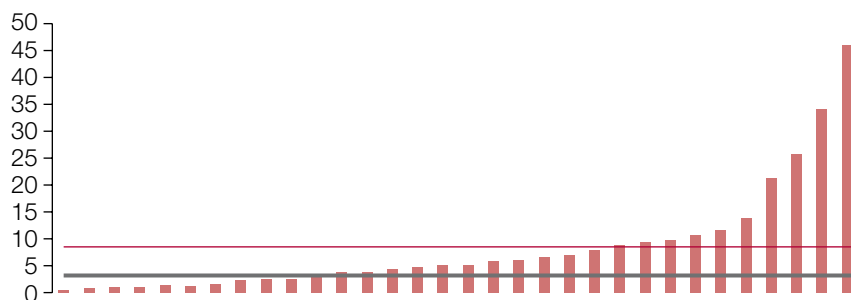
Figura 21.2. Impureses d'una mostra de compost de RSU

Nota. En algunes situacions es poden trobar mostres de compost que han estat sotmeses en algun moment a un tipus de mòlta que fa que el vidre no es pugui separar, però que s'acumuli en la fracció més fina. Una manera de saber si això ha succeït consisteix a separar la fracció < 5 mm, determinar-ne el contingut en matèria mineral i comparar-ho amb el contingut en cendres de la mostra de compost completa.

En la **figura 21.3** es mostra el contingut en impureses trobat en diferents tipus de composts analitzats en el marc d'un projecte subvencionat per l'IGME-MIMAM (Huerta *et al.*, 2006b).

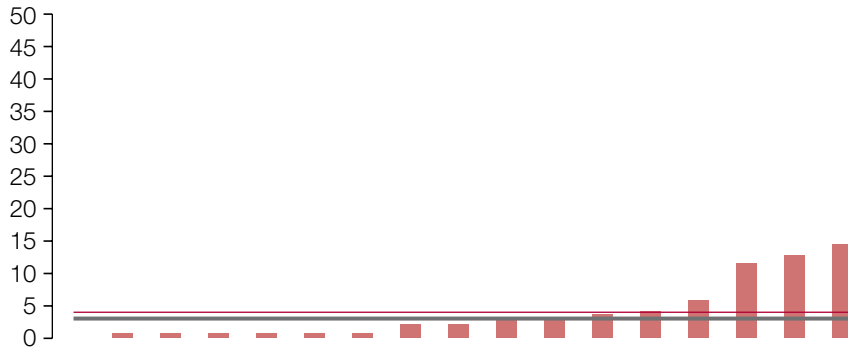
Figura 21.3. Contingut en impureses de mostres de compost de diferents orígens (Huerta *et al.*, 2006b)

% impureses (RSU)

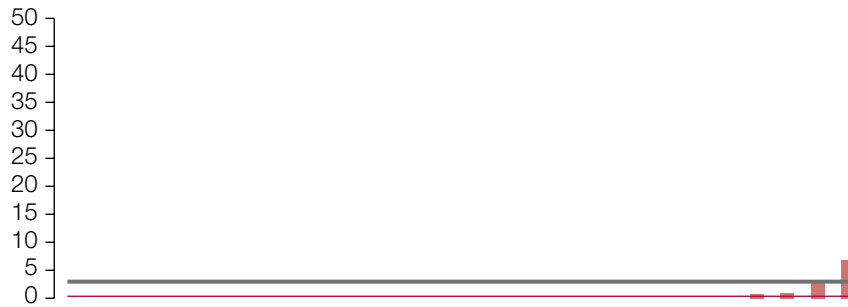


.../...

% impureses (FORM)

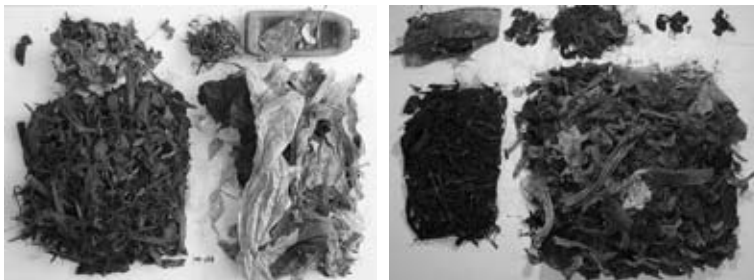


% impureses (fangs)



També, moltes vegades, cal veure el contingut en impureses de les restes vegetals que es recuperen al final dels processos de compostatge de FORM (RCV) per determinar la possibilitat que puguin ser reintroduïts en el procés o no (figura 21.4).

Figura 21.4. Separació d'impropis en mostres de reciclat vegetal



22. Mòlta de la mostra

22.1. Introducció

Totes les anàlisis realitzades sobre mostra seca necessiten la mòlta prèvia dels materials per assegurar l'homogeneïtat de la mostra i la reproductibilitat de les anàlisis, sobretot en els casos en què la determinació es fa sobre quantitats molt petites de material. És evident que el sistema de mòlta i la mida de la partícula influeixen els resultats de moltes de les determinacions (influència en la solubilitat i extractabilitat); per tant, cal mantenir les condicions de mòlta i indicar-les en els fulls de resultats de cadascun dels laboratoris.

22.2. Aparells

Molinet RETSCH PM100

En el mercat es poden trobar molts tipus diferents de molins, cadascun amb les seves particularitats, i és molt important assegurar que en la mòlta no passen components del molí a la mostra. En la **figura 22.1** es mostren molins utilitzats al laboratori de l'ESAB, en diferents èpoques, per a la mòlta de mostres de compost.

22.3. Procediment

Per moldre la mostra cal treure'n els materials no aptes per ser triturats: pedres, metalls, vidres, etc.; en cas d'haver fet la determinació dels impropis sobre la mostra seca (**vegeu l'apartat 21**), la mostra ja estarà preparada, però, abans de

Figura 22.1. Tipus de molí utilitzables per a la mòlta de mostres de compost

posar-la al molí, és recomenable comprovar que no hi hagi partícules que puguin fer malbé l'aparell. El més adequat es utilitzar un molí d'àgata (figura 22.2) o de boles (figura 22.3).

Nota. Per a l'ús correcte del molí és aconsellable seguir-ne les instruccions, com també les indicacions referents a la neteja.

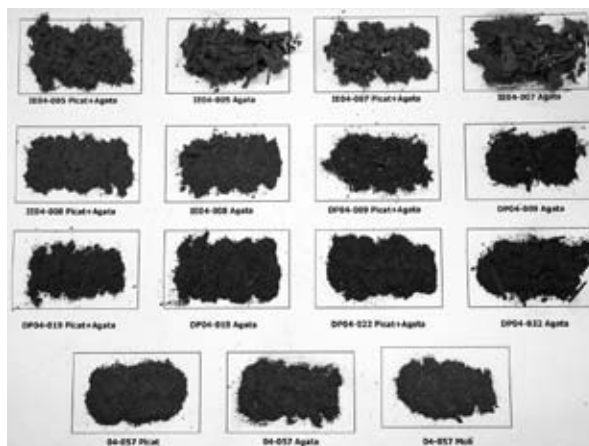
Figura 22.2. Molí d'àgata utilitzat normalment per a mostres de sòls

Figura 22.3. Molí de boles (Retsch PM100) utilitzat actualment al laboratori de l'ESAB per assegurar que no es contaminen les mostres



Un cop mòlta, la mostra es guarda en un potet de plàstic, tancat, en un lloc tan sec com sigui possible. Ha d'estar ben etiquetada.

Figura 22.4. Aspecte de diferents mostres després de la mòlta



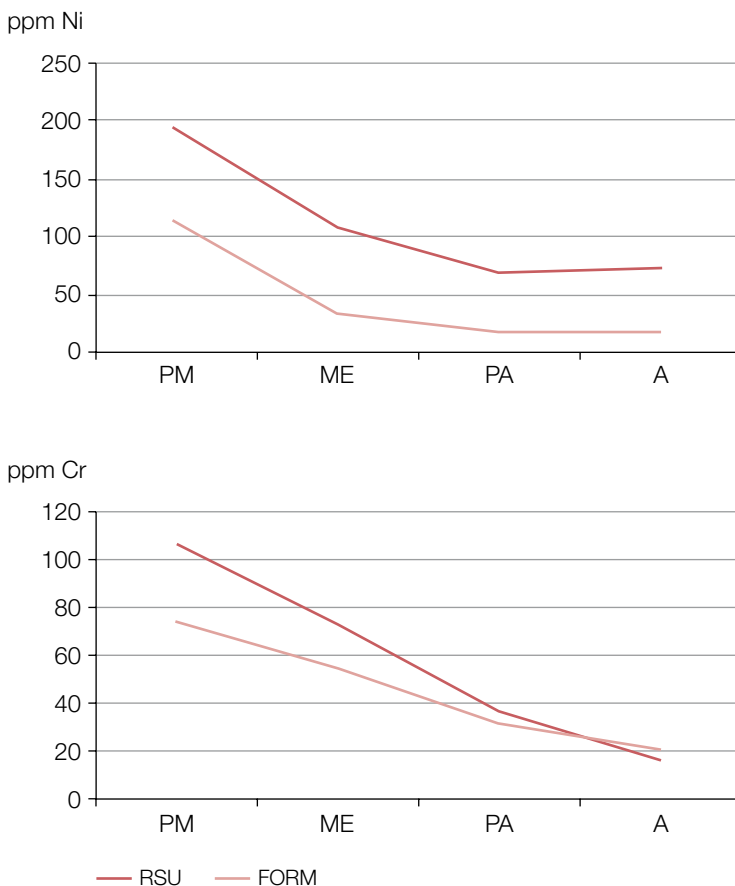
22.4. Problemàtiques més freqüents

Una de les problemàtiques associades a la mòlta deriva de la possible contaminació que puguin patir les mostres per part dels components del molí. Si les partícules que s'han de moldre són molt dures o porten impureses metàl·liques poden desgastar el molí i afectar la composició de la mostra, especialment quan es tracta de molins de composició metàl·lica. Per evitar això és convenient utilitzar molins d'àgata o de composició que no afecti la matriu que s'ha d'analitzar.

S'ha observat en alguns casos un desgast important en tot el material utilitzat per triturar i picar les mostres. N'és un exemple la ganiveta de la picadora de cuina utilitzada moltes vegades per a la pretrituració de les mostres, en la qual es pot observar un desgast evident.

En la **figura 22.5** s'observa l'increment del contingut en Ni i Cr segons el sistema de trituració utilitzat al laboratori.

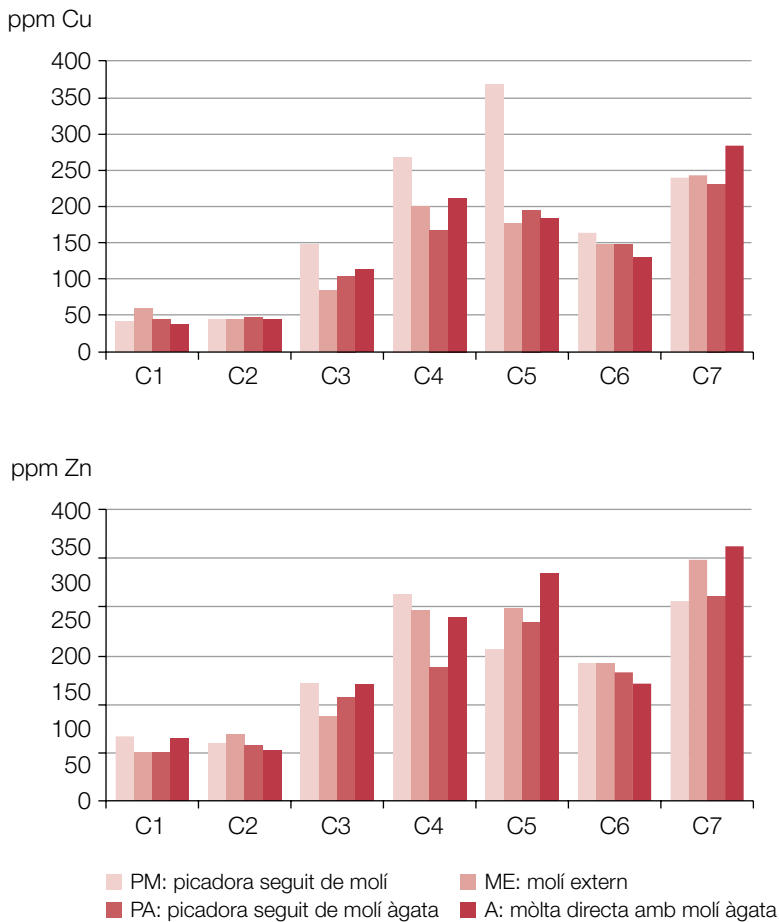
Figura 22.5. Contingut en Ni i Cr de mostres de compost de FORM i RSU mòltes en diferents condicions



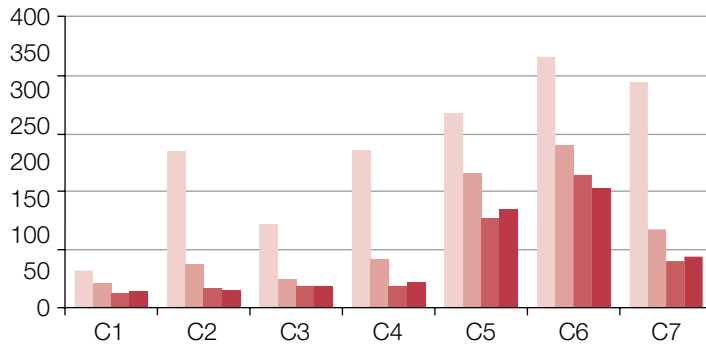
PM: picadora seguit de molí; ME: molí extern; PA: picadora seguit de molinet àgata; i A: mòlta directa amb molinet àgata.

Es va fer una prova amb set mostres de compost (Huerta *et al.*, 2007) tractades amb quatre mètodes de trituració diferents per avaluar-ne la influència en el contingut de metalls (figura 22.6).

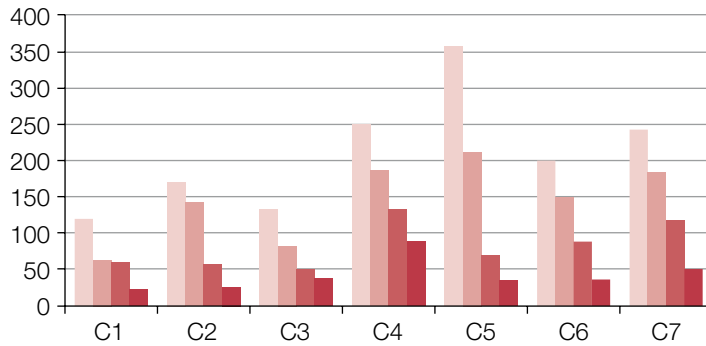
Figura 22.6. Contingut en metalls pesants de mostres analitzades amb diferents pretractaments



ppm Ni



ppm Cr



PM: picadora seguit de molí ME: molí extern
PA: picadora seguit de molí àgata A: mòlta directa amb molí àgata

23. Contingut de matèria orgànica total

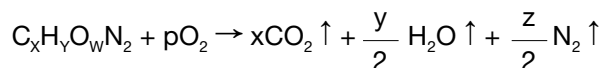
23.1. Introducció

Al llarg del compostatge el contingut en matèria orgànica total (MOT) ha d'anar disminuint, amb més o menys grau, en funció del desenvolupament del procés, però també del tipus de material orgànic i de la seva degradabilitat. Tot i que alguns autors (Godden i Penninck, 1986) i l'experiència indiquen que el contingut en MOT pot informar de l'avanç del procés, fins i tot de la maduresa del compost, sempre s'ha de valorar amb precaució perquè depèn molt del punt de partida. No es pot valorar de manera absoluta, sinó relativa.

El compost o altres materials orgànics amb pretensió de ser aplicats al sòl han de presentar continguts destacables de matèria orgànica (s'aconsella que siguin superiors a 40% sms), però, paral·lelament, un elevat percentatge d'aquesta matèria orgànica ha de ser resistent a la descomposició biològica (**vegeu els apartats 29 i 30**).

23.2. Procediment

La determinació del contingut en matèria orgànica consisteix en una gravimetria indirecta en la qual es mesura la pèrdua de pes a causa de la combustió de la matèria orgànica.



En un gresol de porcellana prèviament calcinat durant 30 minuts i tarat, es pesa prop d'1,5 g de mostra seca i mòlta amb una aproximació de 0,1 mg. Es precalci-

na la mostra a 200-300 °C (directament a la mufla o preferiblement en manta calefactora) sota campana, mantenint-la en aquestes condicions fins que acabi de fumejar. Aleshores, el gresol es col·loca a la mufla i es calcina un mínim de tres hores. La temperatura de calcinació es troba en funció de l'objectiu de la prova. Si només es vol determinar la matèria orgànica es pot fer a 560 °C, però si es volen fer determinacions d'altres components a partir de les cendres, la calcinació s'ha de fer a 470 °C per evitar la volatilització d'elements com el zinc o la formació d'òxids que facin difícil la dissolució posterior d'alguns elements. Si es fa a 560 °C, amb 3 hores n'hi ha prou, però a 470 °C caldrà que hi estigui un mínim de 4 hores.

Les cendres resultants han de presentar un aspecte blanquinós per assegurar que tot el material s'ha calcinat. Mostres amb alts continguts en sucres o greixos poden dificultar la combustió de la matriu interna a causa de la formació d'una barrera superficial que evita l'entrada d'oxigen. Si succeeix això, s'hi poden afegir unes gotes d'àcid nítric o d'aigua destil·lada. Un cop evaporat, es continua la calcinació fins a obtenir unes cendres blanquejades.

Passat el temps establert, es treu el gresol de l'interior de la mufla i s'introdueix dins un dessecador fins que es refredi, i es pesa.

En les cendres obtingudes a 470 °C s'hi troben tots els components minerals de la mostra, els quals si es dissolen en medi àcid fort permeten determinar-ne el contingut (**vegeu els apartats 27 i 28**).

Limitacions del mètode

Si en la preparació de la mostra no s'han eliminat els plàstics, aquests poden ser mesurats com a matèria orgànica.

Cal vigilar amb la temperatura de calcinació per no quantificar els carbonats, ja que moltes mostres de compost en porten quantitats importants. En certes metodologies s'aconsella, prèviament a la calcinació, tractar la mostra amb àcid per eliminar-los (AFNOR, 1976; MAPA, 1994).

En la bibliografia es troben altres maneres de conèixer el contingut en MOT a partir de la determinació del C: per via seca, provocant la combustió de la mostra i analitzant els gasos despresos per quantificar el CO₂; o bé per via humida, oxidant la mostra amb dicromat en medi àcid fort (**vegeu l'apartat 25**).

23.3. Càlculs

$$\text{MOT (\%)} = \frac{P_m - (P_c - P_g)}{P_m} \cdot 100 \quad \text{MM (\%)} = \frac{P_c - P_g}{P_m} \cdot 100 \quad \% \text{ MOT} + \% \text{ MM} = 100$$

On:

P_m = pes de la mostra seca i mòlta (g);

P_c = pes de gresol i mostra calcinats o pes de cendres més gresol (g);

P_g = pes del gresol (g).

23.4. Comentaris i taules de referència

En la **taula 23.1** es pot observar la variabilitat de la determinació del contingut en MOT, per calcinació, en dues mostres: una agafada a l'inici del procés de compostatge i una altra als 60 dies, quan el material ja està transformat i és més homogeni.

Taula 23.1. Variabilitat del contingut en matèria orgànica de dues mostres de compost preses en diferents moments (Campabadal, 1998)

	Inicial % MOT	60 dies % MOT
	71,40	60,02
	71,43	58,81
	82,31	56,79
	81,72	58,14
	67,58	60,71
	68,12	60,80
Mitjana	73,76	59,21
Desv. estànd.	6,59	1,59
% CV	8,94	2,68

En la **taula 23.2** s'indica el contingut en MOT de diferents tipus de composts generats a Catalunya, en diferents èpoques.

Taula 23.2. Contingut en matèria orgànica de diferents grups de mostres de compost (informes de convenis ESAB-SMDB; Huerta et al. 2006b)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FORM	159	52,70	10,07	19,10	26,56	75,50
Fangs	34	55,37	8,29	14,97	30,74	73,28
RSU 1 (abans 1996)	286	55,91	11,48	20,53	27,60	76,85
RSU 2 (després 1996)	45	52,00	11,08	21,31	22,95	71,50
Totes les mostres	524	54,56	10,94	20,05	22,95	76,85

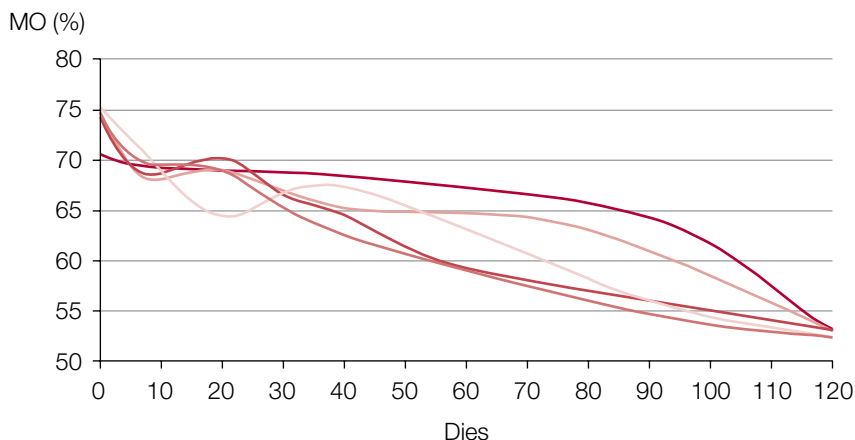
En la **figura 23.1** es pot veure la variació del contingut en MOT (no sempre correcta) al llarg del procés de compostatge en diferents piles d'una mateixa planta de compostatge de FORM + RV, i en la **taula 23.3**, el contingut en MOT de mostres agafades en diferents punts del procés i en diferents plantes de compostatge de FORM + RV.

Taula 23.3. Percentatge de MOT de mostres agafades en diferents punts del procés de compostatge de FORM amb restes vegetals

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FORM	17	83,09	8,15	9,81	92,0	70,0
RVT	15	86,55	7,96	9,20	95,0	75,0
Inici descomposició	17	79,53	9,74	12,25	85,0	65,0
Inici maduració	9	71,32	6,61	9,26	80,0	60,0
Compost	27	58,40	7,78	13,33	70,0	44,0

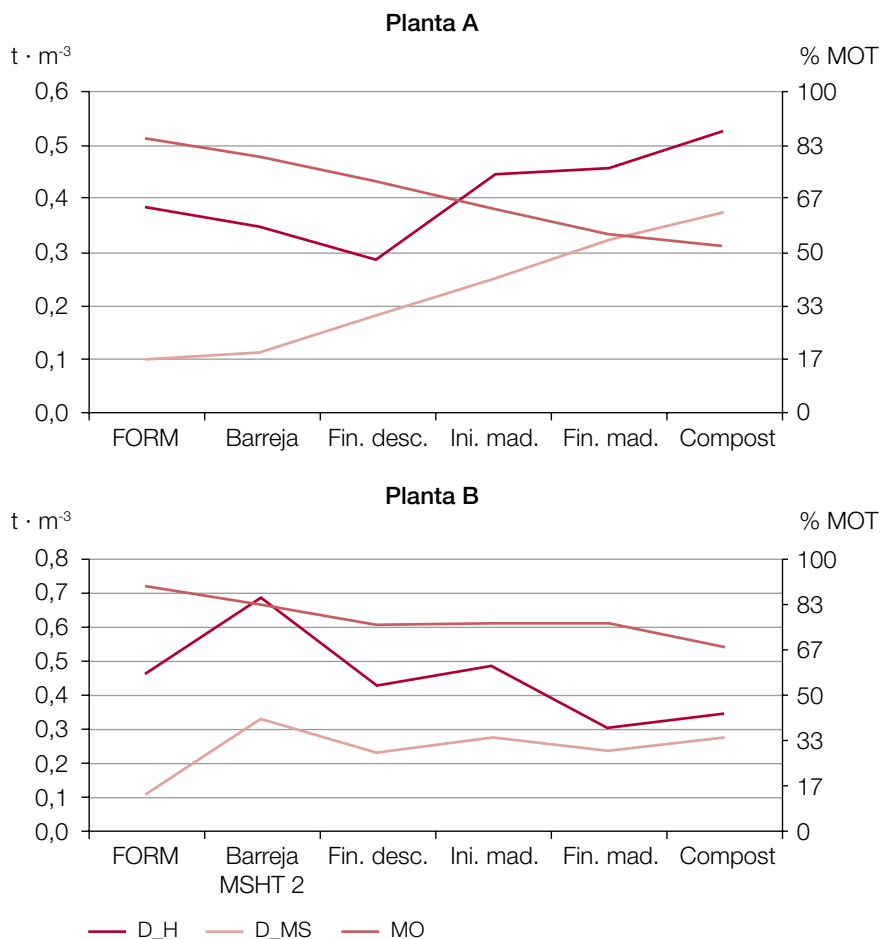
Dades dels projectes «Evaluación y mejora de las tecnologías de tratamiento de residuos municipales en Catalunya», Ministerio de Medio Ambiente, Exp. A291/2007/1-02.03.

Figura 23.1. Variació del percentatge de MOT al llarg del procés de compostatge en diferents piles d'una mateixa planta de compostatge de FORM + RV (Huerta et al., 2008)



En la **figura 23.2** es representa el contingut en percentatge de MOT de mostres agafades en diferents punts del procés de dues plantes de compostatge de FORM + RV: planta A, amb el procés molt ben controlat, i planta B, amb un funcionament incorrecte que es manifesta per poca transformació. Conjuntament amb el percentatge de MOT es representa la variació de la densitat aparent dels materials expressats en mostra humida i en mostra seca (**vegeu l'apartat 3**); aquest últim paràmetre, com que no depèn del contingut en humitat, està directament relacionat amb el contingut en MOT i, quan el procés està ben controlat, presenta una variació totalment inversa.

Figura 23.2. Variació del percentatge de MOT i de la densitat aparent (MH i MS) de mostres agafades en diferents punts del procés de compostatge en dues plantes de FORM + RV (Huerta *et al.*, 2008a)



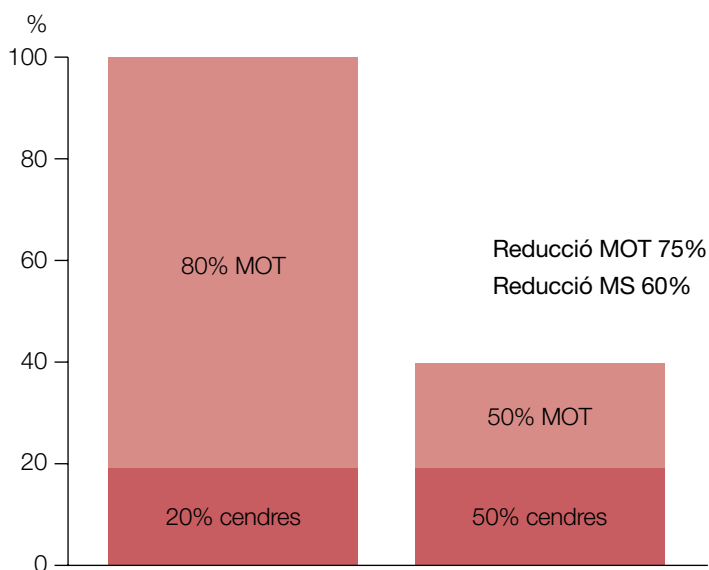
Quan es controlen processos de compostatge complets també és interessant determinar el percentatge de reducció de la MO al llarg del procés segons la fórmula següent:

$$\% \text{ reducció MOT} = \left[1 - \left(\frac{\frac{\% \text{ MMi}}{\% \text{ MMf}} \cdot \% \text{ MOTf}}{\% \text{ MOTi}} \right) \right] \cdot 100$$

On MM i MMf són la matèria mineral inicial i final, respectivament, i ídem per a MOTi i MOTf.

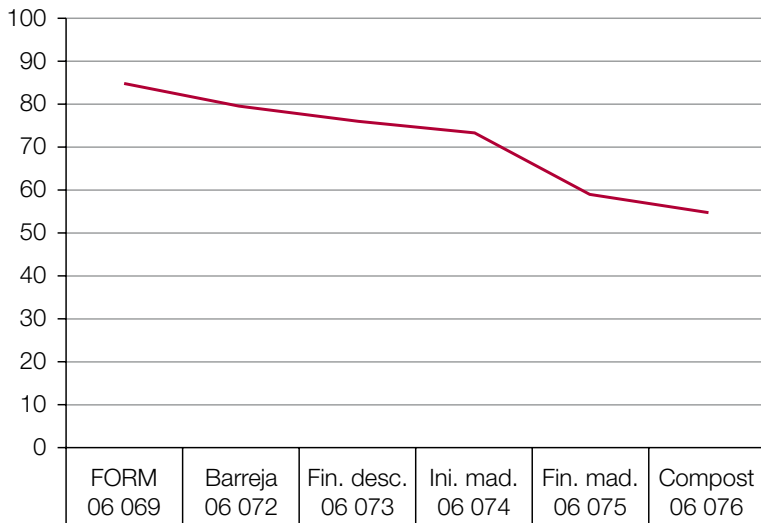
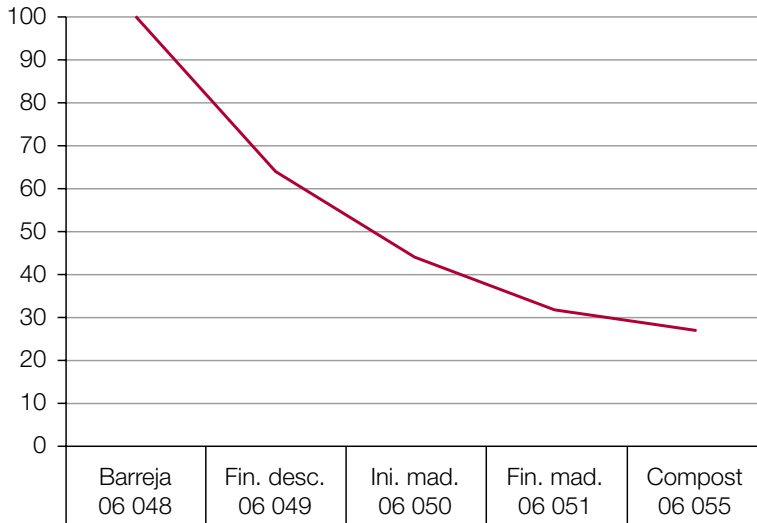
El càlcul (figura 23.3) pot donar informació sobre el desenvolupament del procés si les mostres analitzades són representatives. Cal posar-se d'acord sobre si es considera com a final el producte abans (final maduració) o després de refinar (compost) (figura 23.4).

Figura 23.3. Reducció relativa del contingut en MOT al llarg del procés de compostatge



La reducció de MO al llarg del compostatge, representada en la figura 23.4, posa en evidència la diferent evolució del procés en dues plantes i suggereix que aquest càlcul pot ser una manera de comparar diferents processos o instal·lacions.

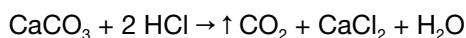
Figura 23.4. Reducció del contingut en MOT de mostres agafades en diferents punts del procés de compostatge en dues plantes de FORM + RV (Huerta *et al.*, 2010c)



24. Carbonats totals pel calcímetre de Bernard

24.1. Introducció

La determinació del CaCO_3 pel calcímetre de Bernard té interès pel seu valor diagnòstic de diverses propietats del sòl. Tot i que no és una determinació exacta (a causa de les condicions ambientals i d'altres), dóna un valor aproximat del contingut en carbonats en mesurar la quantitat de CO_2 després en la següent reacció:



En atacar una quantitat de mostra amb un volum de HCl, es produeix el desplaçament de CO_2 . Aquest volum de CO_2 es pot comparar amb el volum de CO_2 en atacar una altra mostra de concentració de CaCO_3 coneguda, del mateix pes que la primera mostra, a igual temperatura i pressió atmosfèrica.

Té interès determinar el contingut en carbonats d'una mostra de compost perquè està relacionat amb la transformació de la matèria orgànica del material que s'ha compostat i també amb el seu contingut en Ca. En avançar el procés de compostatge, disminueix el contingut en MO, incrementant-se teòricament el contingut en HCO_3^- i CO_3^{2-} . No obstant això, aquest contingut està influenciat per característiques del material inicial, com, per exemple, el seu contingut en Ca. Així, es pot agafar com a base un dels equilibris (molt simplificat) que apareix durant el compostatge:



La matèria orgànica, en descompondre's, genera fonamentalment aigua i diòxid de carboni que, en dissolució aquosa, està en equilibri amb els bicarbonats i els carbonats; en aquest equilibri intervenen altres factors com la temperatura, el pH, la humitat i la presència de determinats cations. És obvi que la temperatura influeix en la solubilitat del CO_2 en aigua segons es mostra en la **taula 24.1**.

Taula 24.1. Solubilitat del CO_2 en H_2O (g CO_2 /100 cm^3)

Temperatura	0 °C	25 °C	40 °C	60 °C
Solubilitat	0,348	0,145	0,097	0,058

El pH també participa en els equilibris, ja que, per a pH àcids, l'equilibri es desplaça a l'esquerra i, per contra, per a pH bàsics, el desplaçament és cap a la dreta. A mesura que el compostatge avança, el pH incrementa i, per tant, afavoreix la formació de carbonats. La forma com quedin aquests carbonats dependrà de la presència de determinats cations. Així, si la mostra conté molt calci, pot generar-se carbonat de calci, que és molt insoluble (**taula 24.2**); si precipita aquesta sal la quantitat de ions carbonat en equilibri disminueix i, per tant, l'equilibri es desplaça cap a la dreta i es generen més ions CO_3^{2-} . En canvi, si en la mostra tenim cations com Na^+ o K^+ , les sals que es poden generar són molt solubles i no afecten l'equilibri de la mateixa manera.

Taula 24.2. Solubilitat de diferents sals implicades en el procés (g/100 cm^3)

CaCO_3		K_2CO_3		Na_2CO_3		$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$		KHCO_3		NaHCO_3		NH_4HCO_3	
25 °C	75 °C	20 °C	0 °C	100 °C	15 °C	0 °C	60 °C	0 °C	60 °C	0 °C	60 °C	0 °C	60 °C
0,0014	0,0018	112	7,1	45,5	100	22,4	60,0	6,9	16,4	11,9			

24.2. Materials

Calcímetre de Bernard

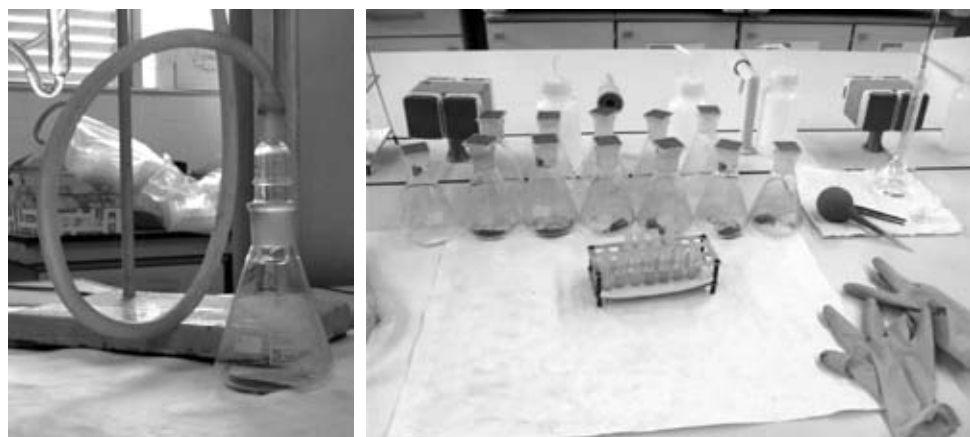
- Balança analítica amb precisió de 0,1 mg
- Estufa
- Erlenmeyer amb tubuladura lateral de 250 mL (Kitasato) amb tap de vidre esmerilat
- Tubs d'assaig petits de plàstic (han de tenir una capacitat mínima de 3 mL)
- Pipeta graduada de 5 mL ($\pm 0,1$)
- Espàtula
- Pinces
- Embut

Figura 24.1. Calcímetre de Bernard



El calcímetre és un aparell que disposa d'un extrem amb un tap de goma o esmerilat que permet l'hermetisme en el moment de tancar. Aquest tap està connectat a un tub de plàstic flexible que recull el CO_2 que es desprèn i el condueix a un tub graduat (en mL) i ple d'una solució que no absorbeix el gas. El gas generat desplaça la solució i informa del volum de CO_2 produït i aproxima la quantitat de carbonats presents en la mostra.

Figura 24.2. Detall del tap de vidre esmerilat del calcímetre i de l'erlenmeyer amb coll esmerilat i altre material necessari



24.3. Reactius

- Solució manomètrica del calcímetre

Es pesa en un vas de precipitats 100 g de NaCl i 1 g de NaHCO_3 . S'hi afegeix 350 mL d'aigua i es remena fins a arribar a dissolució; s'hi afegeixen unes gotes de roig de metilè i solució de H_2SO_4 diluït (lentament i remenant) fins arribar a reacció àcida. Es remena amb una vareta, fins que quedi una solució completament líquida i de color rosa. S'obre l'aixeta del calcímetre de Bernard (per mantenir la pressió atmosfèrica a l'interior del sistema) i s'hi introdueix la solució mitjançant un embut. A continuació, s'enrasa la bureta a zero, movent el dipòsit del calcímetre al llarg de la guia.

- CaCO_3 assecat a l'estufa
- HCl del 10% (10 mL de HCl concentrat enrasat a 100 mL)

24.4. Procediment

Per a cada mostra es fan tres repeticions i un blanc.

- Primer de tot es fa el blanc. Es pesen uns $0,2 \text{ g} \pm 0,1 \text{ mg}$ de CaCO_3 en un erlenmeyer prèviament rotulat.
- Seguidament, es pesen $0,4 \text{ g} \pm 0,1 \text{ mg}$ de mostra en un altre erlenmeyer i se'n fan dues repeticions més. Es tapen els erlenmeyers.
- A continuació, s'omplen els tubs petits de plàstic, amb 3 mL de HCl del 10%.
- Per a tots els erlenmeyers se segueix el mateix procés:
 - Obrir l'aixeta del calcímetre de Bernard.
 - Destapar l'erlenmeyer i, amb cura, introduir-hi, amb unes pinces, el tubet de plàstic amb HCl.
 - Una cop anivellat el calcímetre a zero, tancar l'erlenmeyer amb el tap de vidre del calcímetre, vigilat que no caigui el tubet i es barregi amb la mostra.
 - Tancar l'aixeta del calcímetre de Bernard i assegurar-se que no es produeix desplaçament del nivell.
 - Deixar caure el tubet sobre la mostra i remenar enèrgicament. Esperar uns segons i continuar remenant. Fer la lectura quan el líquid del calcímetre queda estacionari. Anotar.
 - Obrir l'aixeta.
 - Treure l'erlenmeyer.

24.5. Càlculs

$$\% \text{CO}_3^{2-} = \frac{V_{\text{mostra}}}{P_{\text{mostra}}} \cdot \frac{P'}{V_{\text{blanc}}} \cdot 100$$

$$P' = P \text{ CaCO}_3 \cdot \frac{1 \text{ mol CaCO}_3}{100 \text{ g CaCO}_3} \cdot \frac{1 \text{ mol CO}_3^{2-}}{1 \text{ mol CaCO}_3} \cdot \frac{60 \text{ g CO}_3^{2-}}{1 \text{ mol CO}_3^{2-}}$$

On:

V_{mostra} = lectura del CO_2 de la mostra (cm^3);

V_{blanc} = lectura del blanc (cm^3);

P_{mostra} = pes de la mostra (g);

P' = pes del CaCO_3 expressat com a CO_3^{2-} (g);

P_{blanc} = pes del carbonat de calci (g).

24.6. Comentaris

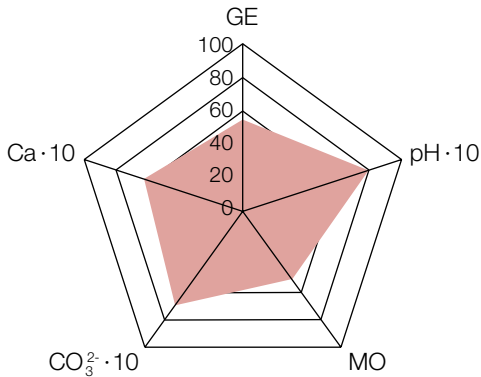
- Si es produeixen variacions de temperatura dins l'erenmeyer durant l'assaig, això pot donar peu a lectures errònies; per aquesta raó, no és convenient agafar l'erenmeyer amb la mà ni per la base; es pot agafar amb pinces o bé amb un paper o guants de làtex.
- Les variacions de temperatura al llarg del procés de treball també poden afectar les determinacions, per això s'intercalen blancs que presentin les mateixes condicions de treball que la mostra.
- Per tal que no hi hagi pèrdues de CO_2 és convenient untar una mica el coll de l'erenmeyer amb silicona. També s'han de revisar les unions de tot el calcímetre.
- La solució del calcímetre pot absorbir CO_2 , motiu pel qual s'hauria de canviar cada setmana.
- Aquest mètode és semiquantitatiu i el seu error de mesura oscil·la entre el 5% i el 10%. Es tracta d'una tècnica utilitzada en l'anàlisi de sòls que s'aplica a compost, i encara que les característiques dels dos materials són diferents, permet tenir una idea del percentatge de carbonats presents en la mostra.

A mesura que avança el compostatge, disminueix el contingut en MOT (encara que augmenta el contingut en matèria orgànica més resistent –**vegeu l'apartat 30**–) i és previsible que s'incrementi el contingut en carbonats. Aquest contingut i la relació amb el contingut en MOT pot ser una manera de conèixer com està d'avançat el procés de compostatge i alhora es pot relacionar amb altres paràmetres indicadors d'aquest avanç (Freire, 2002; Martí, 2007).

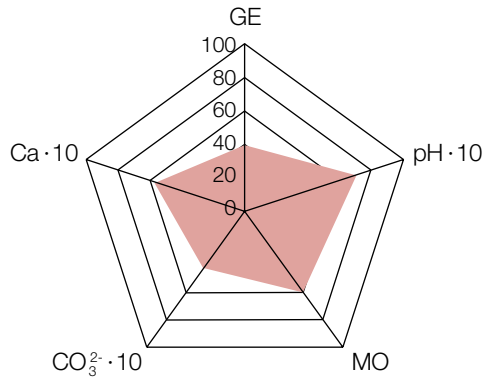
Alguns d'aquests paràmetres es poden intentar representar en gràfics radials. En aquest cas, s'han seleccionat cinc paràmetres que poden relacionar-se, o bé amb l'estabilitat (% MOT, % GE), o bé amb el contingut en carbonats. En la **figura 24.3** es proposen models de representació del contingut en carbonats, calci i matèria orgànica enfront d'altres paràmetres de qualificació del compost, com ara el grau d'estabilitat (GE) i el pH (**taula 24.3**).

Figura 24.3. Models radials de comparació de paràmetres característics de mostres de compost, incloent-hi el contingut en carbonats (Freire et al., 2002)

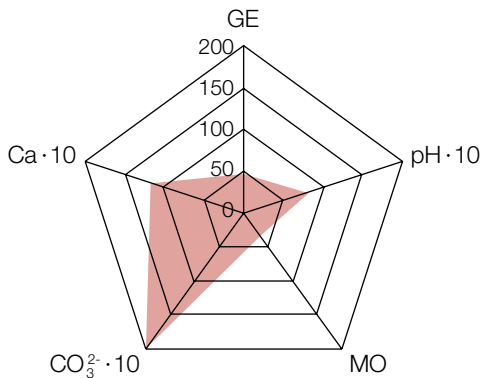
Model I de representació. Els materials d'entrada i el procés són acceptables



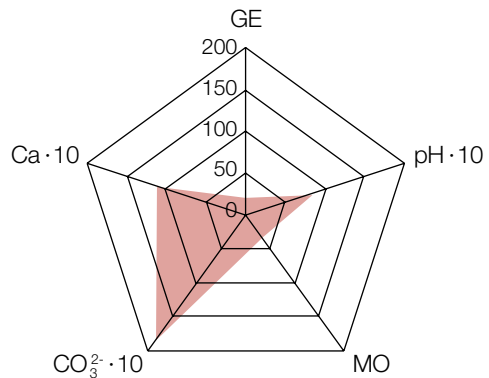
Model II de representació. Els materials són acceptables, però el procés no és del tot correcte



Model III de representació. Els materials d'entrada són inadequats i el procés és acceptable



Model IV de representació. Els materials d'entrada i el procés són inadequats



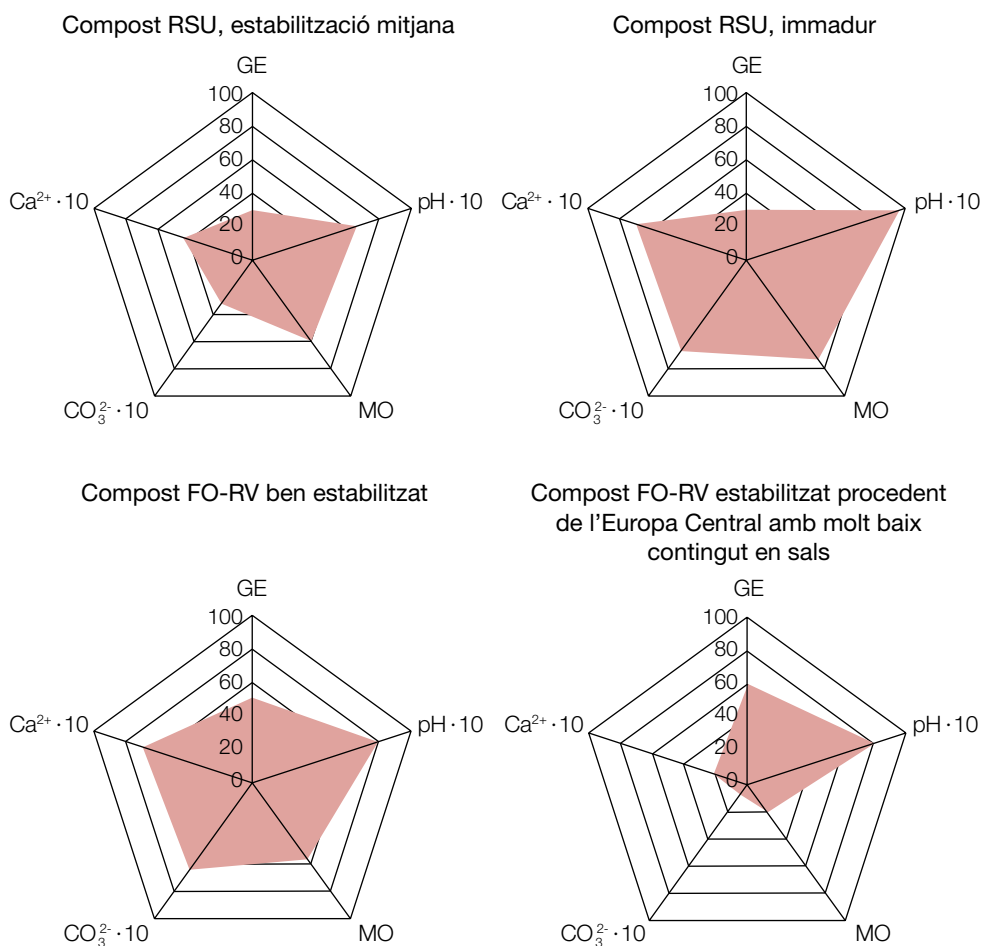
Taula 24.3. Característiques de quatre composts utilitzats per a la proposta de models

Model	GE	pH · 10	MO	CO ₃ ²⁻ · 10	Ca · 10
I	55	80	50	70	60

.../...

Model	GE	pH · 10	MO	CO ₃ ²⁻ · 10	Ca ²⁺ · 10
II	40	70	60	40	55
III	45	80	30	200	120
IV	25	80	35	180	110

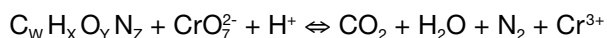
Figura 24.4. Models radials característics de quatre tipus de compost de residus municipals identificats a partir de la base de dades de l'ESAB (Freire, 2002; Huerta *et al.*, 2003)



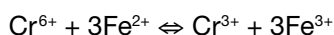
25. Contingut de carboni orgànic oxidable

25.1. Introducció

La determinació de la matèria orgànica per via humida es fa usualment per mitjà de valoracions redox a base de dicromat potàssic (oxidant fort) en medi àcid, proporcionat per l'àcid sulfúric. La reacció es pot descriure esquemàticament de la manera següent:



L'anió dicromat (Cr^{6+}) es redueix a Cr^{3+} , mentre que el carboni, al qual es pot atribuir grau d'oxidació zero, s'oxida a CO_2 . Els equivalents de C de la mostra són iguals als equivalents de dicromat reduïts. Conseqüentment, a partir del dicromat gastat es pot obtenir el percentatge de C de la mostra. Com que el C oxidat no es determina com a CO_2 , sinó com a equivalents de $K_2Cr_2O_7$ gastats, en aquest procés no és necessària l'eliminació prèvia dels carbonats (formes inorgàniques de C). La lentitud del procés d'oxidació i la impossibilitat d'obtenir un punt final de valoració net fan inviable mesurar el dicromat gastat per addició directa i instantània sobre la mostra que cal determinar. Per tant, cal valorar per retrocés, és a dir, addicionant excés de dicromat i deixant-lo el temps necessari per obtenir una oxidació màxima de la matèria orgànica (facilitada per la presència d'un àcid com el sulfúric i l'aplicació de temperatura) i valorant després el dicromat no consumit, reduint el Cr^{6+} a Cr^{3+} mitjançant sal de Mohr (Fe^{2+}):



Amb aquesta reacció, el color taronja inicial del Cr^{6+} passa al verd del Cr^{3+} . Per veure el canvi es fa servir un indicador, la difenilamina, que presenta un color blau negrós en la forma oxidada i verd en la reduïda. Així, per diferència entre el volum de dicromat afegit i el sobrant, es poden conèixer els equivalents consumits en l'oxidació del C orgànic i, per tant, el C orgànic de la mostra. S'ha de tenir en compte que la sal de Mohr s'oxida lentament amb l'aire, per la qual cosa és necessari determinar el factor de la seva concentració mitjançant la realització d'una prova en blanc.

De la reacció d'oxidació de la matèria orgànica cal indicar-ne dos aspectes importants:

1. El potencial d'oxidació dependrà fonamentalment de la concentració de dicromat i de protons, a part d'altres factors com, per exemple, la temperatura.
2. Diferents tipus de molècules orgàniques presenten diferent resistència a l'oxidació. Així doncs, compostos orgànics de naturalesa química simple com ara sucres, àcids orgànics de cadena curta, etc., són oxidats completament; però altres substàncies més complexes, com poden ser els compostos húmics, els derivats benzènics i materials amb gran presència de lignines, etc., no s'oxiden totalment.

25.2. Procediment

Oxidació humida de la mostra

1. Es pesa, amb 0,1 mg de precisió, entre 0,1 i 0,25 g de mostra seca i mòlta (P), segons el nivell esperat de matèria orgànica, en un matràs erlenmeyer de 250 mL.
2. S'hi afegeix amb pipeta 25 mL de solució 1N de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, que s'hi deixa en contacte el temps suficient perquè es mulli la mostra, i 50 mL de H_2SO_4 concentrat amb el dosificador automàtic. Paral·lelament, es fa una prova en blanc (sense mostra).
3. S'agiten els matrassos erlenmeyer i s'introdueixen dins una estufa a 150 °C durant 15 minuts. Passats els 15 minuts, es deixen refredar una estona i, a continuació, s'hi afegeix aigua destil·lada fins a 150 mL. Es remena la mescla i es deixa refredar.
4. Es traspasa tot el contingut de manera quantitativa en un matràs aforat de 250 mL amb l'ajut de l'aigua destil·lada i s'enrasa.

Valoració d'una alíquota

Es pipeteja 10 mL de la solució en un erlenmeyer de 100 mL i es valora l'excés de dicromat potàssic amb una solució 0,5N de sal de Mohr (utilitzant microbureta), després d'haver-hi afegit 5 gotes d'indicador difenilamina i 3 gotes de H_3PO_4 concentrat per facilitar la determinació del punt final. La volumetria per a cada prova es fa, com a mínim, per duplicat.

25.3. Càlculs

$$B \text{ mL sal Mohr} \cdot 0,5N \cdot f = 10 \text{ ml dicromat diluït} \cdot \frac{25 \text{ mL dicromat}}{250 \text{ mL dicromat diluït}} \cdot 1N \cdot 1$$

$$C_{\text{ox}} (\%) = \frac{[(B - A) \cdot 0,5 \cdot f] \text{ meq dicromat}}{10 \text{ mL solució}} \cdot \frac{250 \text{ mL solució}}{P \text{ g}} \cdot \frac{1 \text{ meq C}}{1 \text{ meq C dicromat}} \cdot \frac{3 \text{ mg C}}{1 \text{ meq C}} \cdot \frac{1 \text{ g C}}{1.000 \text{ mg C}} \cdot 100$$

$$C_{\text{ox}} (\%) = \frac{(B - A) \cdot f \cdot 3,75}{P}$$

On:

P = pes de mostra seca;

A = volum de solució 0,5N de sal de Mohr gastat per valorar l'excés de dicromat dels 10 mL de solució de la mostra;

B = volum de la mateixa solució gastat en la valoració del dicromat contingut en els 10 mL de solució de la prova en blanc;

C_{ox} = percentatge de carboni orgànic oxidable total;

f = factor de normalització de la solució de sal de Mohr [$f = 2/B$].

25.4. Comentaris

Els resultats d'aquesta determinació estan molt influenciats per les condicions de treball (temperatura, quantitat de mostra, concentració dels reactius) i pel tipus de matèria orgànica (més o menys aromàtica, grau d'oxidació, proporció C/H...), i no sempre el valor trobat coincideix amb el real, per la qual cosa moltes vegades s'apliquen factors de correcció (1,15, 1,30 o 1,17, segons diferents autors) (Gallardo, 1975; Saña, 1985).

Independentment del factor de correcció del resultat apareix també el factor emprat per relacionar MOT amb el carboni oxidable, factor que alguna vegada s'ha intentat relacionar amb l'estabilitat. Al laboratori de l'ESAB s'ha utilitzat des de sempre el factor 2 (Zucconi i De Bertoldi, 1987) per transformar el contingut en MOT en C per determinar la relació C/N, tot i que en la bibliografia es poden trobar altres propostes; en el cas de sòls s'utilitza sempre el factor 1,724 (Walkley-Black, 1934, 1947).

En la **figura 25.1** es dóna la correlació entre C i MOT de sòls i mostres de compost segons diferents mètodes; les dades corresponents a sòl són de Miyazawa *et al.* (2000) i les de mostres de compost, d'Iglesias i Pérez (1992).

La **taula 25.1** mostra la variabilitat del contingut en MOT i C_{ox} de 10 mostres preses en una mateixa pila de compostatge de RSU, així com la relació entre ambdós paràmetres; en la **taula 25.2**, Iglesias i Pérez (1992) presenten el valor d'aquest quocient per a un recull de mostres.

Taula 25.1. Contingut en MOT i carboni oxidable, i relació entre ells, de 10 mostres de compost de RSU agafades d'una mateixa pila (informe de conveni ESAB-SMADB, 1990)

	% MOT	% C_{ox}	% MOT / % C_{ox}
A1	65,88	29,57	2,23
A2	64,69	30,01	2,16
A3	63,74	31,57	2,02
A4	54,52	25,84	2,11

.../...

	% MOT	% C _{ox}	% MOT / % C _{ox}
A5	58,60	27,32	2,14
B1	54,90	27,02	2,03
B2	56,63	27,77	2,04
B3	63,82	31,77	2,01
B4	61,65	31,68	1,95
B5	60,38	30,24	2,00
Mitjana	60,48	29,28	2,07
Desv.	4,15	2,16	0,09
% CV	6,86	7,36	4,23

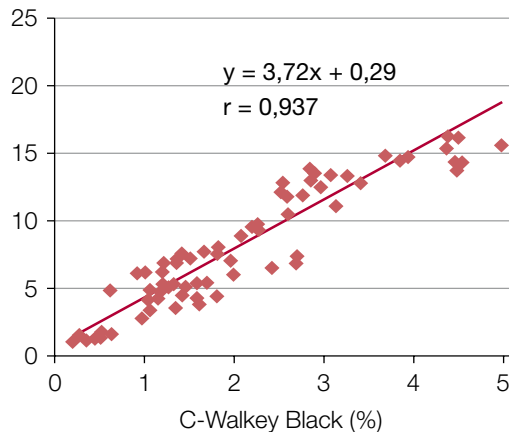
Taula 25.2. Relació entre el contingut en MOT i C_{ox} de mostres de compost de residus municipals (Iglesias i Pérez, 1992)

Mostres	n	MOT/C _{ox}	S	% CV
Compost RSU	28	1,859 (1,72-2,06)	± 0,103	5,54
Compost RSU	20	1,806 (1,73-1,93)	± 0,065	3,61
Compost RM Europa Central	19	1,838 (1,55-2,21)	± 0,182	9,91
Total mostres	67	1,837 (1,55-2,21)	± 0,123	6,70

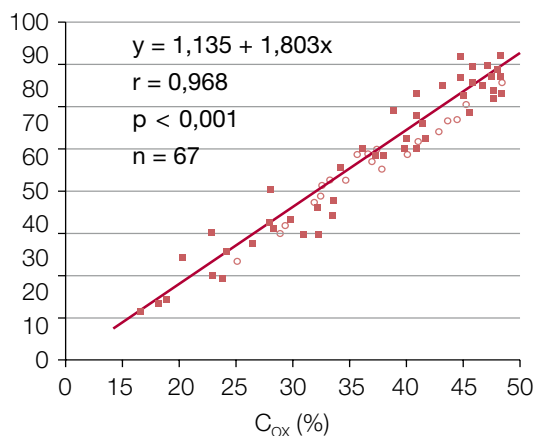
La determinació del C per oxidació via humida, a més a més de donar més treball que el mètode de determinació de la MOT, genera residus de laboratori contaminants (Claver *et al.*, 2003); això, juntament amb el fet que no sembla aportar molta més informació, fa que actualment no s'acostumi a utilitzar en anàlisi de rutina al laboratori de l'ESAB.

Figura 25.1. Correlació entre MOT i C (de sòls, a dalt, i de compost, a baix) segons mètodes diferents. (Miyazawa *et al.*, 2000; Iglesias i Pérez, 1992)

Pèrdua de massa a 300 °C (%)



MOT (%)



Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

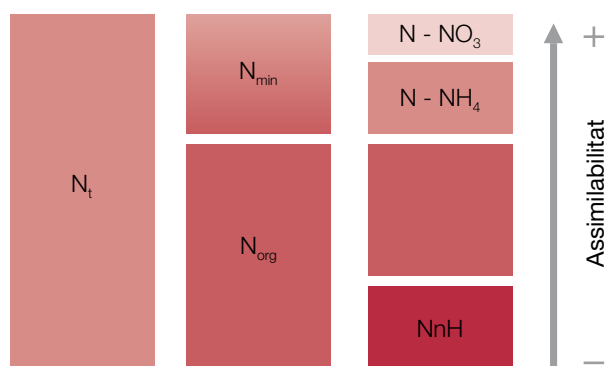
CHEFETZ *et al.*, 1998; GARCIA *et al.*, 1991; ZMORA-NAHUMA *et al.*, 2005; CHANYASAK i KUBOTA, 1981; HARTLIEBA *et al.*, 2001; CASTELLANOS i PRATT, 1981; NELSON i SOMMERS, 1975; SCHUMACHER, 2002; WU i MA, 2001.

26. Contingut en nitrogen orgànic i nitrogen orgànic no hidrolitzable

26.1. Introducció

La determinació del contingut en nitrogen d'un material orgànic, i de les altres diferents formes químiques en què es presenta el nitrogen (vegeu els apartats 11, 12, 13, 14 i 15), té una especial importància en la seva caracterització; està relacionat amb l'origen del material, amb el tractament rebut i amb el seu possible ús. Segons l'origen pot dur més o menys nitrogen, i aquest pot estar en forma orgànica o mineral (figura 26.1).

Figura 26.1. Diferents formes en què es pot trobar el nitrogen en un material orgànic



Segons el tractament rebut, el nitrogen pot transformar-se en formes més làbils o més estables i fins i tot pot haver-se perdut. En el compostatge de materials orgànics

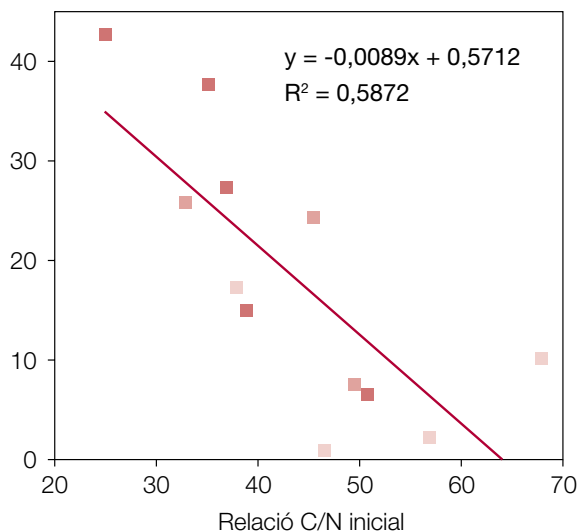
es pretén establir la matèria orgànica i, alhora, conservar al màxim el nitrogen inicial, per la qual cosa cal assegurar una barreja inicial equilibrada (en biopolímers i en la proporció C/N) (taula 26.1 i figura 26.2). Al llarg del procés de compostatge cal evitar les pèrdues de nitrogen, ja que el seu contingut és important en la valoració i l'ús del compost, i la seva pèrdua pot generar problemes ambientals importants.

Taula 26.1. Influència de la relació C/N inicial sobre la conservació del nitrogen (Gotaas, 1956)

Relació C/N inicial	% N conservat
20,0	61,2
20,5	51,9
22,0	85,2
30,0	99,5
65,0	99,5

Figura 26.2. Pèrdues de nitrogen durant el compostatge respecte a la relació C/N inicial (Michel et al., 2009)

Pèrdua de N (% respecte inici)



El mètode de determinació emprat en aquest manual transforma el nitrogen orgànic, contingut en la mostra seca i mòlta, en nitrogen mineral (sulfat amònic) durant la digestió Kjeldahl. La quantificació es pot fer per destil·lació del digerit i posterior valoració amb base forta, però el mètode seguit habitualment al laboratori de l'ESAB és la quantificació amb elèctrode selectiu d'amoniac. En aquest procediment, el nitrogen en forma amoniacal és desplaçat per una base forta a amoniac gas, al qual és permeable la membrana de l'elèctrode.

Un altre mètode per determinar el nitrogen és el mètode Dumas per combustió de la mostra (menys de 0,1 g) a elevada temperatura i en un corrent de CO_2 , analitzant després el N_2 format amb un detector adequat.

26.2. Procediment

26.2.1. Digestió (mètode Kjeldahl) de la mostra seca

Per al nitrogen orgànic, es pesen, amb una precisió de 0,1 mg, entre 0,35 i 0,50 g de mostra seca i mòlta (P), segons la riquesa esperada (si el percentatge se suposa inferior a l'1%, aleshores cal augmentar la quantitat de mostra fins a 1 g).

Es fa un petit paquet amb una mica de paper de filtre (o amb paper de fumar sense la part engomada), que contingui la mostra i 1,5 g de catalitzador. S'introdueix el paquet en un matràs Kjeldahl de 100 mL, s'hi afegeixen 7 mL de H_2SO_4 concentrat i es remena el tub fins que es mulli tota la mostra (circumstància que es dona per feta quan el paper de filtre comença a ser destruït per l'àcid). Es fa una prova en blanc (el paquet només conté el catalitzador) en les mateixes condicions.

Es posen a digerir els tubs de Kjeldahl al digestor, durant una hora, a la temperatura de 400 °C i amb la tapa connectada a la trompa de buit. També s'engega la campana extractora.

La mostra es digereix fins que la solució sigui transparent, amb una certa tonalitat blavosa (prop d'una hora, a partir del moment en què la temperatura arriba als 400 °C), moment en el qual es dona per acabat l'atac. Es treuen els tubs Kjeldahl del bloc del digestor i es deixen refredar, mantenint l'extractor i el buit encesos una estona més, fins que deixi de fumejar.

Quan els tubs han recuperat la temperatura ambient s'hi afegeixen amb precaució uns mil·lilitres d'aigua destil·lada (de 15 a 20 mL). Es remena i es deixa refredar de nou i es traspasa quantitativament tot el líquid contingut en el tub de Kjeldahl (filtrant-lo, si cal) a un matràs aforat de 100 mL; es fan els rentats oportuns, que es recullen amb el digerit, i finalment s'enrasa el matràs amb aigua destil·lada.

26.2.2. Quantificació del nitrogen amb l'elèctrode selectiu d'amoníac

Funcionament i posada en marxa de l'elèctrode

En l'elèctrode, la solució de lectura (solució problema) està separada de la solució interna per una membrana de plàstic permeable al gas amoníac (NH_3). Abans de fer-lo funcionar, cal deixar-lo muntat la nit abans en una solució 0,1 M de NH_4Cl .

Entre mitja hora i una hora abans de començar a fer les determinacions, cal estabilitzar l'elèctrode deixant-lo en contacte amb una solució patró de 2 ppm de N i 2,6 mL de NaOH 40%.

Després, mentre no es fa servir (quan realment no s'utilitza), ha d'estar en remull en la solució 0,1 M de NH_4Cl . Durant la determinació, entre mostra i mostra, no cal posar l'elèctrode en contacte amb la solució 0,1 M de NH_4Cl . Si el període ha de ser molt llarg, s'ha de desmuntar, buidant la solució interna.

Preparació de la solució de lectura de les mostres

Amb una pipeta es traspassen 10 mL de la mostra digerida a un tub de Nessler de 50 mL, que es rasarà amb aigua destil·lada. Això es l'anomenada solució de lectura.

S'ha de tenir en compte la concentració en ió amoni esperada de les mostres. Si el nivell és molt baix, cal fer-hi servir aigua desionitzada, perquè la destil·lada en conté petites quantitats.

La concentració de sals que en resultarà en el moment de lectura no pot ser superior a 1 M. Aquesta concentració de sals es calcula de la manera següent:

a = volum de H_2SO_4 concentrat (18 M) en la digestió de la mostra (7 mL);

b = volum de digerit un cop enrasat (100 mL);

c = volum de digerit utilitzat per preparar la solució de lectura (10 mL);

d = volum de solució de lectura (50 mL);

e = volum de solució del 40% de NaOH (10 M) que s'hi afegeix en el moment de la determinació (2,6 mL).

$$\text{Concentració salina} = \left[\frac{a \cdot 18}{b} \cdot \frac{c}{d} \right] + \left[\frac{e \cdot 10}{d} \right]$$

La concentració iònica que representa el catalitzador no es té en compte. El segon terme (el de la base) ha de ser, com a mínim, el doble del primer terme (el de l'àcid) per tal d'aconseguir el desplaçament de l'ió amoni a amoníac.

Preparació de la solució de lectura dels patrons

La recta patró ideal és la constituïda amb els patrons de 2, 5, 10, 20, 50 i 100 mg L⁻¹ de nitrogen. La preparació d'aquests patrons es fa a partir d'una solució mare de 1.000 mg L⁻¹ de N (D₀). A partir d'aquesta solució es preparen dues solucions patrons intermèdies:

D₁: solució intermèdia de 50 mg L⁻¹: 10 mL de D₀ diluïts en 200 mL

D₂: solució intermèdia de 500 mg L⁻¹: 25 mL de D₀ diluïts en 50 mL

I a partir d'aquestes solucions intermèdies es preparen els patrons en tubs de Nessler de 50 mL segons s'indica a continuació:

2 mg L⁻¹ 2 mL de D₁ diluïts en 50 mL

5 mg L⁻¹ 5 mL de D₁ diluïts en 50 mL

10 mg L⁻¹ 10 mL de D₁ diluïts en 50 mL

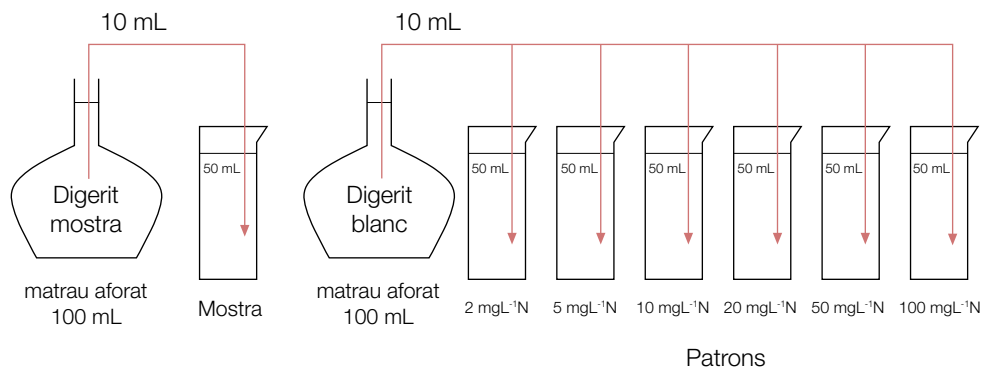
20 mg L⁻¹ 20 mL de D₁ diluïts en 50 mL

50 mg L⁻¹ 5 mL de D₂ diluïts en 50 mL

100 mg L⁻¹ 10 mL de D₂ diluïts en 50 mL

Abans d'entrasar els patrons, cal afegir 10 mL del digerit de la prova en blanc per igualar la força iònica (**figura 26.3**). Poden fer-se patrons més baixos (0,5 i 1 mg L⁻¹) si les mostres ho requereixen, però, en aquest cas, s'haurà d'utilitzar aigua desionitzada per fer les dilucions de les mostres i dels patrons. La lectura dels patrons s'ha de fer començant a llegir pel més baix i acabant pel més concentrat.

Figura 26.3. Preparació de les solucions de lectura (patrons i mostra) per a la seva quantificació amb elèctrode selectiu d'amoniac



Lectura dels patrons i de les mostres

En primer lloc, s'ha de fer la lectura dels patrons començant pel menys concentrat (2 ppm). Es traspasa tota la solució de lectura a un vas de precipitats de plàstic de 50 mL, ben net i sec, i seguidament s'hi introdueix l'elèctrode i es remena el líquid amb l'agitador magnètic. Llavors s'hi afegeixen 2,6 mL de la solució de NaOH 40% i es pren el valor un cop estabilitzat després d'haver-hi afegit la base.

Els patrons i les mostres han d'estar a la mateixa temperatura (una diferència d'1 °C implica un 2% d'error).

Per cada sèrie de 15 a 20 lectures de mostres s'ha de fer una nova tanda de patrons, que es llegeixen al començament de les sèries de mostres.

Entre la determinació d'una mostra i la de la següent, cal rentar l'elèctrode amb aigua destil·lada i eixugar-lo sense tocar la membrana. Cal tenir molta cura amb el maneig de l'elèctrode, ja que la membrana és molt sensible al fregament i a les turbulències.

26.3. Càlculs

Aquest elèctrode és, de fet, un elèctrode de pH i, per tant, les lectures són logarítmiques. El pendent de la recta patró ha de ser de 57 ± 3 , és a dir, si disminuïm 10 vegades la concentració de NH_3 , la diferència en mV ha de ser de 57 ± 3 .

A l'hora de trobar la concentració s'ha de tenir en compte que el valor del potencial està relacionat amb el logaritme de la concentració (figura 26.4). A partir del logaritme de la concentració de la mostra, es pot trobar la concentració en la recta.

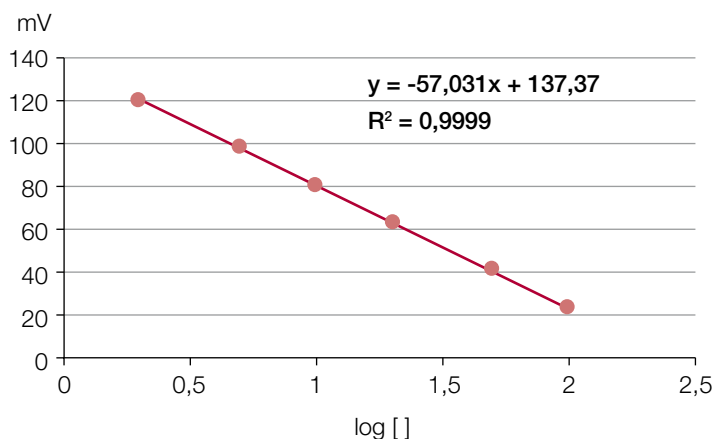
$$\frac{\text{mg N}}{\text{kg ms}} = \frac{X \text{ mg N}}{1.000 \text{ mL dis}} \cdot \frac{50 \text{ mL dis}}{10 \text{ mL dig}} \cdot \frac{100 \text{ mL dig}}{M \text{ g ms}} \cdot \frac{1.000 \text{ ms}}{1 \text{ kg ms}}$$

On:

X = concentració trobada en la recta de la solució de lectura;

M = grams de matèria seca posats a digerir (0,3-0,5 g).

Figura 26.4. Recta model de determinació de N



26.4. Taules de referència

En les **taules 26.2, 26.3 i 26.4** es donen els resultats de la determinació del contingut en nitrogen en mostres del procés de compostatge segons si la determinació es fa sobre mostra humida o sobre mostra seca. En aquest tipus de materials, les mostres humides són més difícils d'homogeneïtzar; també cal tenir en compte que en assecar la mostra es perd la majoria del nitrogen en forma amoniacal (**taules 26.3 i taula 26.4**), per la qual cosa en fer la determinació sobre la mostra seca i triturada els resultats presenten valors inferiors.

Taula 26.2. Repetibilitat del mètode de determinació de N aplicat a mostres humides, agafades en diferents punts del co-compostatge de RSU amb fangs de depuradora, expressant els resultats sms (Bonilla, 1983)

Dies compostatge	n	Mitjana	Desviació	% CV
40	9	1,34	0,21	14,19
55	10	1,67	0,37	22,36
132	9	1,71	0,47	27,60

Taula 26.3. Variacions en el contingut en N expressat sms segons es determini sobre mostra humida o seca (Chacó, 1997)

Tipus de material orgànic	% N determinat sobre mostra seca	% N determinat sobre mostra humida
Fem vaquí	1,89-2,19-2,33-1,70	2,44-2,41-2,43-2,40
Compost RSU	1,44-1,50-1,30-1,50	1,85-1,80-1,81-1,84
Fang depuradora	5,84-5,89-5,98-5,65	7,29-7,12-7,16-7,30

Taula 26.4. Variacions en el contingut en N expressat sms segons es determini sobre mostra humida o seca (Jordà, 1982)

Dies	Determinat smh		Determinat sms	
	% N	C/N	% N	C/N
1	1,28	19,0	1,03	23,5
8	1,28	15,8	1,07	18,9
23	1,33	15,1	0,95	21,1
51	1,83	11,3	1,22	16,9
83	2,00	10,3	1,23	16,6

La **taula 26.5** mostra la repetibilitat dels resultats de mostres procedents de diferents punts del procés. Les **taules 26.6** i **taula 26.7** mostren els diferents continguts en N i els valors de la relació C/N de mostres de compost de diferent època i

origen. La **taula 26.8** dóna el contingut en N de mostres de diferents instal·lacions i punts del procés.

Taula 26.5. Diferent repetibilitat de la determinació del contingut en nitrogen orgànic sobre mostres seques segons siguin mostres agafades a l'inici del procés de compostatge o als 60 dies (Campabadal, 1998)

	Inicial N _{org}	60 dies N _{org}
	1,85	2,92
	1,86	2,90
	2,49	2,91
	2,39	2,90
	2,11	3,03
	2,20	3,01
Mitjana	2,15	2,95
Desv. estànd.	0,27	0,06
% CV	12,33	2,00

Taula 26.6. Contingut en N orgànic (% N sms) de diferents grups de mostres de compost (informes de convenis ESAB-SMDB; Huerta *et al.*, 2006b)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FORM	159	2,15	0,45	20,89	0,87	3,52
Fangs	34	2,35	0,76	32,38	1,27	4,27
RSU 1 (abans 1996)	286	1,39	0,36	26,02	0,47	3,35
RSU 2 (després 1996)	45	1,59	0,40	24,96	0,81	2,96
Totes les mostres	524	1,70	0,57	33,54	0,47	4,27

Taula 26.7. Relació C/N de diferents grups de mostres de compost (informes de convenis ESAB-SMDB; Huerta *et al.*, 2006b)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FORM	159	12,59	2,64	20,99	7,30	21,20
Fangs	34	12,36	2,52	20,37	7,40	16,80
RSU 1 (abans 1996)	286	21,19	6,28	29,65	8,80	59,40
RSU 2 (després 1996)	45	17,07	4,78	27,98	9,90	28,10
Totes les mostres	524	17,65	6,52	36,91	7,30	59,40

Taula 26.8. Contingut en N orgànic (% N sms) de mostres agafades en diferents punts del procés de compostatge de FORM + RV de diferents plantes de Catalunya

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FO	19	2,66	0,61	22,93	3,89	1,78
RVT	17	1,00	0,19	19,00	1,38	0,73
Inici descomposició	22	1,91	0,39	20,42	2,62	1,31
Inici maduració	12	2,00	0,29	14,50	2,27	1,35
Compost	26	2,07	0,36	17,39	2,51	1,43

Dades del projecte «Evaluación y mejora de las tecnologías de tratamiento de residuos municipales en Catalunya». Ministeri de Medi Ambient, Exp. A291/2007/1-02.03.

Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

BARRINGTON *et al.*, 2002; MICHEL *et al.*, 2009.

27. Macro i micronutrients

27.1. Introducció

Els diferents tipus de compost i altres materials orgànics que pot interessar caracteritzar es valoren sobretot pel seu contingut en MO, per la seva estabilitat i pel contingut en nitrogen (fitonutrient important tant per la seva influència en la producció vegetal com pel seu paper en problemes de contaminació); òbviament el contingut en contaminants, orgànics o inorgànics, és també important en aquesta caracterització. En canvi, el contingut en determinats nutrients principals o secundaris no s'acostuma a valorar de la mateixa manera. La seva concentració és molt diferent segons l'origen dels materials i pot variar al llarg dels processos de tractament (concentració relativa per la disminució del contingut en matèria orgànica, pèrdua per rentat si es presenten en formes solubles...); d'altra banda, molts nutrients presenten uns continguts totals molt diferents dels continguts que realment són solubles i assimilables pels vegetals. En aquest apartat s'inclou bàsicament la determinació dels continguts totals, però es dediquen uns comentaris a la determinació de les formes de P més solubles.

27.2. Metodologia

La determinació de macro i micronutrients s'inicia amb la destrucció de la matèria orgànica de la mostra seca i triturada (**vegeu els apartats 20, 21, 22 i 23**) per calcinació en condicions controlades, seguida de la dissolució àcida de les cendres. Al laboratori de l'ESAB s'ha utilitzat per raons històriques la determinació dels components minerals de les mostres de compost i altres materials orgànics amb aquesta metodologia (**vegeu l'apartat 29**).

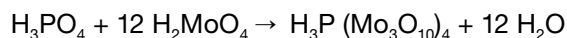
En un gresol (prèviament rentat amb nítric, calcinat i tarat) es posen 1,5 g ($\pm 0,0001$) de mostra seca i triturada; es precalcina a 200-300 °C i, posteriorment, es calcina a 470 °C durant un mínim de 4 hores. Les cendres resultants de la calcinació són atacades amb 15 mL de HNO₃ 3N, en calent i amb l'ajut d'un bany de sorra i sota campana extractora, durant una hora. Es fa per duplicat.

Seguidament, i després de deixar refredar els dos gresols, es filtra amb paper de filtre sense cendres a un matràs aforat¹⁶ de 25 mL i de 100 mL respectivament. Per fer aquesta operació s'utilitza una vareta de vidre prima i s'hi va afegint aigua bidestil·lada per recuperar tots els components solubles i enrasar els matrassos. Les dissolucions resultants es guarden en vials de plàstic. D'aquestes dissolucions caldrà preparar diferents dilucions per determinar els macro i micronutrients segons l'origen i el tipus de material que s'hagi d'analitzar (vegeu l'apartat 28).

27.2.1. Determinació del contingut en P total

Es determina sobre la dilució adequada de les cendres per la colorimetria del mètode Bray-Kurtz (1945). És una colorimetria emprada en la quantificació del P extret en l'anàlisi de sòls àcids que resulta senzilla d'aplicar i presenta bona repetibilitat.

Es basa a mesurar el color que adquireixen els productes de reducció dels anomenats heteropoliàcids de P; aquests es formen mitjançant la coordinació de grups molibdat, que en medi àcid substitueixen els àtoms d'oxigen del grup fosfat. Aquests compostos presenten una coloració groga molt intensa però amb certs inconvenients per a la seva determinació colorimètrica; per això s'utilitza més el seu producte de reducció (blau de molibdè) que té una gran absorbància molar, però obliga a treballar en condicions molt controlades; s'utilitza com a reductor l'àcid 1,2,4-aminonaftol sulfònic en medi àcid.



16. Tot el material de vidre (matrassos, varettes, etc.), ceràmica (gresols) i plàstic (embuts, puntes de pipeta, vials, etc.) es renta prèviament en un bany d'àcid nítric (5% V/V), durant un mínim de 8 hores i, posteriorment, es renta amb aigua bidestil·lada.

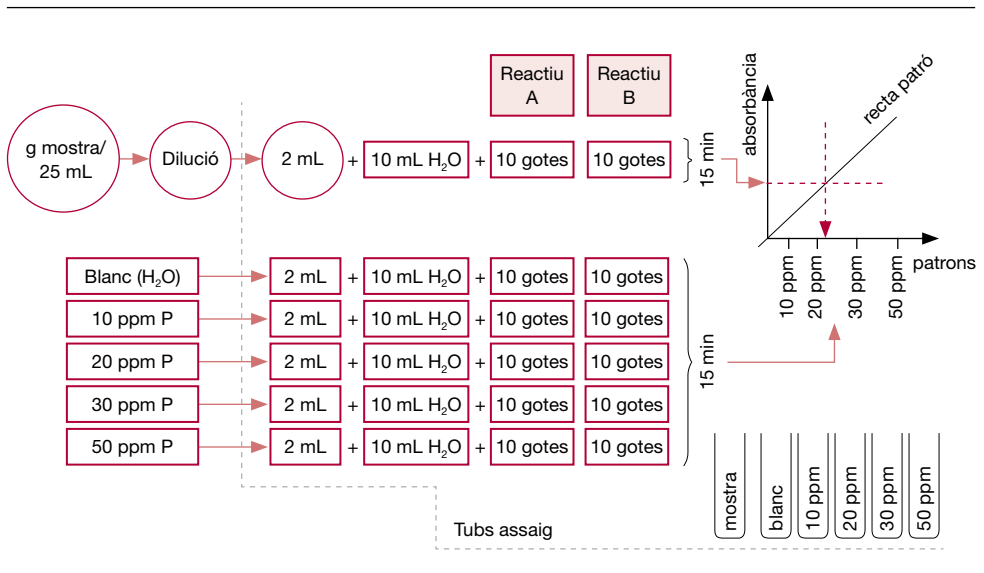
Reactius

- Reactiu A: es dissolen 10 g de $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ en 85 mL d'aigua destil·lada. Aquesta solució s'ha de barrejar amb una altra solució formada per 16 mL d'aigua destil·lada i 170 mL de HCl concentrat.
- Reactiu B: es barregen 2,5 g de l'àcid orgànic 1,2,4-aminonaftol sulfònic amb 5 g de Na_2SO_3 i 146,25 g de NaHSO_3 , i es molen finament. Es dissolen 3 g d'aquesta barreja en 50 mL d'aigua destil·lada calenta (s'ha de fer en aquest ordre).
- Solucions patrons de 10, 20, 50 i 100 mg kg^{-1} de P_2O_5 .

Procediment

Amb una pipeta es dipositen dins de tubs d'assaig, com a mínim per duplicat, 2 mL de la dilució escollida. Al mateix temps, també amb pipeta, es posen sobre 5 tubs d'assaig 2 mL de solució patró de 0 (blanc d'aigua destil·lada), i 10, 20, 50 i 100 mg kg^{-1} de P_2O_5 , respectivament (**figura 27.1**). S'afegeixen successivament, tant a les mostres com als patrons i al blanc, 10 mL d'aigua destil·lada, 10 gotes del reactiu A

Figura 27.1. Preparació de les solucions de mostres i patrons per a la lectura de la intensitat de color blau en l'espectrefotòmetre



i 10 més del reactiu B (o l'equivalent de 10 gotes, que són 0,5 mL). Es remena amb l'agitador cadascun dels tubs d'assaig per assegurar una homogeneïtzació de tots els líquids. Es deixa reposar uns 15 minuts, a partir dels quals ja es pot llegir la intensitat de color (absorbància o densitat òptica) en l'espectrofotòmetre. Cal llegir l'absorbància a 660 nm, dels patrons i de les mostres, després d'haver ajustat a zero amb el blanc.

Càlculs

A partir de la recta de regressió lineal obtinguda amb les concentracions i absorbàncies dels patrons, es troba la concentració de la dilució utilitzada per fer la determinació; amb aquest valor, i tenint en compte les dilucions efectuades i el pes de mostra, es calcula el contingut en P o P_2O_5 de la mostra.

27.2.2. Determinació dels continguts en Na i K totals

En la dilució adequada, preparada a partir de les solucions obtingudes de les cendres, es determina el contingut en Na i K per fotometria de flama; es basa en la mesura de la radiació lluminosa que emeten aquests elements quan la dissolució que els conté es volatiliza sobre una flama. Cal preparar patrons d'aquests elements en el rang aconsellat per al fotòmetre emprat. Les lectures de dissolucions de les mostres i dels patrons són directes. Caldrà fer la recta de regressió entre la concentració dels patrons i la seva emissió per fer els càlculs a partir de la lectura de les mostres, el pes de mostra i els factors de dilució emprats.

27.2.3. Determinació dels continguts en Ca i Mg totals

En la dilució adient es determina el contingut en Ca i Mg per espectrometria d'absorció atòmica (vegeu l'apartat 28). Els patrons es preparen conjuntament per a calci i magnesi a partir de les solucions mare de 1.000 mg L^{-1} de Ca i Mg (taula taula 27.1) i afegint-hi clorur d'estronci per evitar interferències.

Taula 27.1. Preparació de patrons de Ca i Mg

Conc. patró						
P1	1	mg L ⁻¹ Ca	→	50	μL Ca	en 50 mL
	1	mg L ⁻¹ Mg	→	50	μL Mg	
P2	10	mg L ⁻¹ Ca	→	500	μL Ca	en 50 mL
	5	mg L ⁻¹ Mg	→	250	μL Mg	
P3	25	mg L ⁻¹ Ca	→	1.250	μL Ca	en 50 mL
	10	mg L ⁻¹ Mg	→	500	μL Mg	
P4	50	mg L ⁻¹ Ca	→	2,5	mL Ca	en 50 mL
	20	mg L ⁻¹ Mg	→	1	mL Mg	

Cal afegir a mostres i patrons 100 μL SrCl₂ 36% per cada 10 mL

27.3. Comentaris i taules de referència

La **taula 27.2** dona els continguts de components minerals de diferents mostres de compost de RSU agafades en la mateixa pila per, així, veure'n també la variabilitat. En la **figura 27.2** s'exposen els continguts de N, P i K de grups de mostres de compost de diferent origen.

Taula 27.2. Contingut en components minerals totals de 10 mostres agafades de la mateixa pila de compostatge de RSU (informe de conveni ESAB-SMADB, 1990)

	P	K	% Mg	Ca	Na	Fe
A1	0,37	0,56	0,36	3,71	0,63	1,03
A2	0,39	0,59	0,35	3,50	0,55	0,73
A3	0,51	0,64	0,35	4,44	0,63	0,82
A4	0,50	0,62	0,43	4,59	0,54	1,46
A5	0,41	0,60	0,39	4,10	0,59	1,10
B1	0,56	0,66	0,41	4,43	0,56	1,46
B2	0,48	0,69	0,45	4,72	0,62	1,30

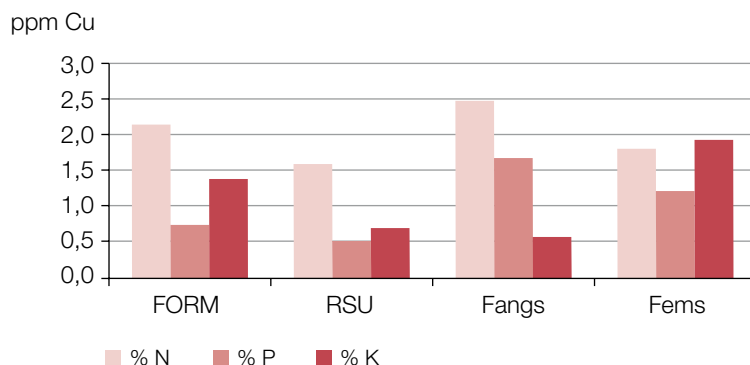
.../...

	P	K	% Mg	Ca	Na	Fe
B3	0,41	0,62	0,39	3,89	0,58	1,09
B4	0,44	0,59	0,38	4,17	0,57	1,03
B5	0,42	0,58	0,39	4,03	0,56	1,03
Mitjana	0,45	0,62	0,39	4,16	0,58	1,11
Desv.	0,06	0,04	0,03	0,39	0,03	0,24
% CV	13,55	6,42	8,46	9,42	5,72	21,94

Mostres A: cada mostra està constituïda per 12 submostres extretes a 30-60 cm de fondària, de forma intermitent i procurant repartir les submostres al llarg de tota la pila.

Mostres B: en aquest cas es va obrir la pila amb una pala per diversos punts i cada mostra correspon a 12 submostres tretes de la part interna de la pila que va quedar al descobert.

Figura 27.2. Contingut en N, P i K de grups de compost de diferent origen (Huerta et al., 2006b)



Les **taules 27.3 i 27.4** donen el contingut en macronutrients i nutrients secundaris de FORM (material inicial) i del compost obtingut amb FORM i RV, destacant l'increment de Ca en les mostres de compost.

El contingut total dels diferents components minerals no es correspon amb el que pot ser assimilat per les plantes. Hi ha moltes metodologies que intenten determinar al laboratori la fracció que en realitat poden absorbir els vegetals; és difícil perquè no tots els vegetals absorbeixen els nutrients al mateix ritme i, a més a

Taula 27.3. Contingut en macronutrients i nutrients secundaris de mostres de FORM (MIMAM-ESAB-ARC, 2007) (López *et al.*, 2010a)

	N _{org}	P	% sms			
			K	Na	Ca	Mg
N	24	20	21	19	19	19
Mitjana	2,56	0,48	1,02	0,67	3,34	0,23
S	0,59	0,24	0,42	0,25	2,42	0,17
Percentil 2,5%	1,75	0,26	0,28	0,49	0,67	0,08
Percentil 97,5%	3,86	1,06	1,79	1,26	8,90	0,59

Taula 27.4. Contingut en macronutrients i nutrients secundaris de mostres de compost de FORM + RV (MIMAM-ESAB-ARC, 2007; Huerta *et al.*, 2010c)

	N _{org}	P	% sms			
			K	Na	Ca	Mg
N	26	26	25	25	26	26
Mitjana	2,07	0,58	1,22	0,69	6,16	0,49
S	0,32	0,23	0,50	0,30	2,30	0,16
Percentil 2,5%	1,43	0,23	0,62	0,24	2,15	0,25
Percentil 97,5%	2,51	1,10	3,32	1,30	11,26	0,86

Taula 27.5. Contingut en P total i assimilable i altres característiques de mostres de materials orgànics (Giró, 1987)

	pH	% Ca	% MO	P _{ass} (mg kg ⁻¹)					P _T (mg kg ⁻¹)	
				A _I	A _{II}	AA 7	AA 4,5	Resina	Cendres + HCl	Citrat amònic
Compost RSU	8,5	3,0	49,3	254	580	143	1.313	2.143	7.168	7.190
Compost RSU + fangs	7,2	4,4	33,1	533	1.222	750	5.420	5.762	12.535	12.382

.../...

	pH	% Ca	% MO	P _{ass} (mg kg ⁻¹)					P _T (mg kg ⁻¹)	
				A _I	A _{II}	AA 7	AA 4,5	Resina	Cendres + HCl	Citrat amònic
Escorça	6,7	2,4	65,7	193	520	158	400	575	1.113	1.100
Escorça compostada	6,4	2,5	53,2	193	435	248	356	978	933	1.245
Barreja fang + escorça	6,4	3,1	44,1	1.957	3.232	2.972	4.975	7.070	10.297	10.652
Compost fang + escorça	6,6	2,8	34,8	622	1.098	1.042	4.074	5.192	6.662	7.609

A_I: extracció aigua 1/60; A_{II}: triple extracció aigua 1/60; AA: extracció 1/25 acetat amònic a pH 7 i 4,5; resina d'intercanvi aniònica.

més, el tipus de sòl i les condicions de cultiu, a més de la climatologia, també hi tenen influència. En la **taula 27.5** es dona el contingut en P total i extractable (Giró, 1987) d'algunes mostres de materials orgànics, i en la **taula 27.6**, el canvi en el contingut en fòsfor soluble al llarg del compostatge de RSU (Morel *et al.*, 1986).

Taula 27.6. Variació del pH i del contingut en fòsfor soluble de mostres agafades al llarg del compostatge de RSU (Morel *et al.*, 1986)

Dies	pH	mg kg ⁻¹ P sol
4	7,1	490
60	7,6	400
120	8,0	340
180	8,0	270
240	8,0	290

28. Metalls pesants totals

28.1. Introducció

La possibilitat d'utilitzar diferents materials orgànics, principalment compost, per millorar la conservació i fertilitat dels sòls, així com la producció vegetal, sempre ha tingut en compte el perill que representen els metalls pesants presents en molts d'aquest productes. Per aquest motiu, el contingut en metalls del compost està present en totes les regulacions i normatives, així com en les diferents metodologies de control de la qualitat.

Totes les metodologies emprades requereixen, a banda d'assegurar la representativitat mitjançant una bona presa de mostres i un pretractament adequat (**vegeu els apartats 2, 20, 21 i 22**), la destrucció de la matèria orgànica present en la mostra per afavorir la dissolució dels components minerals. Aquesta destrucció es pot aconseguir per digestió humida emprant diferents barreges d'àcids forts i oxidants, o bé per calcinació, seguida de la dissolució de les cendres en calent i amb àcids forts. S'han descrit mètodes molt diferents i en tots apareix, en un grau més o menys alt, el problema que els silicats no acaben de dissoldre's; per aconseguir-ho caldria aplicar àcid fluorhídric, el qual no és aconsellable d'utilitzar en anàlisi de rutina a causa de la seva corrosió i la dificultat per manejar-lo (Hseu, 2004).

Al laboratori de l'ESAB es va iniciar la caracterització dels metalls pesants de mostres de materials orgànics abans del 1985 (Saña, 1985), utilitzant la metodologia més senzilla de maneig segons el tipus de laboratori de què es disposava en aquell moment. En aquest sentit, es va optar per la calcinació de la mostra, seguida d'una dissolució en calent de les cendres amb àcid nítric. Al llarg del temps es va seguir utilitzant aquest mètode per l'experiència obtinguda i, sobretot, per facilitar la comparació amb el banc de dades recopilat (Huerta *et al.*, 2003).

28.2. Procediment

S'inicia amb la calcinació en condicions controlades de la mostra seca i triturada (vegeu els apartats 20, 21, 22 i 23). Les cendres contingudes en el gresol resultant de la calcinació d'1,5 g ($\pm 0,0001$) de mostra a 470 °C durant un mínim de 4 hores són atacades amb ajut de placa calefactora de sorra i sota campana extractora amb 15 mL de HNO_3 3N durant aproximadament una hora, fins que en queda, aproximadament, la meitat del volum.

Seguidament, i després de deixar refredar el gresol, se'n filtra el contingut a un matràs aforat¹⁷ de 25 mL a través d'un paper de filtre sense cendres. Per fer aquesta operació s'utilitza una vareta de vidre prima. Es renta el contingut del gresol amb aigua bidestil·lada i s'acaba d'enrasar el matràs també amb aigua bidestil·lada. La dissolució resultant, enrasada a 25 mL, es guarda en un vial de plàstic i es numera com a D_0 i segons el número de mostra.

A partir de la D_0 es quantifica el contingut total en Fe, Cu, Mn, Cr, Zn, Ni, Pb, Cd, Ca i Mg per espectrofotometria d'absorció atòmica, fent un calibrat previ amb patrons per a cadascun dels elements que s'han d'analitzar.

No tots es poden quantificar a partir de la D_0 , depenent de la concentració d'aquests elements en la mostra, i cal fer un banc de dilucions, sempre utilitzant aigua bidestil·lada. Normalment, amb les mostres de compost de FORM i RSU n'hi ha prou amb les dilucions que es plantegen en la **figura 28.2**, on es proposa quins volums agafar, el factor de dilució que representen i els elements que hipotèticament es poden determinar amb cada dilució.

A partir de cada solució mare de 1.000 mg L^{-1} de Fe, Cu, Ni, Cr, Pb i Mn es fan patrons conjunts de 0,5, 1, 2, 4 i 5 mg L^{-1} , respectivament, utilitzant matrassos de 100 mL i pipetes automàtiques graduables de 50 fins a 500 μL , segons mostra la **taula 28.1**. Abans d'enrasar cada matràs s'hi ha d'afegir 1 mL de HNO_3 concentrat.

A partir de cada solució mare de 1.000 mg L^{-1} de Zn i Cd es fan patrons conjunts de 0,1, 0,2, 0,5, 1 i 2 mg L^{-1} , respectivament, utilitzant matrassos de 200 i 100 mL

17. Tot el material de vidre (matrassos, varettes, etc.), ceràmica (gresols) i plàstic (embuts, puntes de pipeta, vials, etc.) es renta prèviament en un bany d'àcid nítric (5% V/V), durant un mínim de 8 hores i posteriorment es renta amb aigua bidestil·lada.

i pipetes automàtiques graduables de 20 fins a 200 μL , segons mostra la **figura 28.2**. Abans d'enrasar el matrassos, s'hi ha d'afegir 1 mL de HNO_3 concentrat.

Figura 28.1. Dissolució de les cendres. Filtrat (D_0) i dilucions a partir de la D_0

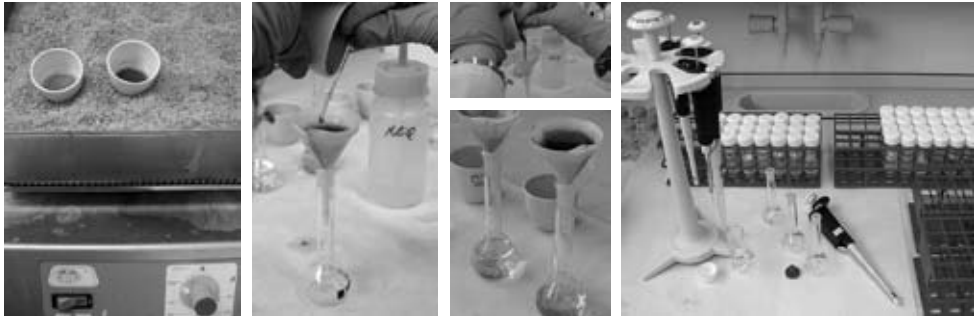
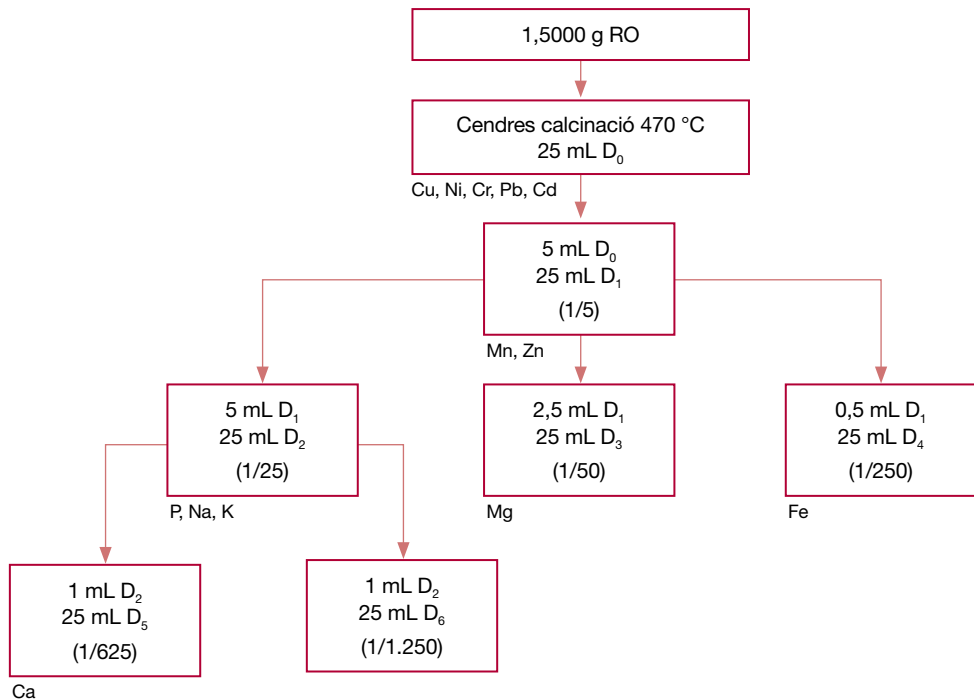
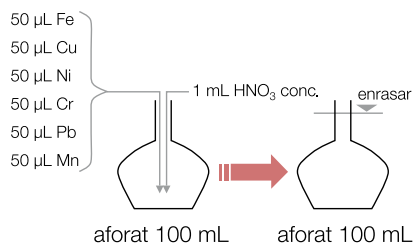


Figura 28.2. Dilucions plantejades a partir de la dissolució de les cendres (D_0), factor de dilució i elements que hipotèticament es poden llegir amb cada dilució



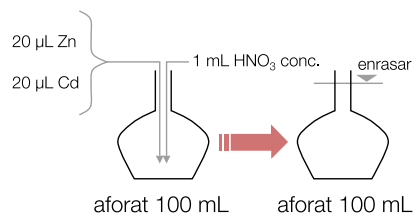
Taula 28.1. Preparació dels patrons conjunts de Fe, Cu, Ni, Cr, Pb i Mn i il·lustració gràfica de la preparació del patró de 0,5 ppm com a exemple

Conc. patró	Pipeta	Matràs
0,5 mg L ⁻¹	→ 50 μL de sol. mare en 100 mL	
1 mg L ⁻¹	→ 100 μL de sol. mare en 100 mL	
2 mg L ⁻¹	→ 200 μL de sol. mare en 100 mL	
4 mg L ⁻¹	→ 400 μL de sol. mare en 100 mL	
5 mg L ⁻¹	→ 500 μL de sol. mare en 100 mL	



Taula 28.2. Preparació dels patrons conjunts de Zn i Cd i il·lustració gràfica de la preparació del patró de 0,1 ppm com a exemple

Conc. patró	Pipeta	Matràs
0,1 mg L ⁻¹	→ 20 μL de sol. mare en 200 mL	
0,2 mg L ⁻¹	→ 40 μL de sol. mare en 200 mL	
0,5 mg L ⁻¹	→ 50 μL de sol. mare en 100 mL	
1 mg L ⁻¹	→ 100 μL de sol. mare en 100 mL	
2 mg L ⁻¹	→ 200 μL de sol. mare en 100 mL	



Fetes les D_0 , les dilucions i els patrons, es procedeix a la lectura amb l'espectròmetre d'absorció atòmica (figura 28.3).

Figura 28.3. Espectròmetre d'absorció atòmica i lectura de les mostres i els patrons



28.3. Càlculs

A partir de la lectura de l'espectròmetre,

per a mostres sòlides:

$$\frac{\text{mg M}}{\text{kg ms}} = \frac{\text{R mg M}}{1.000 \text{ mL } D_x} \cdot \frac{1}{\text{FD}_x} \cdot \frac{25}{\text{X g ms}} \cdot \frac{1.000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}$$

per a mostres líquides:

$$\frac{\text{mg M}}{\text{L}} = \frac{\text{R mg M}}{1.000 \text{ mL } D_x} \cdot \frac{1}{\text{FD}_x} \cdot \frac{25}{\text{X g ms}} \cdot \frac{\text{S g ms}}{1 \text{ kg}}$$

On:

R = concentració en dilució llegida;

D_x = dilució;

FD_x = factor de dilució segons la **figura 28.2**;

X = g de ms posats a calcinar;

S = g de ms per litre (en líquids).

En la **taula 28.3** es mostra la variabilitat del contingut en macro i micronutrients i metalls pesants de 10 mostres diferents agafades sobre una mateixa pila de compostatge de RSU sense recollida selectiva (Gavà-Viladecans) l'any 1990.

Taula 28.3. Variabilitat del contingut en components minerals, determinats per duplicat, en 10 mostres preses en una mateixa pila de compostatge de RSU (informe de conveni ESAB-SMADB, 1990)

	Mn	Zn	Cu	mg kg ⁻¹			
				Ni	Cr	Pb	Cd
A1	135	691	696	74	107	449	4
A2	120	794	635	86	119	608	4
A3	136	929	1.348	78	108	502	5

.../...

	Mn	Zn	Cu	mg kg ⁻¹ Ni	Cr	Pb	Cd
A4	243	1.104	731	182	137	924	8
A5	140	820	695	101	110	817	6
B1	257	550	688	84	126	807	5
B2	255	1.095	686	89	119	856	5
B3	163	1.228	1.299	67	99	953	4
B4	163	993	787	73	109	977	4
B5	172	976	775	73	109	996	6
Mitjana	178,40	918,00	834,00	90,70	114,30	788,90	5,10
desv.	53,02	206,31	262,02	33,57	11,05	199,90	1,29
% CV	29,72	22,47	31,42	37,01	9,66	25,34	25,23

Mostres A: cada mostra està constituïda per 12 submostres extretes a 30-60 cm de fondària, de forma intermitent i procurant repartir les submostres al llarg de tota la pila.

Mostres B: en aquest cas es va obrir la pila amb una gran pala per diversos punts i cada mostra correspon a 12 submostres tretes de la part interna de la pila que va quedar al descobert.

28.4. Comentaris

28.4.1. Informació relacionada amb metodologia

A part d'assegurar la representativitat de la mostra, com en qualsevol de les altres determinacions, també cal controlar el sistema de mòlta emprat per evitar problemes de contaminació de la mostra (**vegeu l'apartat 22**), a banda de les condicions emprades per solubilitzar els components minerals. En la metodologia utilitzada en aquest document la mostra rep un tractament tèrmic per destruir la part orgànica de la mostra seguit de la dissolució adequada de les cendres obtingudes. Cal controlar la temperatura d'aquest tractament per evitar errors a causa de pèrdues per volatilització o per canvis de solubilitat. En les **taules 28.4 i 28.5** es donen dos exemples de com influeix la temperatura de calcinació en la determinació del contingut en metalls.

Taula 28.4. Efecte de la temperatura de calcinació en el contingut en metalls de mostres de compost de RSU (Marín i Martínez, 1998)

		n	Mín.	Màx.	Mitjana	S	% CV
% MO sms	475 °C	10	56,27	57,75	57,05	0,43	0,75
	560 °C	10	57,47	58,68	58,19	0,35	0,60
	900 °C	10	60,71	62,43	61,71	0,52	0,84
Fe, mg kg ⁻¹ sms	475 °C	10	8.100	10.649	9.714b	702	7,23
	560 °C	10	8.875	11.369	10.290b	726	7,06
	900 °C	10	5.829	7.625	6.819a	503	7,38
Cu, mg kg ⁻¹ sms	475 °C	10	532	642	603b	36	5,97
	560 °C	10	556	669	637c	32	5,02
	900 °C	10	212	261	230a	17	7,39
Mn, mg kg ⁻¹ sms	475 °C	10	89	135	106a	14	13,21
	560 °C	10	105	143	129b	12	9,30
	900 °C	10	99	134	120b	12	10,00
Pb, mg kg ⁻¹ sms	475 °C	10	547	650	590b	38	6,44
	560 °C	10	459	641	582b	50	8,59
	900 °C	10	30	63	45a	9	20,00
Zn, mg kg ⁻¹ sms	475 °C	10	1.081	1.963	1.317b	242	18,38
	560 °C	10	1.045	1.373	1.181b	106	8,98
	900 °C	10	717	954	822a	80	9,73

Taula 28.5. Efecte de la temperatura de calcinació en el contingut en metalls (Sekito et al., 2000)

T °C calcinació	Fe	Cu	Al	Zn	Pb	Mn	Cr	Cd
200 °C	60,3 ± 14,6	34,2 ± 5,0	16,5 ± 2,7	1,12 ± 0,21	1,44 ± 0,44	1,02 ± 0,25	0,88 ± 0,16	0,08 ± 0,01
400 °C	53,1 ± 17,5	33,1 ± 4,1	16,3 ± 6,5	1,33 ± 0,40	1,58 ± 0,80	1,11 ± 0,36	0,88 ± 0,12	0,09 ± 0,02
600 °C	30,0 ± 27,9	31,0 ± 6,8	10,5 ± 4,9	1,27 ± 0,38	1,97 ± 0,84	1,37 ± 0,59	0,41 ± 0,35	0,05 ± 0,31

Quatre repeticions per a cada temperatura.

Atès que en la determinació del contingut en metalls es troben metodologies molt variades, en la **taula 28.6** s'exposa la influència del mètode de destrucció de la matèria orgànica en els resultats.

Taula 28.6. Efecte de les condicions de destrucció de la matèria orgànica de la mostra en la determinació del contingut en metalls pesants expressats en mg kg⁻¹ sms (Hseu, 2004)

	Digestió			Calcinació i dissolució de cendres
	HNO ₃	HNO ₃ /HClO ₄	H ₂ SO ₄	
Compost FORM				
Zn	623 ab	628 ab	673 a	577 b
Mn	204 a	206 a	211 a	189 a
Cu	488 a	512 a	477 a	459 a
Cr	93 b	45 c	44 c	96 a
Ni	64 a	29 c	44 b	58 a
Pb	77 a	72 ab	51 c	67 b
Cd	0,49 a	0,40 bc	0,36 c	0,43 b

.../...

	Digestió			Calcinació i dissolució de cendres
	HNO ₃	HNO ₃ /HClO ₄	H ₂ SO ₄	
Compost fang				
Zn	1.056 ab	974 b	1.118 ab	1.256 a
Mn	212 a	139 c	154 c	179 b
Cu	179 a	165 a	182 a	172 a
Cr	41 b	26 c	26 c	82 a
Ni	49 a	12 b	19 b	51 a
Pb	71 b	66 c	18 d	83 a
Cd	2,42 a	1,99 b	1,87 b	2,09 ab

Taula 28.7. Límits de detecció segons el mètode utilitzat per destruir la matèria orgànica de la mostra (Hseu, 2004)

	Digestió			Calcinació i dissolució de cendres
	HNO ₃	HNO ₃ /HClO ₄	H ₂ SO ₄	
Cd	0,002	0,004	0,004	0,007
Cr	0,08	0,07	0,10	0,08
Cu	0,02	0,03	0,04	0,04
Mn	0,05	0,06	0,06	0,04
Ni	0,03	0,02	0,03	0,02
Pb	0,10	0,05	0,06	0,08
Zn	0,02	0,03	0,07	0,03

Taula 28.8. Percentatge de recuperació de metalls en dos materials de referència segons el mètode utilitzat per destruir la matèria orgànica (Hseu, 2004)

	mg kg ⁻¹ sms					
	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
BCE 146 (fangs de depuradora)						
Valors certificats	77,7	934	588	289	1.270	4.059
Digestió àcid nítric	52,5 (68%)	683 (73%)	445 (76%)	201 (72%)	1.135 (89%)	3.678 (91%)
Cendres + dissolució àcid	56,3 (72%)	672 (72%)	492 (84%)	208 (74%)	1.215 (96%)	3.415 (84%)
Digestió àcid nítric + perclòric	49,3 (63%)	711 (76%)	474 (81%)	215 (77%)	983 (77%)	4.132 (102%)
Digestió àcid sulfúric	65,7 (85%)	651 (70%)	380 (65%)	310 (111%)	942 (74%)	3.024 (75%)

La metodologia presentada en aquest apartat, igual que les metodologies indicades en les **taules 28.6, 28.7 i 28.8**, pretén determinar el contingut total de metalls de les mostres, però és ben conegut que en l'aplicació al sòl dels materials orgànics, els metalls presenten diferent solubilitat i diferent assimilabilitat per part dels vegetals, ja que dependrà de les característiques del sòl, de les condicions de cultiu i, sobretot, del tipus de vegetal. Per aquest motiu es poden trobar en la bibliografia diferents mètodes, no per determinar continguts totals, sinó els assimilables. La diferència bàsica entre ells rau en el tipus d'extractant utilitzat i en les condicions d'extracció. La **taula 28.9** mostra resultats trobats al laboratori de l'ESAB per determinar el contingut total i assimilable (utilitzant dos tipus d'extractant) de mostres de compost de RSU procedents de tres plantes diferents (preses de mostres realitzades al llarg de sis anys).

Taula 28.9. Contingut en metalls (totals i extractables) de mostres de compost de RSU de diferent origen (informes de convenis ESAB-SMADB; Marín i Martínez, 1998)

mg kg ⁻¹ sms	Plantes		
	1	2	3
Fe total	6.900	150	480
Fe ext NH ₄ Ac	9.600	513	121
Fe ext DTPA	7.600	101	433
Zn total	571	799	659
Zn ext NH ₄ Ac	62	52	134
Zn ext DTPA	295	233	604
Cu total	277	564	567
Cu ext NH ₄ Ac	24	24	67
Cu ext DTPA	58	54	143
Pb total	813	636	452
Pb ext NH ₄ Ac	22	24	43
Pb ext DTPA	163	159	306

Els continguts totals s'han determinat sobre un total de 62, 22 i 64 mostres segons planta 1, 2 i 3.

Els continguts extractables s'han determinat en tots els casos per a 20 mostres.

28.4.2. Informació relacionada amb la variació del contingut en metalls al llarg del compostatge

Al llarg del procés de compostatge, es produeix un increment relatiu en la concentració dels metalls totals motivat per la pèrdua de matèria orgànica ([taula 28.10](#)) i, també, per la seva transformació, varia l'extractabilitat dels metalls (Canarutto *et al.*, 1991; Garcia *et al.*, 1991).

En la [taula 28.11](#) es pot veure la variació del contingut en metalls al llarg del procés de compostatge de FORM + RV; s'hi ha incorporat també el contingut en MOT, que va disminuint en avançar el procés. Per poder comparar millor el contingut en metalls entre les mostres en diferents punts del procés, es donen també les concentracions dels metalls havent normalitzat el contingut de la MO al 50%.

Taula 28.10. Incrementos absolutos i relatius del contingut en metalls (la normalització es realitza al 30% de MOT) (UE, 2004)

		Element en mg kg ⁻¹ en base MO original [mg kg ⁻¹ sms]					
		0,5	20	40	80	160	240
MO original [% sms]	Increment relatiu	Element en mg kg ⁻¹ en base MO 30% [mg kg ⁻¹ sms]					
35	8%	0,54	22	43	86	172	258
40	17%	0,58	23	47	93	187	280
45	27%	0,64	25	51	102	204	305
50	40%	0,70	28	56	112	224	252
55	56%	0,78	31	62	124	249	280
60	75%	0,88	35	70	140	280	315

Taula 28.11. Variació del contingut en metalls al llarg del procés de compostatge de FORM + RV i en normalitzar el contingut en MO (Molina, 1997)

	Normalitzat al 50% MO							
	Inici	Mig	Final	Compost	Inici	Mig	Final	Compost
% Fe	0,87	1,17	1,01	1,14	1,36	1,31	1,08	1,16
mg · kg ⁻¹ sms Zn	139	169	168	190	218	189	180	195
mg · kg ⁻¹ sms Mn	153	206	198	183	240	230	212	188
mg · kg ⁻¹ sms Cu	42	67	82	74	67	74	88	76
mg · kg ⁻¹ sms Ni	50	53	47	44	79	60	50	45
mg · kg ⁻¹ sms Cr	35	33	32	28	55	37	34	29
mg · kg ⁻¹ sms Pb	28	42	51	41	45	47	54	42
mg · kg ⁻¹ sms Cd	0,40	0,47	0,42	0,65	0,62	0,52	0,45	0,66
MOT %	68,13	55,21	53,38	51,10	50,00	50,00	50,00	50,00

Les diferències en continguts segons la pèrdua de MO té interès pel que fa a les normatives. La normativa actual estatal sobre el contingut en metalls del compost (**taula 28.12**) expressa els continguts en mg kg^{-1} sms (sigui quin sigui el contingut en MOT) per a les tres classes establertes i, en canvi, la proposta de la UE sobre classificació de compost (EC, 2001) dóna els continguts en metalls expressats també en mg kg^{-1} sms, però normalitzant els resultats a un contingut del 30% en MOT.¹⁸

Taula 28.12. Contingut màxim de metalls permesos en el compost segons proposta de la UE i normativa actual espanyola

	2n esborrany UE (EC, 2001)			RD 824/2005		
	sms (normalitzat al 30% MO)			sms		
	Cl 1	Cl 2	SB	A	B	C
Zn	200	400	1.500	200	500	1.000
Cu	100	150	600	70	300	400
Cr	100	150	600	70	250	300
Ni	50	75	150	25	90	100
Pb	100	150	500	45	150	200
Cd	0,7	1,5	5	0,7	2	3

Sobre la base de la suposició (segons el banc de dades de l'ESAB) que el contingut mitjà de MO dels composts és del 50% s'han fet càlculs per expressar els nivells permesos per l'esborrany de la UE en continguts del 50% en matèria orgànica. D'altra banda, els nivells de la normativa espanyola s'han expressat en un contingut d'un 30% de matèria orgànica. La **taula 28.13** recull els resultats obtinguts d'aquestes expressions tot comparant totes dues legislacions.

18. Contingut considerat massa baix. Seria més acceptable normalitzar-ho a continguts del 40%.

Taula 28.13. Normativa espanyola i esborrany de normativa de la UE normalitzats a diferents continguts de MOT

	2n esborrany UE (EC, 2001)			RD 824/2005		
	sms (normalitzat al 50% MO)			sms		
	Classe 1	Classe 2	SB	A	B	C
Zn	143	286	1.071	200	500	1.000
Cu	71	107	429	70	300	400
Cr	71	107	429	70	250	300
Ni	36	54	107	25	90	100
Pb	71	107	357	45	150	200
Cd	0,5	1,1	3,6	0,7	2	3

	2n esborrany UE (EC, 2001)			RD 824/2005		
	sms (normalitzat al 30% MO)			sms (normalitzat al 30% MO)		
	Classe 1	Classe 2	SB	A	B	C
Zn	200	400	1.500	280	700	1.400
Cu	100	150	600	98	420	560
Cr	100	150	600	98	350	420
Ni	50	75	150	35	126	140
Pb	100	150	500	63	210	280
Cd	0,7	1,5	5,0	1,0	2,8	4,2

Per comparar el contingut en metalls de composts ben estabilitzats amb altres mig estabilitzats i, per tant, amb un contingut en metalls més diluït (no ha avançat tant la concentració relativa dels metalls que es produeix per la pèrdua de MO), és aconsellable normalitzar els continguts a un valor de fix del contingut en matèria orgànica.

28.4.3. Informació relacionada amb l'expressió dels resultats

Majoritàriament els resultats s'expressen en mg kg^{-1} sobre mostra seca, però no sempre aquesta és la forma més descriptiva de donar els resultats. En el subapartat anterior s'han vist els canvis en els continguts segons el contingut en MO considerats; tot consistia en diferents maneres d'expressar els resultats per fer la comparació més real.

Per una banda, pot ser més informatiu expressar els resultats en funció del o dels components que més interessin en la utilització del material (per exemple, en funció del contingut en MOT, MOR o del N o P), o bé buscar un tipus d'expressió que faciliti la comparació encara que l'estabilitat dels materials que s'hagin de comparar no sigui coincident.

En la **taula 28.14** es donen les característiques de dos composts de diferent qualitat, tant pel que fa a l'estabilitat de la seva MO com en el contingut en metalls. En les **taules 28.15, 28.16, 28.17 i 28.18** es mostren diferents maneres d'expressar el seu contingut en metalls.

Taula 28.14. Característiques de dos composts de RM de qualitats molt diferents

	H	MOT	MOR	%					mg kg^{-1}			
				C	C_r	N_{org}	P	K	Zn	Cu	Pb	Cd
M	30	55,7	26,0	27,9	13,0	2,10	0,92	1,17	130	42	22	0,3
I	30	48,0	19,0	24,0	9,5	1,55	0,46	0,67	557	244	173	1

Taula 28.15. Quantitats de diferents components aportades per 1 tona de compost humit

	MS	MOT	MOR	$\text{kg t}^{-1}_{\text{mh}}$					$\text{g t}^{-1}_{\text{mh}}$			
				C	C_r	N_{org}	P	K	Zn	Cu	Pb	Cd
M	700	390	182	195	91	14,7	6,4	8,2	91	29	15	0,2
I	700	336	133	168	67	10,9	3,2	4,7	390	171	121	0,7

Taula 28.16. Quantitats de compost humit o sec per aportar 100 kg de N_{org} i quantitats d'altres components

	Compost H	Compost S	kg		N _{org}	P	K	Zn	g		
			MOT	MOR					Cu	Pb	Cd
M	6.803	4.762	2.652	1.238	100	43,81	55,71	619	200	105	1,4
I	9.217	6.452	3.097	1.226	100	29,68	43,23	3.594	1.574	1.116	6,5

Taula 28.17. Quantitats de compost humit o sec per aportar 100 kg de P i quantitats d'altres components

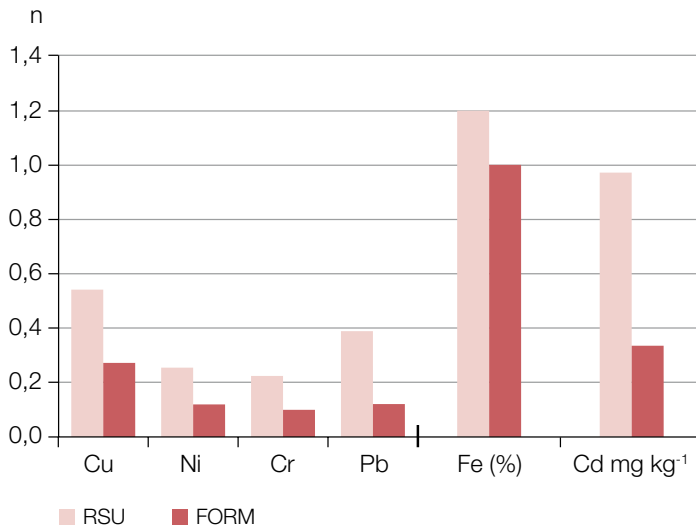
	Compost H	Compost S	kg		N _{org}	P	K	Zn	g		
			MOT	MOR					Cu	Pb	Cd
M	15.528	10.870	6.054	2.826	228,3	100	127,2	1.413	457	239	3,3
I	31.056	21.739	10.435	1.983	337,0	100	145,7	12.109	5.304	3.761	21,7

Taula 28.18. Canvis en l'expressió del contingut en metalls dels composts M i I en normalitzar el contingut de la MO al 30%

	mg kg ⁻¹ sms				mg kg ⁻¹ sms (normalitzat al 30% MOT)			
	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd
M	130	42	22	0,3	205	66	35	0,5
I	557	244	173	1,0	750	328	233	1,3

28.5. Taules de referència

Figura 28.4. Comparació del contingut en metalls pesants dels composts de RSU i FORM (Huerta, 2005)



Taula 28.19. Contingut en metalls pesants de mostres de FORM (MIMAM-ESAB-ARC, 2007)

FORM	mg kg ⁻¹ sms						
	Zn	Mn	Cu	Ni	Cr	Pb	Cd
N	17	17	17	16	16	16	17
Mitjana	52	37	15	6	3	6	0,37
S	44	28	14	16	4	7	0,50
Percentil 2,5%	16	7	4	0	1	1	0,01
Percentil 97,5%	152	93	49	43	14	23	1,64

Taula 28.20. Contingut en metalls pesats de mostres de compost FORM-RV (MIMAM-ESAB-ARC, 2007)

FORM	mg kg ⁻¹ sms						
	Zn	Mn	Cu	Ni	Cr	Pb	Cd
N	25	25	25	25	25	25	25
Mitjana	180	139	64	11	12	69	0,34
S	90	44	35	6	5	75	0,22
Percentil 2,5%	76	71	35	5	6	15	0,12
Percentil 97,5%	402	226	137	24	23	260	0,94

Taula 28.21. Contingut en metalls (mg kg⁻¹ sms) de mostres procedents de plantes que tracten residus municipals per digestió anaeròbia (MIMAM-ESAB-ARC, 2007)

	Digerit			Digestat			
	IF	IR	IIIR	IF	IR	III	T
Zn	221	185	422	234	216	524	125
Cu	78	73	97	95	128	167	39
Ni	13	15	165	16	14	37	184
Cr	14	17	23	17	21	30	14
Pb	28	32	56	38	47	87	31
Cd	0,6	0,5	2	0,5	0,7	3,6	0,3

Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

AZCUE i MUDROCH, 1994; MORAL *et al.*, 1996; HSEU *et al.*, 2002; INHAT i FERNANDES, 1996; LÓPEZ, 2002; LÓPEZ *et al.*, 2004.

29. Introducció a les metodologies relacionades amb la qualitat de la matèria orgànica

La producció de compost en l'àrea mediterrània, tot i formar part de la gestió de residus orgànics, té una funció molt especial en el manteniment del nivell de matèria orgànica dels sòls. Per complir aquesta funció cal que el compost presenti un contingut elevat de matèria orgànica, que aquesta tingui unes característiques que n'assegurin la permanència en el sòl al llarg del temps –per tant, cal que sigui estable– i que no provoqui problemes per al desenvolupament vegetal.

La presència de substàncies fitotòxiques és un dels factors que pot afectar la producció vegetal, atesa la seva influència negativa sobre la germinació i el creixement de les plantes; la presència o no d'aquestes substàncies en finalitzar el procés de compostatge està relacionada amb el fet que aquest s'hagi completat o no, i s'acostuma a relacionar amb el que s'anomena *maduresa*.¹⁹

Estabilitat i *maduresa* són dos termes molt utilitzats en el món del compostatge i, sobretot, quan es parla de qualitat del compost; es poden confondre i utilitzar indistintament, però cal comentar les possibles diferències que hi ha entre ells (o que se'ls atribueixen) per interpretar adequadament els resultats analítics (Moré *et al.*, 1987a) i relacionar-los amb processos correctament o incorrectament controlats.

S'ha de conèixer la facilitat o dificultat de mesurar i valorar l'estabilitat i/o la maduresa, i veure si realment es poden diferenciar. També cal veure quan i com cal determinar-los i quines de les metodologies existents poden ser més adients.

19. Tot i que determinades característiques com la CE o el contingut en metalls podrien afectar el desenvolupament de les plantes, aquest apartat no es refereix a aquests paràmetres. Es pot fer referència a determinats components que afecten la CE, però no a aquest paràmetre per si mateix. El contingut en metalls pot afectar els vegetals, però majoritàriament no depèn del procés de compostatge, sinó dels materials d'entrada.

Per tal que les definicions d'ambdós termes fossin acceptables seria aconsellable:

- Evitar formulacions ambigües, procurant que siguin curtes i simples i alhora amplament aplicables.
- Procurar que la seva mesura sigui tant directa com sigui possible.
- Aconseguir que siguin tècnicament defensables i consensuades.

I perquè els mètodes emprats facilitin les mesures haurien de ser:

- Ràpids i immediats en la interpretació.
- Fàcils d'utilitzar i d'aplicació universal.
- Econòmics i assequibles.

En la **taula 29.1** s'inclouen algunes definicions que apareixen en la literatura, i en la **taula 29.2** es comenten les possibles diferències entre els dos termes o les diferències que se'ls hi atribueixen.

Taula 29.1. Diferents definicions d'estabilitat i maduresa que apareixen en la bibliografia

Estabilitat	Maduresa
Estat de la descomposició de la matèria orgànica durant el procés de compostatge relacionat amb l'activitat biològica. Nivell d'activitat biològica en un material humit i airejat. (Leege and Thompson, 1997)	Característica associada a la capacitat fertilitzant potencial del compost i a la possible fitotoxicitat (Iannotti <i>et al.</i> , 1993), ja que si un compost està madur no ha de portar continguts apreciables de NH ₃ o àcids de cadena curta que són potencialment fitotòxics (Brewer i Sullivan, 2003).
Aspecte de la MO relacionat amb el contingut en formes resistents o en procés d'humificació i, per tant, no disponibles per als microorganismes. (Bernal <i>et al.</i> , 1998)	La maduresa es pot relacionar amb la salut de les plantes i els efectes supressors de certes malalties (Hoitink i Fahy, 1986).
Reflex de l'activitat metabòlica dels microorganismes participants en el procés de compostatge. (Tiquia, 2005)	Elevades concentracions de compostos orgànics solubles presents en els compostos immadurs afavoreixen el creixement de <i>Salmonella</i> ,
«Grau de descomposició biològica al qual ha arribat el material inicial». (UK Composting Association, 2001)	
Relacionen estabilitat amb l'activitat biològica i amb el potencial de generar olors desagradables. (Hue and Liu, 1995)	
«Moment en què el material orgànic fàcilment degradable ha disminuït fins al punt de no detectar-se descomposició». (McAdams and White, 1996)	

.../...

Estabilitat	Maduresa
«L'estat de la descomposició de la matèria orgànica relacionada amb els components que encara queden i amb l'activitat biològica». (The Californian Compost Quality Council, 2001)	<i>Pythium</i> spp. i altres patògens que depenen d'aquests nutrients per créixer. Patògens vegetals com <i>Rhizoctonia solani</i> utilitzen tant els compostos orgànics solubles com la cel·lulosa; per tant, també es necessari assegurar la maduresa del compost (Hussong <i>et al.</i> , 1988; Mandelbaum i Hadar, 1990; Chung <i>et al.</i> , 1988).
Es relaciona estabilitat directament amb activitat biològica. (Brewer i Sullivan, 2001)	
Estabilitat com el nivell d'activitat de la biomassa microbiana. (Butler <i>et al.</i> , 2001)	
Estabilitat com el grau en el qual el compost està descompost i/o com el grau en el qual la fracció biodegradable dels residus ha disminuït. (Iannotti <i>et al.</i> , 1993, 1994)	
«Punt en què el consum d'oxigen és reduït fins al punt que desapareixen les condicions que puguin provocar condicions anaeròbies i males olors així com problemes en l'emmagatzematge i ús del compost». (Haug, 1986)	
«Proporció en què la matèria orgànica fàcilment degradable ha estat consumida». (Lasaridi i Stentiford, 1998)	
«Grau d'activitat biològica i de potencial de generar olors desagradables». (Eggen i Vethe, 2001)	

Taula 29.2. Comentaris sobre les possibles diferències entre els termes *maduresa* i *estabilitat*

Estabilitat	Maduresa
<p>Mesura de la taxa d'activitat biològica</p> <p>Una baixa activitat pot ser deguda a:</p> <ul style="list-style-type: none"> – materials inicials amb elevat contingut en lignines (per exemple, escorces); – condicions no adequades per desenvolupar l'activitat biològica (manca d'humitat, d'oxigen, presència d'algun tòxic); – que la matèria orgànica estigui realment transformada en substàncies semblants a les substàncies húmiques del sòl. 	<p>Adequació d'un compost per ser utilitzat (molt relatiu perquè depèn del tipus d'ús).</p> <p>La maduresa està en part afectada per la relativa estabilitat del material, però, a més a més, descriu l'impacte d'altres característiques sobre el creixement de les plantes.</p> <p>Es refereix al grau de transformació del material (cosa que la relaciona amb l'estabilitat) i a la possible presència de certes substàncies fitotòxiques i/o amb olors desagradables.</p>

Estabilitat

Mesura la resistència del compost a la degradació posterior i, per tant, dóna idea de la seva transformació potencial un cop s'hagi aplicat al sòl (això és molt relatiu perquè pot ser que sigui estable en unes condicions, però deixi de ser-ho un cop s'ha aplicat).

Es podria dir que l'estabilitat és un concepte molt més relatiu que la maduresa, ja que està influïda per les condicions del moment en què es fan les determinacions, però que en la mesura que canviïn pot comportar que un material deixi de ser estable i torni a activar-se

En aquest sentit, l'estabilitat seria simplement un grau d'activitat que no sempre indicaria aptitud del producte per a un determinat ús agronòmic

Un compost estable no es descompondrà ràpidament quan s'apliqui i, per tant, alliberarà lentament els nutrients, consumirà poc oxigen i alliberarà poc diòxid de carboni i calor.

Al contrari, si és inestable, consumirà nitrogen i oxigen en quantitats significatives per poder suportar l'activitat biològica i es generarà calor, CO₂ i vapor d'aigua. Pot provocar fam de nitrogen i afectar el creixement vegetal després de ser aplicat. També, si és inestable i s'emmagatzema incorrectament, esdevindrà anaeròbic i generarà problemes d'olors desagradables.

L'estabilitat és important per determinar l'impacte potencial sobre l'assimilabilitat del N i en el manteniment de la porositat i el volum quan és utilitzat com a substrat. La majoria de possibles usos del compost

Maduresa

La maduresa es refereix al nivell d'assoliment del final del compostatge.

Si la maduresa està relacionada amb l'aptitud de ser utilitzat, un producte madur implicaria que ha de tenir una estabilitat total, és a dir, que el canvi de condicions que pugui significar la seva aplicació (més humitat...) no el reactivi i provoqui efectes negatius en els cultius.

Si es parla de compost des del punt de vista agronòmic, cal assegurar la seva maduresa i implícitament la seva estabilitat.

És clar que la maduresa usualment es defineix en termes d'estabilitat i dels possibles efectes adversos sobre els vegetals, però diferents paràmetres de maduresa i diversos criteris poden ser aplicats per a diferents usos. La manera més simple de definir un compost madur és dir que està a punt per ser utilitzat.

La maduresa del compost afecta la seva aplicació al sòl. És sobretot important quan el compost s'aplica just abans de sembrar o plantar o quan s'utilitza en contenidors com a substrat. No és tan important quan s'aplica en ple camp en cultius extensius o simplement per augmentar el nivell de matèria orgànica sense tenir prevista una implantació immediata d'un cultiu.

Alguns composts immadurs poden contenir elevades quantitats d'amoniac, certs àcids orgànics volàtils i altres components

.../...

Estabilitat

necessiten un producte molt estable perquè no es produeixi immobilització del N ni problemes amb el subministrament d'oxigen quan s'utilitza com a substrat.

Taxa d'activitat biològica que es mesura com la taxa de respiració utilitzant un mètode estandaritzat de determinació de l'evolució del CO₂.

El seguiment de l'evolució de l'estabilitat pot ser utilitzat pels gestors de les instal·lacions per valorar l'eficiència del procés.

L'estabilitat pot donar una idea de la transformació que ha patit un material, però no ha d'implicar necessàriament que sigui apte per a qualsevol ús agronòmic.

Maduresa

orgànics solubles que limitin la germinació de les llavors i el creixement de les arrels. Per aquesta raó hi ha referències sobre l'ús de composts immadurs per eliminar males herbes.

Un compost madur exhibeix unes característiques que indiquen que el compostatge s'ha completat i que presenten un mínim impacte potencial negatiu sobre el desenvolupament de les plantes.

Les característiques negatives dels composts immadurs són realment diferents de les dels composts inestables?

Compostos inestables i immadurs poden donar molts problemes durant l'emmagatzematge, el transport i l'ús: durant l'emmagatzematge poden aparèixer zones anòxiques que generin males olors i durant l'aplicació pot continuar la descomposició i donar lloc a impactes negatius en el creixement de les plantes per falta d'oxigen i/o nitrogen assimilable o per l'aparició de compostos fitotòxics.

Si l'estabilitat i la maduresa no són adequades interfereixen en el creixement de les plantes i en la producció. Compostos immadurs provoquen problemes motivats per l'elevada activitat biològica que genera deficiència d'O₂, toxicitat indirecta i també poden produir olors desagradables (Inbar *et al.*, 1990).

Compostos immadurs amb C/N elevada provoquen immobilització del N, però aquesta també pot ser provocada per composts inestables i amb C/N baixa pel fet que incrementen temporalment l'activitat biològica.

El segon esborrany de la UE, «Treatment of Biowaste» (EC, 2001), no utilitza els termes d'estabilitat i maduresa, però defineix *estabilització* com la reducció de la facilitat de descomposició dels residus orgànics fins al punt que «la capacitat de generar olors desagradables s'ha minimitzat i que l'activitat respiratòria als 4 dies (AT4) està per sota dels 10 mg O₂/g ms o que l'índex de respiració dinàmica es troba per sota de 1.000 mg O₂/kg MO/h». El material amb aquestes característiques és virtualment inert i adequat per anar a l'abocador.

Estabilitat

Maduresa

Si es coneix el destí del compost, es pot definir en termes o paràmetres importants per a aquest ús. La maduresa del compost per a usos extensius o hortícoles pot ser definida com «condicions del compost que no provoquen efectes adversos per als cultius extensius i hortícoles». En canvi, si el destí d'un determinat material que contingui matèria orgànica és l'abocador, la condició seria que no comportés risc de generació de metà quan sigui abocat.

Cal parlar d'estabilitat i maduresa quan s'apliquen les bases del compostatge per preparar un residu orgànic per un destí finalista com abocament o incineració? Tot i que en aquests casos el procés no té com a finalitat la producció d'un producte final (compost) d'ús en el sòl, cal controlar-lo per evitar problemes ambientals i aconseguir que la instal·lació en justifiqui l'existència i generi un material adequat per al destí previst.

Quan el destí sigui l'abocador caldrà assegurar el mínim contingut de matèria orgànica possible i una estabilitat real tan elevada com sigui possible. En canvi, quan el destí sigui la incineració s'ha de mantenir el màxim poder calorífic; per tant, segurament el que s'hauria d'aconseguir, si s'aplica un pretractament biològic aeròbic, és un material sec però que mantingui el contingut en matèria orgànica, és a dir, que presenti una relativa estabilitat a causa només de la manca d'humitat.

Segons CCQC (2001), l'índex de maduresa del compost (molt madur, madur i immadur) es relaciona amb unes determinades característiques referides a l'olor, la fitotoxicitat i la immobilització del N, que es resumeixen en la **taula 29.3**.

Taula 29.3. Diferències entre compost amb diferent índex de maduresa

Molt madur	Madur	Immadur
Compost ben «curat»	«Curat»	No «curat»
La descomposició ha finalitzat	Baixa generació d'olors	Oloros desagradables
Sense olors desagradables	Fitotoxicitat limitada	Elevada fitotoxicitat
Sense fitotoxicitat potencial	Mínima immobilització del N	Impacte significat en la immobilització del N

En la **taula 29.4** es donen índexs de maduresa que apareixen en la bibliografia. Alguns d'aquests paràmetres estan inclosos en aquest manual, però els valors trobats i els intervals aconsellats depenen molt de les condicions en què s'ha fet la determinació; la seva interpretació segurament també depèn en gran manera del tipus de mostra a què s'aplica.

Taula 29.4. Diferents índexs de maduresa que apareixen en la bibliografia

Paràmetre	Interval/Límit	Referència
C/N extracte aquós	5-6	Chanyasak i Kubota, 1981
Índex de germinació	> 50%	Zucconi <i>et al.</i> , 1981
N-NH ₄	0,4 g kg ⁻¹	Zucconi i De Bertoldi, 1987
C/N	< 20 preferiblement < 10	Mathur <i>et al.</i> , 1993
Taxa de producció de CO ₂	< 120 mg CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹	Hue i Liu, 1995
C _{org} soluble en aigua	< 10 g kg ⁻¹	
C/N extracte aquós	< 16 g kg ⁻¹	
C _{org} soluble /N _{org total}	< 0,70	
C _{org} soluble en aigua	< 17 g kg ⁻¹	
C _{org} soluble /N _{org total}	< 0,55	Bernal <i>et al.</i> , 1998
N _{-NH₄} /N _{NO₃-}	< 0,16	
Carboni mineralitzable 70 dies	< 30%	
N _{NO₃-} /C _{-CO₂} (per dia)	> 8	Cooperband <i>et al.</i> , 2003
C _{org} soluble en aigua	< 4 g kg ⁻¹	Zmora-Nahum <i>et al.</i> , 2005

La **taula 29.5** mostra els paràmetres i els intervals aconsellables per als paràmetres de maduresa i estabilitat utilitzats pels laboratoris d'US Composting Council i Woods End Research Laboratory.

Taula 29.5. Grups de paràmetres per determinar maduresa i estabilitat segons US Composting Council i Woods End Research Laboratory

Índex de maduresa segons mètodes grup A (estabilitat) descriuen activitat microbiana				
Mètodes	Unitats	Molt madur	Madur	Immadur
OUR test	O ₂ /ST/h	< 0,4	0,4-1,3	> 1,3
SOUR test	O ₂ /SV/h	< 0,5	0,5-1,5	> 1,5
CO ₂ test	C/SV/dia	< 2	2-8	> 8
SCL CO ₂	C/SV/dia	< 2	2-8	> 8
WERL CO ₂	C/SV/dia	< 5	5-14	> 14
Dewar	T (°C) neta	< 10	10-20	> 20
Solvita	Valor Índex	7-8	5-6	< 5

SCL: Soil Control Laboratory

WERL: Woods End Research Laboratory

Nivells d'estabilitat segons respirometria			
Grup A (estabilitat)	Molt estable	Estable	Inestable
SOUR (mg O ₂ /g SV/dia)	< 12	12-36	> 36
Despreniment CO ₂ (mg C-CO ₂ /g SV/dia)	< 2	2-8	> 8
Test d'autoescalfament (Índex)	V	IV	III, II o I
Test Solvita (codi CO ₂)	7-8	5-6	1-4
Carboni assimilable biològicament (mg C-CO ₂ /g c/dia)	< 2	2-4	> 4

Adaptat de TMECC

.../...

Índex de maduresa mètodes grup B amb efectes sobre el creixement				
Mètode	Unitats	Molt madur	Madur	Immadur
N-NH ₄ ⁺ /N-NO ₃ ⁻	-	< 0,5	0,5-3	> 3
N-NH ₄ ⁺ total	mg kg ⁻¹ sms	< 100	100-500	> 500
Àcids orgànics volàtils	mg kg ⁻¹ sms	< 200	200-1.000	> 1.000
Índex de germinació	% control	> 90	80-90	<80
Proves de creixement	% control	> 90	80-90	<80

Mètodes grup B (indicadors de maduresa)				
Mètode		Molt madur	Madur	Immadur
N-NH ₄ ⁺ total (mg kg ⁻¹ sms)		< 75	75-500	> 500
N-NH ₄ ⁺ /N-NO ₃ ⁻		< 0,5	0,5-3,0	> 3,0
% germinació		> 90	80-90	< 80
% vigor (respecte control)		> 95	85-95	< 85
% germinació i creixement arrels		> 90	80-90	< 80
Bioassaig (cucs de terra)		< 20	20-40	> 40
Test Solvita (codi amoníac)		5	4	3-1
Àcids orgànics volàtils mmol g ⁻¹ sms		< 200	200-1.000	> 1.000

Les determinacions del grup A valoren si ha tingut lloc una descomposició adequada per a la mesura del consum d'oxigen o per al despreniment de CO₂.

Algunes determinacions del grup B, com l'índex de germinació, mesuren indirectament els possibles efectes fitotòxics; altres mesuren directament la presència i quantitat d'algun component amb efecte fitotòxic com l'amoníac o els àcids grassos volàtils.

En els mètodes inclosos en aquest manual apareixen molts dels que aconsella el laboratori de l'US Composting Council, tot i que probablement hi hagi diferències en el procediment pràctic. L'experiència de molts anys d'anàlisis de mostres de materials orgànics i de compost a l'ESAB, i l'acumulació de dades en la seva base de dades, ha aconsellat en certs moments no variar la metodologia emprada, per facilitar l'estudi de l'evolució al llarg del temps; també s'han deixat de fer certes determinacions que s'ha considerat que, tot i ser informatives, no ho eren prou per al tipus d'experimentació realitzada i la relació informació/cost o informació/temps de les quals no ho aconsellava. A la vegada, hi ha determinacions que es consideren no utilitzables en anàlisis considerats com a més rutinaris, però sí quan es fa recerca sobre un tipus de mostra o tractament.

Per situar quines determinacions estan a punt al laboratori de l'ESAB, quines es fan regularment i quines es corresponen o es poden considerar relacionades amb l'estabilitat i la maduresa, es presenta la **taula 29.6**. S'hi posa en evidència la dificultat de diferenciar paràmetres segons informin de maduresa o estabilitat i la necessitat d'utilitzar diversos paràmetres conjuntament i, sobretot, interpretar-los conjuntament i amb sentit comú. Es fa difícil pensar que pugui ser utilitzat un sol paràmetre, i amb intervals d'acceptació generals.

Taula 29.6. Paràmetres que es poden determinar en mostres de compost segons si s'utilitzen o no habitualment al laboratori de l'ESAB i la seva relació amb l'estabilitat i la maduresa

	Posada a punt	Utilitzats habitualment	E	M	Apartat manual
pH	■	Sí	+		8
CE	■	Sí			8
N-NH ₄ sol (NAS)	■	Sí	+	+	11
N-NH ₄ T (NAT)	■	No	+	+	12
N-NO ₃	■	Sí	*	+	15
C soluble	■	No	+	+	16
N soluble	■	No	+	+	13

.../...

	Posada a punt	Utilitzats habitualment	E	M	Apartat manual
Coloració extracte	■	No	*	*	7
IG	■	No	+	+	10
NFM	■	No	+	*	14
Àcids orgànics volàtils	Δ	No	+	+	16
Test d'autoescalfament	■	Sí	*		34
Test Solvita	■	No	*	*	33
Humitat	■	Sí	*		20
MOT	■	Sí	*		23
C _{ox}	■	No	*		25
MOR i GE	■	Sí	+		30
Carbonats	■	No	*		24
N _{org}	■	Sí			26
N _{nH} i N _r	■	Sí	+		30
C/N		Sí	*	*	23-26
C _{ox} /N		No	*	*	25-26
C _r /N _r		No	*	*	31
C _d /N _d		No	*	*	31
Àcids húmics i fúlvics	Δ	No	*		31
CBC	Δ	No	+		32
P _T	■	Sí			27
P _{ass}	■	No			27
Ca _T	■	Sí			27
K _T	■	Sí			27

.../...

	Posada a punt	Utilitzats habitualment	E	M	Apartat manual
Na _T	■	Sí			27
Fe _T	■	Sí			28
Fe _{ass}	■	No			28
Metalls _T (Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd)	■	Sí			28
Metalls _{ass} (Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd)	■	No			–
Hg _T	▼	No			–
Respirometries	Δ	No	*		36
Mineralització N	Δ	No	*	*	37
Proves en contenidor	■	No		*	38
Proves de camp	■	Sí		*	38

■: mètode a punt; Δ: mètode a punt però utilitzat puntualment; ▼: realitzat en laboratori extern; +: informa; *: informació discutible; E: estabilitat; M: maduresa

30. Grau d'estabilitat de la matèria orgànica (mètode de la hidròlisi sulfúrica)

30.1. Introducció

A l'ESAB el mètode que tradicionalment es fa servir per determinar l'estabilitat és el *grau d'estabilitat*; es va posar a punt amb el treball final de carrera d'Àngel de la Riva (1980), la seva aplicació es va iniciar arran d'un altre treball final de carrera (Moré, 1983), la tesi doctoral de Josep Saña (1985), i, posteriorment, es va millorar en la tesi de Marga López (2010).

El seu origen es troba en el mètode Klason de determinació del contingut en lignina (Klason, 1908, 1910), que ha estat millorat i emprat per diversos autors (Busche, 1953; Templeton i Ehrman, 1995; Alén i Sjöström, 1999; TAPPI Test Method T222, 2002). Va ser utilitzat per a la caracterització de torbes el 1971 (Ministère de l'Agriculture, Bèlgica) i se li va trobar una molt bona relació lineal amb l'anomenada Escala de Von Post:²⁰

$$GE = 6,1 \cdot H_{\text{Von Post}} + 20,5 \text{ (Puutsjarvi i Robertson, 1975)}$$

Autors com Inoko *et al.* (1979) van demostrar que indica l'estat d'evolució o estabilització de la fracció orgànica dels residus municipals. En certa manera es pot comparar amb el mètode utilitzat per a l'anàlisi del contingut en fibra dels aliments animals (Van Soest, 1963) i que ha estat utilitzat també per a l'anàlisi de composts o productes semblants (Levi-Minzi *et al.*, 1980; Higgins *et al.*, 1982; Inbar *et al.*, 1990; Binner *et al.* 1997, 1999).

20. Classificació morfològica que va des d'1 fins a 10, segons la seva menor o major descomposició o evolució (Von Post, 1924).

El *grau d'estabilitat* (GE) ve expressat com a percentatge de matèria orgànica resistent (MOR) respecte a la matèria orgànica total (MOT); dóna informació d'interès per conèixer l'estabilitat d'un material orgànic, i, en el cas que aquest correspongui a un producte procedent d'un tractament biològic, informa del desenvolupament del procés, ja que s'incrementa al llarg d'aquest procés. A més a més, és un paràmetre útil per fer la diagnosi sobre el possible destí o ús del material orgànic. El percentatge de MOR inclòs en la MOT de la mostra indica com es comportarà quan se li doni un destí. Així, un compost amb un contingut elevat de MOR serà adequat per aplicar com a esmena orgànica perquè bona part de la seva matèria orgànica romandrà en el sòl amb el pas del temps, ja que es mineralitzarà lentament, de la mateixa forma que succeirà amb el N orgànic que conté. Si com a conseqüència del seu contingut en contaminants, un compost o altre material orgànic estable (amb elevat GE) no es pogués aplicar al sòl i hagués d'anar a l'abocador, la seva estabilitat seria un factor per valorar positivament, però no ho seria si hagués d'anar a incineració, ja que hauria perdut poder calorífic.

Tampoc no s'ha d'oblidar que com més estable sigui i més temps romangui un material orgànic en el sòl, més elevada es podrà considerar la seva capacitat de segrest de carboni.

L'increment del GE al llarg d'un procés de compostatge indica que aquest avança perdent la matèria orgànica més degradable i incrementant la resistent (MOR). Aquesta augmenta gràcies a la formació de molècules estables semblants a les substàncies húmiques del sòl a costa de components dels materials vegetals, com cel·lulosa i lignina, que es van oxidant parcialment en les condicions del tractament aeròbic.

30.2. Fonaments

Les bases del mètode estan en la determinació de la lignina en mostres de diferents tipus de fusta, escorces i pasta de paper, però amb el temps es va anar aplicant a altres tipus de biomassa. Consisteix en dues hidròlisis successives: la primera, amb àcid sulfúric del 72% en pes, que dissol fonamentalment la cel·lulosa; la segona, amb àcid sulfúric diluït, que hidrolitza polisacàrids com l'hemicel·lulosa i productes proteics, entre d'altres. En el cas d'aplicar-lo per caracteritzar mostres de compost, el residu resistent a aquests tractaments es considera que conté lignines i substàncies semblants a les substàncies húmiques (SH) del sòl formades

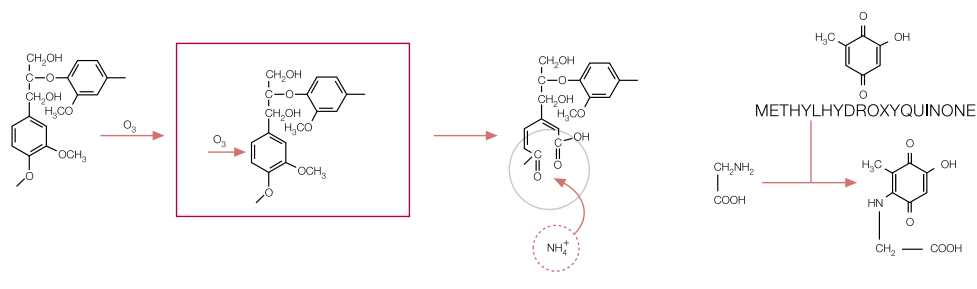
al llarg del procés aeròbic. Cal preveure que l'avenç del procés de compostatge comporti un augment relatiu del contingut en lignines, ja que són molt menys biodegradables que altres productes presents inicialment en el residu per compostar (taula 30.1), i que les substàncies semblants a les húmiques apareguin a mesura que avanci el procés.

Taula 30.1. Continguts en els diferents components de la fibra i variació al llarg del co-compostatge de fangs i restes vegetals (Jouraiphya *et al.*, 2005)

Dies procés	(g kg ⁻¹ sms)		
	Lignina	Cel·lulosa	Hemicel·lulosa
D ₀	254,9 ± 1,3	64,0 ± 2,8	108,9 ± 1,6
D ₁₅	231,0 ± 0,2	66,6 ± 3,0	137,0 ± 2,0
D ₆₀	250,0 ± 0,8	45,0 ± 1,1	100,6 ± 2,4
D ₉₀	261,4 ± 0,5	45,0 ± 1,6	65,5 ± 2,1
D ₁₃₅	270,8 ± 1,0	41,0 ± 0,8	55,3 ± 0,7

Aquest mètode permet determinar paral·lelament el contingut en nitrogen orgànic resistent (N_{nH}) a la hidròlisi amb àcid sulfúric. Ja que les lignines són macromolècules amb un contingut quasi nul en aquest element, per tant, aquest N_{nH} cal relacionar-lo amb l'aparició de les molècules estables semblant a les SH. El seu augment al llarg del procés de compostatge es pot atribuir al fet que les SH van incorporant N (figura 30.1).

Figura 30.1. Possibles reaccions participants en la transformació de les lignines durant el compostatge (Sugimoto *et al.*, 2008; Giovannozzi, 1986)

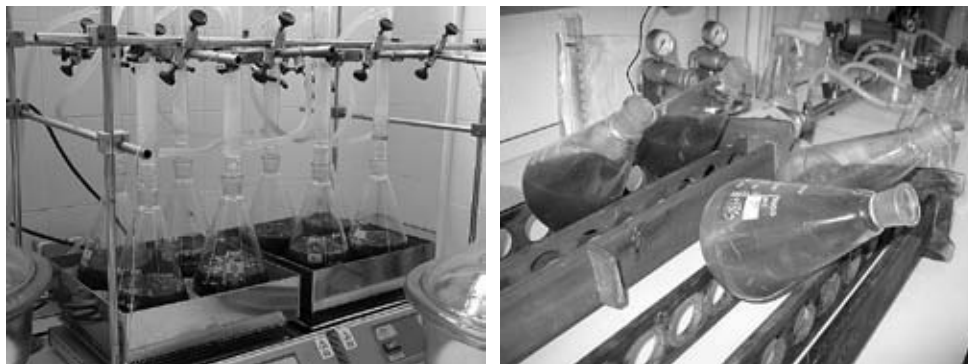


Per tal que durant el compostatge puguin tenir lloc els canvis comentats, és evident que és necessari que en el o en els materials per compostar siguin presents materials rics en lignina i materials proteics que puguin aportar nitrogen. És important destacar que això està en consonància amb el tipus de barreges necessàries per iniciar correctament un procés aeròbic.

30.3. Material necessari

MOR i GE	N _{nh}
Balança de precisió	Paper de filtre
Vas precipitats plàstic de 100 mL	Catalitzador Kjeldahl
Varetes de vidre	Digestor Kjeldahl
Proveta 500 mL	H ₂ SO ₄ concentrat
Erlenmeyers aforats de 1.000 mL	Matrassos aforats 100 mL
Bany de sorra	Embuts
Refrigerants	Tubs Nessler 50 mL
Gresols filtrants núm. 2	Solució 1.000 mg L ⁻¹ N
Bomba de buit	NaOH 40%
Kitasatos de 500 mL	Vas precipitats plàstic 50 mL
Gresols de ceràmica	Elèctrode selectiu d'amoniac
Manta calefactora	
Mufla	
H ₂ SO ₄ al 72%	
Ba(NO ₃) ₂ 1N	

Figura 30.2. Determinació del grau d'estabilitat (tractaments successiu amb àcid sulfúric de diferent concentració)



30.4. Metodologia

Es pesa amb precisió de 0,1 mg al voltant de 2,5 g de mostra seca i mòlta dins un vas de precipitats de plàstic de 100 mL i s'hi afegeixen 15 mL de H_2SO_4 al 72%, a poc a poc per controlar la formació excessiva de bromera. Amb l'ajut d'una vareta de vidre es posa en contacte tota la mostra amb l'àcid i es remena cada 15-20 minuts durant 3 hores.

Passat aquest temps, es traspassa el contingut a un erlenmeyer de 1.000 mL amb l'ajut de 500 mL d'aigua, arrossegant-hi la totalitat de la mostra; a continuació, s'hi acoblen refrigerants i es posa a bullir dolçament a reflux (que hi hagi una circulació suau de bombolles d'aire, però que no esquitxi les parets de l'erlenmeyer) en un bany de sorra durant 5 hores; cal remenar de tant en tant per tal que no quedi mostra enganxada a les parets. Es deixa refredar en el mateix bany.

Un cop fred, s'ha de filtrar al buit en gresols filtrants del núm. 2, prèviament tarats, deixant inicialment el màxim de residu al fons de l'erlenmeyer per tal que filtri més ràpidament. S'ha de filtrar tot el contingut de l'erlenmeyer, per la qual cosa s'hi van afegint petits volums d'aigua destil·lada. Un cop s'ha arrossegat tot el residu dins el filtre, s'ha de comprovar que en el filtrat no hi ha sulfats fent caure unes gotes de nitrat de bari 1N; en cas que hi hagués sulfats es formaria un precipitat blanc i caldria continuar rentant el residu amb aigua destil·lada. Els filtres amb el residu s'assequen a l'estufa fins a pes constant a 110 °C (entre 2 i 4 hores). Es deixa refredar en un dessecador i posteriorment es pesa.

El residu sec obtingut indica la quantitat de material que ha resistit l'atac (la part mineral i la MOR); es divideix en dues parts per determinar-ne el contingut en MOR i el contingut en nitrogen orgànic no hidrolitzable en les condicions de l'assaig (N_{nH}). Per determinar aquest nitrogen no hidrolitzable s'aplica el mètode emprat per al N_{org} (vegeu l'apartat 26); la resta de residu sec s'utilitza per determinar el contingut en matèria orgànica resistent pel mateix mètode utilitzat per a la determinació de la MOT (vegeu l'apartat 23).

30.5. Càlculs i expressió i interpretació dels resultats

$$\% \text{ MOR} = \frac{(P_{rs} - (P_c - P_g))}{P_{rs}} \cdot \frac{P_{fs} - P_f}{P_{ms}} \cdot 100 \qquad \% \text{ GE} = \frac{\% \text{ MOR}}{\% \text{ MOT}} \cdot 100$$

On:

P_{rs} = pes de residu sec posat a calcinar;

P_c = pes de gresol més residu calcinats;

P_g = pes de gresol;

P_{fs} = pes de filtre més residu sec;

P_f = pes de filtre;

P_{ms} = pes de la mostra seca sotmesa al GE.

$$\% \text{ NnH} = \frac{X \text{ mg N}}{1.000 \text{ mL d}} \cdot \frac{50 \text{ mL d}}{10 \text{ mL dig}} \cdot \frac{100 \text{ mL dig}}{P_{rd}} \cdot \frac{P_{fs} - P_f}{P_{ms}} \cdot \frac{1 \text{ g}}{1.000 \text{ mg}} \cdot 100$$

$$\% \text{ Nr} = \frac{\% \text{ N}_{org}}{\% \text{ NnH}} \cdot 100$$

On:

X = concentració de nitrogen en la mostra a partir de la recta;

P_{rd} = pes de residu sec posat a digerir;

P_{fs} = pes de filtre més residu sec;

P_f = pes de filtre;

P_{ms} = pes de la mostra seca sotmesa al GE.

D'aquests quatre valors, els més interpretatius són el GE i N_r , que indiquen, respectivament, l'estabilitat de la matèria orgànica i la del nitrogen. Inoko *et al.* (1979) comenten que hi ha relació entre aquest tipus de nitrogen i l'estat de maduració de les mostres, tot i que no ho justifiquen numèricament. En qualsevol dels dos casos es troba acceptable resultats del 50%, que indiquen que almenys la meitat de la matèria orgànica i del nitrogen continguts en el residu no es mineralitzaran ràpidament. Des del punt de vista de la matèria orgànica interessa aquest concepte quan es considera el compost aplicat al sòl com a esmena orgànica, amb l'objectiu d'incrementar el contingut en MO. Des del punt de vista del nitrogen, que el material sigui resistent (estable) implica que, a l'hora de fer una aplicació al sòl, el nitrogen contingut s'alliberarà lentament. En el **subapartat 30.8** es proposa la utilització del GE d'un material per fer una estimació de l'increment que pot provocar en la MO del sòl, cosa que, a més a més de relacionar-lo amb la millora de les seves característiques, es pot relacionar amb el segrest de carboni.

El GE es pot utilitzar com a paràmetre de qualificació del compost, o d'altres materials orgànics; per tant, pot ser també útil per valorar l'eficiència d'un procés, per fer una aproximació al seu comportament en l'aplicació (increment de MO del sòl, aportació de N) i per valorar els efectes sobre el segrest de carboni.

30.6. Errors i problemàtiques més freqüents

Concentració de les dissolucions d'àcid sulfúric. És important mantenir les condicions de preparació del H_2SO_4 al 72% i de la seva dilució en la segona part del mètode.

Temps. Cal mantenir els temps de tractament indicats en la metodologia.

Neteja dels gresols de placa filtrant. Per tal d'eliminar les restes de la placa, primer cal netejar amb aigua i un raspall l'interior del filtre. Després s'ha de deixar assecat i introduir dins la barreja cròmica durant uns dies, depenent de l'estat de la barreja, que ha de ser de color taronja; quan es torna verda ja no és efectiva.

Mostra a les parets de l'erenmeyer durant el bany a reflux. De vegades, si la temperatura és massa elevada durant el reflux i no es remenen els erlenmeyers, pot succeir que partícules de la mostra s'enganxin a les parets i no es puguin retirar a l'hora de filtrar. Per minimitzar-ho cal vigilar els erlenmeyers, sobretot durant la

primera hora de l'ebullició, i remenar de tant en tant i adequar la temperatura per tal que no sigui massa elevada.

Rentat dels erlenmeyers durant el filtrat. Per optimitzar aquesta tasca, cal fer servir una ampolla d'aigua petita de doll tant fi com sigui possible, invertir els erlenmeyers i que el rentat caigui suaument dins el filtre.

Precisió. Atès que per realitzar aquest mètode s'han de fer moltes pesades, és important posar atenció a aquesta part i disposar de balances correctament calibrades.

30.7. Taules de referència

La primera taula de resultats (**taula 30.2**) mostra l'increment del GE al llarg del compostatge de fems (paral·lelament a la disminució del contingut en MOT) i fa palesa la utilització d'aquest paràmetre per altres autors.

Taula 30.2. Determinació de la variació del percentatge del GE en processos de compostatge de fems realitzats al laboratori (CL) i a les instal·lacions (CP) (Godden i Penninckx, 1986)

Dies	pH		% MOT		% GE	
	CL	CP	CL	CP	CL	CP
0	9,30	9,32	72,8	68,7	40	42
9	9,58	-	69,3	-	50	-
12	-	8,69	-	60,5	-	48
21	9,45	-	54,2	-	56	-
25	-	9,25	-	60,6	-	45
61	-	9,20	-	48,4	-	55

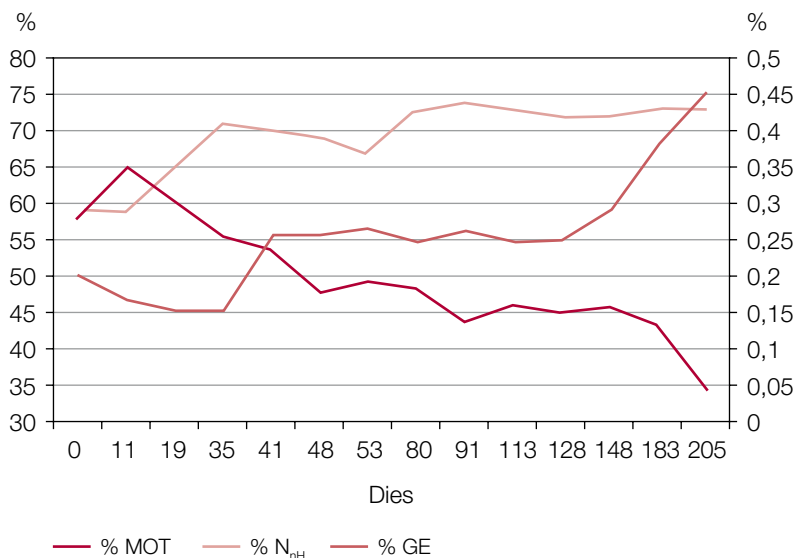
En la **taula 30.3** es mostren els valors del GE per a fangs de depuradora; es posa en evidència la major estabilitat dels fangs tractats anaeròbicament i també les diferències en altres paràmetres relacionats amb el tipus de matèria orgànica d'aquests materials. La **figura 30.3** mostra la variació del GE i els continguts en

N_{nH} i MOT al llarg del compostatge de fangs de depuradora i restes vegetals (1/4 V/V) (Villalba, 1992).

Taula 30.3. Grau d'estabilitat de mostres de fangs de depuradora i altres paràmetres relacionats (Saña, 1985)

	Fangs aeròbics			Fangs anaeròbics		
	n	Mitjana	desviació	n	Mitjana	desviació
pH	61	6,84	0,41	9	7,25	0,48
CE, dS m ⁻¹	64	3,48	3,17	14	4,42	4,07
%MOT	61	54,19	13,04	16	36,36	16,07
MOT/C _{ox}	61	2,18	0,26	11	1,77	0,27
%N _{org}	61	4,31	1,39	11	1,76	1,16
%N _r (N _{nH} /N _{org})	56	20,8	16,6	11	38,6	17,2
%GE (MOR/MOT)	60	35,5	6,50	16	50,0	8,5

Figura 30.3. Variació del contingut en MOT, N_{nH} i GE al llarg del compostatge de fangs de depuradora i restes vegetals (Villalba, 1992)



Les **taules 30.4 a 30.7**, de la mateixa forma que s'ha fet amb altres paràmetres, mostren els valors trobats per a MOR, GE, N_{nh} i N_r per a diferents grups de mostres de compost; destaca la millor estabilitat trobada per mostres de compost de FORM enfront de les de RSU.

Taula 30.4. Continguts en matèria orgànica resistent (%) de diferents grups de mostres de compost (informes de convenis ESAB-SMDB; Huerta *et al.*, 2006b)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FORM	159	25,31	5,55	21,92	8,35	36,44
Fangs	34	27,97	4,64	16,60	16,24	37,23
RSU 1 (abans 1996)	286	15,73	3,47	22,04	7,69	32,00
RSU 2 (després 1996)	45	17,92	3,48	19,39	9,42	24,43
Totes les mostres	524	19,62	6,41	32,69	7,69	37,23

Taula 30.5. Percentatge del GE de diferents grups de mostres de compost (informes de convenis ESAB-SMDB; Huerta *et al.*, 2006b; López, 2010)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FORM	159	48,19	7,55	15,67	19,61	69,39
Fangs	34	51,99	7,83	15,06	38,97	73,11
RSU 1 (abans 1996)	286	28,62	6,15	21,49	16,44	64,38
RSU 2 (després 1996)	45	36,43	9,73	26,72	17,60	57,92
Totes les mostres	524	36,75	11,86	32,28	16,44	73,11

Taula 30.6. Continguts en nitrogen orgànic resistent (%) de diferents grups de mostres de compost (informes de convenis ESAB-SMDB; Huerta *et al.*, 2006b; López, 2010)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FORM	159	1,19	0,31	26,02	0,42	2,13
Fangs	34	1,20	0,23	19,36	0,68	1,53
RSU 1 (abans 1996)	286	0,49	0,21	42,93	0,15	2,17
RSU 2 (després 1996)	45	0,67	0,20	29,68	0,32	1,16
Totes les mostres	524	0,77	0,41	53,61	0,15	2,17

Taula 30.7. Valors de N_r (%) de grups de mostres de compost (informes de convenis ESAB-SMDB; Huerta *et al.*, 2006b; López, 2010)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FORM	159	55,62	9,47	17,02	36,84	89,50
Fangs	34	54,41	12,94	23,78	31,29	75,29
RSU 1 (abans 1996)	286	35,79	10,58	29,55	16,99	75,84
RSU 2 (després 1996)	45	42,85	10,54	24,60	20,25	74,22
Totes les mostres	524	43,62	13,89	31,84	16,99	89,50

Les **taules 30.8 i 30.9** mostren els valors dels percentatges de MOR i de GE per a mostres inicials (FORM i RV) de processos de compostatge de residus municipals; en aplicar aquest mètode a la FORM s'han trobat problemes en la filtració de la mostra una vegada ha rebut els tractaments successius amb àcid sulfúric, raó per la qual es presenta un nombre menor de mostres. No obstant això, tampoc no té gaire sentit determinar paràmetres relacionats amb l'estabilitat a l'inici dels processos.

Taula 30.8. contingut en percentatge de MOR de mostres de FORM, RVT i compost de FORM i RV (López et al., 2010a,b)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FORM	5	12,41	1,18	9,51	13,91	11,29
RVT	17	28,21	2,11	7,50	32,79	25,44
Compost	26	25,52	3,25	12,74	30,30	19,54

Dades del projecte «Evaluación y mejora de las tecnologías de tratamiento de residuos municipales en Catalunya», Ministeri de Medi Ambient, Exp. A291/2007/1-02.03.

Taula 30.9. Valors del grau d'estabilitat (%) de mostres de FO, RVT i compost de FORM i RV (López et al., 2010a,b,c)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
FORM	5	14,23	1,55	10,89	15,93	12,58
RVT	19	33,15	4,12	12,43	26,37	40,22
Compost	26	45,35	5,14	12,14	51,50	33,49

Dades del projecte «Evaluación y mejora de las tecnologías de tratamiento de residuos municipales en Catalunya», Ministeri de Medi Ambient, Exp. A291/2007/1-02.03.

Taula 30.10. contingut en N_{nh} (%) de mostres de compost de FORM i RV (López et al., 2010a,b,c)

	n	Mitjana	S	% CV	Percentil 97,5%	Percentil 2,5%
Compost	26	1,07	0,33	30,84	1,60	0,43

Dades del projecte «Evaluación y mejora de las tecnologías de tratamiento de residuos municipales en Catalunya», Ministeri de Medi Ambient, Exp. A291/2007/1-02.03.

30.8. Influència dels valors del GE en l'acumulació de MO en el sòl: estimació

Es proposa una fórmula (taula 30.11) per tenir idea de l'acumulació de MO en el

sòl després de l'aplicació continuada d'un compost amb un determinat contingut en MOR (López, 2005).

Taula 30.11. Estimació del contingut en matèria orgànica que pot romandre en el sòl després d'uns anys d'aplicació d'un material orgànic (López, 2002, 2005)

$$MO_{\text{sòl-n}} = \frac{P_H \cdot MO_{\text{sòl}} + (MOR_{rs-n})}{P_H + (MOR_{rs-n}) + (P_{rs} \cdot MM \cdot n)} \cdot 100 \quad MOR_{rs-n} = \frac{P_{rs} \cdot MOR \cdot (1 - r^{n+1})}{1 - r}$$

$MO_{\text{sòl-n}}$ = matèria orgànica en el sòl al cap de n anys d'aplicació de residu (%);

P_H = pes de l'horitzó de sòl (kg ha^{-1});

$MO_{\text{sòl}}$ = matèria orgànica del sòl (%);

MOR_{rs-n} = matèria orgànica resistent del residu al cap de n anys d'aplicació;

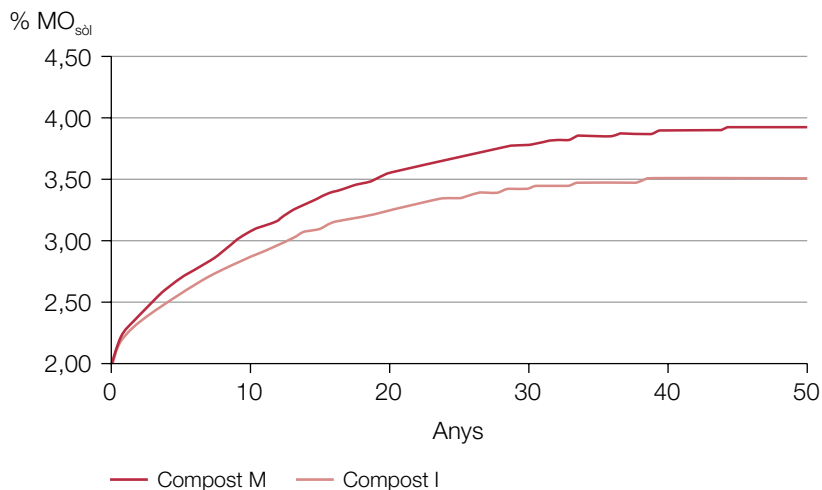
P_{rs} = dosi de compost sec ($\text{kg ha}^{-1} \text{any}^{-1}$);

MM = tant per u de matèria mineral del residu sec;

n = anys per a la determinació.

Taula 30.12. Estimació de la variació del nivells de MO en un sòl on s'apliquen anualment 10 t ha^{-1} del compost M o I (Soliva *et al.*, 2008)

	% MOT	% MM	% MOR	% GE
Compost I	48,0	52,0	19,3	39,58
Compost M	55,7	44,3	26,0	46,68



Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

ASTM D5715 - 00, 2006; BERNAL *et al.*, 2008; DILL *et al.*, 1987; VON POST, 1924; SÁNCHEZ-MONEDERO *et al.*, 1999; SMIDT *et al.*, 2004, 2008; TOMATI *et al.*, 1995; TUOMELA *et al.*, 2000; YANG *et al.*, 1980.

31. Àcids húmics i fúlvics

31.1. Introducció

Les substàncies húmiques van ser definides i estudiades originàriament en sòls, i a través de la recerca sobre torbes i substrats van arribar als adobs orgànics. Es defineixen com un conjunt de compostos orgànics, de colors forts, amorfs, hidròfils i àcids, molt complexos químicament, amb una gran capacitat de formar compostos de coordinació amb ions metàl·lics i amb facilitat per interaccionar amb argiles i compostos orgànics. És classifiquen de manera fonamentalment operacional en àcids húmics (AH), àcids fúlvics (AF) i humines. No hi ha evidència bibliogràfica definitiva que en els adobs orgànics hi hagi realment substàncies húmiques similars a les del sòl (Saña, 1985); per aquesta raó, moltes vegades, quan es fa referència a aquestes fraccions resultants del procés de transformació/envelliment de la matèria orgànica dels adobs, es parla de substàncies comparables a les substàncies húmiques del sòl o substàncies extrac-tables amb bases.

La classificació operacional de les diferents fraccions húmiques obliga a delimitar perfectament la tècnica d'extracció i quantificació emprada. El mètode aquí presentat va ser posat a punt i aplicat per Josep Saña (1985) en la seva tesi doctoral i en nombrosos treballs de recerca sobre compost de RSU i fangs de depuradora.

31.2. Fonament

La metodologia es basa en quatre parts diferenciades per extreure, separar i quantificar les diferents fraccions:

- Extracció de les substàncies húmiques en medi bàsic controlat (AH i AF).
- Separació dels AH per precipitació en medi àcid controlat.
- Quantificació dels AH i AF per oxidació via humida.
- Caracterització del residu no extractable per separació de la matèria orgànica lligada a la part mineral i posterior quantificació per oxidació per via humida.

31.3. Reactius

- Solució extractant: $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 0,1M - NaOH 0,1M (1/1)
- Solució de rentat: solució extractant diluïda 10 vegades amb aigua
- Solució de H_2SO_4 5N
- H_2SO_4 concentrat
- Solució de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1N
- Solució de glucosa de 5 mg mL^{-1}
- Líquid densimètric: bromoform-etanol (1/0,82 V/V)
- Solució $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ 0,5N
- H_3PO_4 concentrat
- Difenilamina

31.4. Procediment

31.4.1. Extracció

Es pesen 1,2-1,3 g ($\pm 0,0001$) de mostra seca i mòlta i s'introdueixen en una botella d'extracció de 100 mL amb 80 mL de solució extractant; es desplaça l'aire amb N_2 , es tapa immediatament i s'agita durant 4 hores en un bany a 25 °C. Se centrifuga 30 minuts a 4.000 rpm i es decanta el sobrenedant. Es repeteix l'extracció amb el residu i es reuneixen els dos sobrenedants i els líquids procedents dels rentats del residu; el conjunt es neutralitza amb H_2SO_4 5N, s'introdueix en un matràs aforat de 250 mL, s'arrasa i es guarda a la nevera (conté AH + AF). El residu no extractable s'asseca a 105 °C, es pesa i es reserva.

31.4.2. Separació dels AH i els AF i quantificació per oxidació via humida

S'agafen 10 mL de l'extracte d'AH i AF i es col·loquen en un tub de centrífuga, s'hi afegeix 1 mL de H_2SO_4 5N i es deixa reposar 24 hores a la nevera perquè sedimentin els AH (cal fer-ho el dia abans de la quantificació). Se centrifuga 15 minuts a 4.000 rpm el sobrenedant, que conté els AF, i es decanta en un tub Nessler de 50 mL; es fan dos o tres rentats del residu d'AH amb 1 mL d'aigua destil·lada i una gota de H_2SO_4 5N, se centrifuguen i es reuneixen els rentats amb l'extracte d'AF. S'afegeixen al tub Nessler 5 mL de solució de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 1N i 15 mL de H_2SO_4 concentrat i es col·loca a l'estufa a 150 °C, exactament durant 15 minuts. Es deixa refredar i reposar 24 hores i s'arrasa amb aigua destil·lada, es barreja bé i es deixa refredar. A continuació, es mesura l'absorbància a 590 nm i es compara amb patrons de glucosa (0, 2, 5 i 10 mg) oxidats en les mateixes condicions. La mateixa oxidació es fa a 10 mL de l'extracte d'AH + AF (vegeu l'apartat 16).

31.4.3. Separació de la matèria orgànica lligada a la fracció mineral

Es pesen uns 0,7 g ($\pm 0,0001$) del residu no extractable i es col·loquen en un tub de centrífuga de 25 mL, assecat i tarat prèviament; s'hi afegeixen 20 mL de líquid densimètric de densitat 2,00 g mL⁻¹ i s'agita amb un agitador Vortex; se centrifuga 20 minuts a 2.000 rpm i es decanta el sobrenedant, procurant arrossegar el màxim de matèria flotant, sobre un gresol filtrant de vidre del núm. 2, prèviament assecat i tarat. Cal repetir l'extracció de la fracció pesada, centrifugant i filtrant. S'assequen a l'estufa a 105 °C els tubs i els gresols.

31.4.4. Quantificació de la matèria orgànica lligada a la fracció mineral (fracció pesada i lleugera)

Es pesen 500 mg ($\pm 0,0001$) de la fracció lleugera i una quantitat semblant de la fracció pesada en dos erlenmeyers de 100 mL, i s'hi afegeixen 25 mL de $\text{K}_2\text{CR}_2\text{O}_7$ 1N, assegurant que la mostra s'amara bé, i 50 mL de H_2SO_4 concentrat; s'agita i s'introdueixen 15 minuts a l'estufa a 150 °C. Quan es treuen de l'estufa, es deixen refredar i es transvasen quantitativament a un matràs aforat de 250 mL, s'arrasen amb aigua destil·lada, assegurant la barreja total, i es deixen refredar abans de

valorar. Cal haver preparat una prova en blanc. Es valoren 10 mL de les solucions amb sal de Mohr 0,5M, afegint-hi 5 gotes de difenilamina com a indicador i 3 gotes de H_3PO_4 (vegeu l'apartat 25).

31.4.5. Diferents expressions dels resultats

Amb els resultats dels subapartats anteriors, i fent els càlculs pertinents, es pot tenir informació sobre el contingut en àcids húmics i fúlvics expressats com a % C_{AH} i % C_{AF} o bé com C_{AH}/C_{ox} i C_{AF}/C_{ox} . També E_4/E_6 de l'extracte AH + AF (vegeu l'apartat 7), taxa de polimerització (AH/AF), grau d'humificació o C_{humina}/C .

31.5. Comentaris i resultats

La descripció de la metodologia s'ha fet molt resumida, però en la tesi de Saña (1985) es pot trobar l'explicació completa, incloent-hi tots els problemes que hi poden aparèixer. És una metodologia llarga i que necessita que es treballi molt acuradament, ja que té moltes parts seqüencials i en totes es poden produir diferents errors, sobretot tenint en compte les quantitats amb què es treballa. No s'utilitza de manera rutinària al laboratori de l'ESAB.

En la **taula 31.1** es donen continguts en substàncies húmiques de diferents mostres, juntament amb altres paràmetres d'interès (Moré, 1983; Saña, 1985).

Taula 31.1. Continguts en substàncies húmiques de diferents tipus de mostres (Moré, 1983; Saña, 1985)

	Fangs aeròbics	Fangs anaeròbics	Compost RSU
n	60	16	45
% MOT	54,19 ± 13,04	36,36 ± 16,07	40,68 ± 11,87
% MOT/ C_{ox}	2,18 ± 0,26	1,77 ± 0,27	2,25 ± 0,24
% GE	35,5 ± 6,5	50,0 ± 8,5	37,05 ± 11,06
C_{AH}/C_{ox}	0,083 ± 0,049	0,088 ± 0,086	0,125 ± 0,060

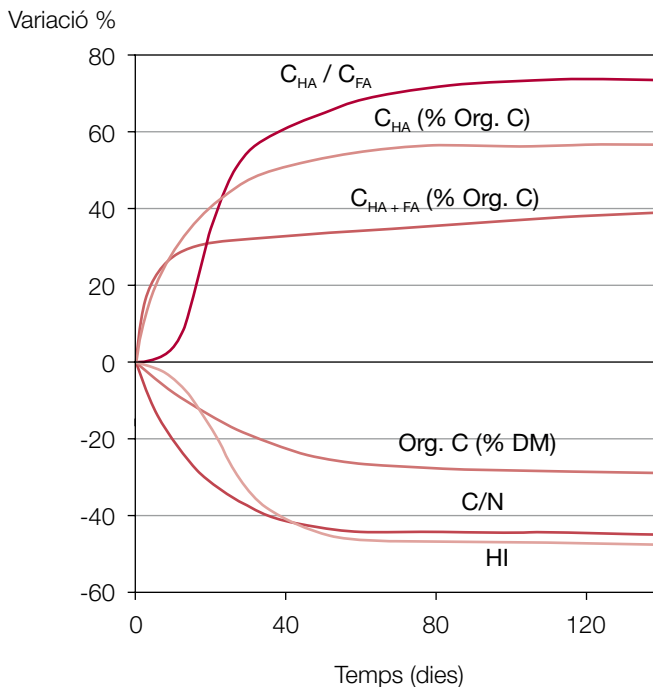
.../...

	Fangs aeròbics	Fangs anaeròbics	Compost RSU
C_{AF}/C_{ox}	$0,134 \pm 0,048$	$0,112 \pm 0,057$	$0,128 \pm 0,050$
E4/E6	$6,06 \pm 1,88$	$5,40 \pm 1,74$	$5,36 \pm 1,48$
Taxa polimerització	$2,275 \pm 3,044$	$1,713 \pm 1,856$	$1,31 \pm 1,24$
C_{humina}/C	$0,104 \pm 0,107$	$0,234 \pm 0,112$	-
Grau humificació	$32,41 \pm 12,11$	$42,96 \pm 10,57$	$51,19 \pm 12,18$

TMC, taxa de mineralització complementària (vegeu l'apartat 35).

En la **figura 31.1** es pot veure el percentatge de variació de diferents paràmetres relacionats amb les substàncies húmiques al llarg del procés de compostatge segons Saviozzi *et al.* (1988).

Figura 31.1. Percentatge de variació de diferents paràmetres relacionats amb les substàncies húmiques, al llarg del procés de compostatge, segons Saviozzi *et al.* (1988)



Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

ADANI *et al.*, 1995; BERNAL *et al.*, 2008.

32. Capacitat de bescanvi catiònic

32.1. Introducció

La determinació de la capacitat de bescanvi catiònic (CBC) d'un material orgànic no tant sols té interès des del punt de vista agronòmic (capacitat de retenció de nutrients i d'immobilització de substàncies fitotòxiques), sinó que també pot servir per donar informació sobre la seva estabilitat. Diversos estudis realitzats amb fems, fangs de depuradora i compost han demostrat que la CBC va incrementant-se a mesura que augmenta l'estabilització/maduresa de la matèria orgànica.

Harada i Inoko (1980, 1981) van establir un mètode potenciomètric per a la determinació de la CBC en compost de RSU, i estudis posteriors (Jacas, 1985; Jacas *et al.*, 1986; Estrada i Saña, 1986; Roig *et al.*, 1988; Nomdedeu, 1990; Redondo, 1991) confirmen la seva utilitat per qualificar la maduresa de la matèria orgànica d'un compost.

32.2. Fonament

Aquest mètode consta bàsicament de tres etapes:

Saturació

En aquesta etapa, la mostra queda totalment saturada de protons en les seves posicions de bescanvi, i utilitza HCl com a reactiu saturant. Després, convé eliminar l'excés de protons (d'àcid) que no han quedat fixats a les posicions de bescanvi. El fet de saturar amb àcid evita la dissolució de la matèria orgànica i possibles problemes d'hidròlisi. Malgrat tot, pot haver-hi problemes amb mostres alcalines o riques en carbonats, casos en què convé augmentar la concentració de l'àcid.

Desplaçament

A continuació, es desplacen els protons fixats a les posicions de bescanvi amb una solució de Ba^{2+} .

Valoració

Finalment, es valora l'acidesa d'una alíquota de la solució de la mostra (provinent de les posicions de bescanvi de la mostra) i l'acidesa d'una alíquota de la solució del blanc, fins a $\text{pH} = 8,4$. D'aquesta manera, es poden esbrinar els mil·liequivalents d'àcid que saturen el complex de bescanvi, és a dir, la capacitat de bescanvi.

32.3. Reactius i aparells

Per al mètode potenciomètric utilitzat, es requereix un equip de valoració automàtica.

32.4. Procediment

Saturació del complex de bescanvi

Es pesen 500 mg ($\pm 0,0001$) de la mostra de compost sec i mòlt en un embut de placa filtrant i s'acobra una tetona de goma a la part inferior. S'hi afegeixen 25 mL de HCl 1N i es remena amb una vareta de vidre intermitentment durant 20 minuts. Després es treu la tetona i es filtra al buit. S'hi afegeixen 25 mL més de HCl 1N i es filtra immediatament. Tot seguit, es renta amb aigua destil·lada fins a assegurar l'eliminació total de clorurs (comprovacions amb solució de AgNO_3), fet que dóna garantia que només queden els protons que s'han fixat al complex de bescanvi. Es renta bé la tetona i es torna a posar. La determinació cal fer-la, com a mínim, per duplicat.

Desplaçament dels protons

S'hi afegeixen 25 mL de $\text{Ba}(\text{OAc})_2$ 1N ajustat a $\text{pH} = 7$ i es deixa reposar una hora. Després es filtra, recollint el filtrat en un kitasato net. A continuació, s'hi afegeixen 25 mL més de $\text{Ba}(\text{OAc})_2$ 1N i es filtra ràpidament. Finalment, es renta successivament la mostra amb petits volums d'aigua destil·lada i es passen els filtrats i rentats del kitasato a un matràs aforat de 250 mL. Es recull també el contingut de la

tetona i es renta. S'enrasa amb aigua destil·lada. Es prepara un blanc, dipositant 50 mL de la solució de Ba(OAc)₂ 1N a pH =7 utilitzada en un matràs de 250 mL i s'enrasa amb aigua destil·lada.

Valoració de les mostres i del blanc

Es valoren 50 mL de solució (ja sigui d'una mostra o bé del blanc) amb NaOH 0,05N (descarbonatada i normalitzada) fins arribar a pH = 8,4 utilitzant un titrímetre. Si no es disposa d'un titrímetre es pot fer la valoració amb microbureta, emprant blau de timol com a indicador. Els programes utilitzats en el titrímetre estan pensats per obtenir la major exactitud de valors en el menor temps possible.

El nombre de valoracions recomanades i els volums emprats en cada valoració són:

	Nre. valoracions	Volum per valorar
Aigua destil·lada	4	25 ml
Blanc	4	50 ml
Mostres	4	50 ml

32.5. Càlculs

$$\text{CBC} = \frac{(A - B) \cdot 0,05 \cdot f}{50} \cdot \frac{250}{P} \cdot \frac{100}{D} \cdot 100 = \frac{\text{meq}}{100 \text{ g MOT}}$$

On:

A = mL de NaOH 0,05N gastats en valorar la mostra;

B = mL de NaOH 0,05N gastats en valorar el blanc;

P = g de mostra;

D = % de matèria orgànica total (per calcinació);

f = factor de NaOH 0,05N.

32.6. Comentaris i taules de referència

Els resultats es poden expressar com a meq/100g ms o per 100 g MOT, essent aquesta darrera la forma més adequada si s'utilitza per estudiar la maduresa de les mostres de compost.

La determinació de la CBC té interès com a paràmetre agronòmic, a més a més de ser utilitzada per qualificar el tipus de MO d'un producte. Agronòmicament és molt important quan es tracta de materials que poden ser emprats com a substrats i, per aquesta raó, de vegades, es planteja el dubte si ha de ser determinada en mostra mòlta o sense moldre. Atesa l'heterogeneïtat d'aquests materials i la petita quantitat de mostra utilitzada, es fa difícil pensar que aquesta metodologia es pugui aplicar a mostres sense cap tipus de trituració.

Per determinar la influència de la trituració, es va dur a terme una prova els resultats de la qual es presenten en la **taula 33.1** segons diferents graus de mòlta de quatre mostres de compost.

Taula. 32.1. Influència de la mòlta en la determinació de la CBC pel mètode Harada i Inoko (Jacas *et al.*, 1986)

Mostres	meq/100g MOT			
	I	II	III	IV
A	54,00	68,58	79,62	87,41
B	72,64	73,51	106,84	101,82
C	66,42	87,85	103,64	120,07
D	92,05	102,69	129,17	134,95

I: sense moldre; II: mòlta amb picadora de cuina;

III: mòlta a 0,75 mm; IV: mòlta 0,12 mm.

En la **taula 32.2** es dona la variació de la CBC i altres paràmetres relacionats durant el compostatge de fangs de depuradora i escorça.

Taula 32.2. Variació de la CBC i del contingut en MOT de mostres agafades al llarg del procés de compostatge de fangs de depuradora amb escorça (Jacas, 1985)

Dies compostatge	% MOT	CBC	CBC/MOT
3	70,36	58,12	82,60
12	65,06	62,62	96,25
28	73,06	61,89	84,71
47	70,99	63,07	88,85
68	64,31	67,62	105,15
78	65,26	76,10	116,61
117	57,71	83,04	143,89

CBC: meq/100 g ms; CBC/MOT: meq/100 g MOT.

Aquest mètode es va utilitzar temps enrere al laboratori de l'ESAB per fer el seguiment de diversos processos de compostatge i per veure la seva relació amb altres paràmetres. A partir d'una bateria de mostres de compost, amb diferents graus d'estabilitat, es va fer una anàlisi factorial discriminant utilitzant diferents paràmetres; aquests, tot i aportar informació sobre la maduresa/estabilitat, no permetien, cadascun per separat, fer una valoració clara. D'aquesta manera, sí que es va trobar una funció que va permetre classificar les mostres en *fresques* i *madures* (Nomdedeu, 1990).

$$X = -2,9436 \ln(\text{MOT}) - 1,3509 \ln(N_{\text{org}}) + 3,1884 \ln(N_{\text{nH}}) + 1,6712 \ln(\text{MOR}) - 0,3326 \ln(\text{CBC}) + 10,83112$$

Essent madures si $X > 0$ i fresques si $X < 0$.

En l'actualitat, tot i estar a punt, no s'acostuma a utilitzar aquest mètode malgrat que se'l continua considerant d'interès.

33. Mesura de l'estabilitat/maduresa pel test Solvita

33.1. Introducció

El mètode Solvita®, desenvolupat el 1995 per Woods End Research Laboratory, és un test colorimètric simple que pretén determinar l'índex de maduresa de composts mig madurs o madurs.

Al laboratori de l'ESAB es disposa de poca experiència en la pràctica del test Solvita; per aquesta raó, el mètode exposat a continuació es basa en les instruccions que acompanyen el *kit* amb lleugeres variacions.

Es presenta com un *kit* que mesura, simultàniament, el despreniment de diòxid de carboni i la presència d'amoniac generats per una mostra de compost humida mantinguda dins un recipient tancat i preservat de la llum. Dins del recipient, dues paletes amb gel per a la captació de cadascun dels gasos es van tenyint en funció de la seva producció i, passades 4 hores, es pot llegir el resultat comparant la coloració de les paletes amb dues paletes de referència.

El test classifica el compost en una escala d'1 a 8, segons l'increment de maduresa. En aquest cas, maduresa es refereix tant a la resistència a la descomposició com a l'absència d'amoniac, àcids orgànics i components fitotòxics.²¹

Segons els proveïdors, pot ser utilitzat per:

- 1) Comprovar les exigències d'estabilitat i maduresa del compost segons usos.
- 2) Avaluar les característiques del compost per determinar si cal millorar el procés de producció.

21. Per tant, no queda clar si realment hi ha diferència entre estabilitat i maduresa.

3) Determinar el millor destí del compost abans de distribuir-lo i vendre'l.

Les possibles aplicacions del test semblen bastant ambiciosos i, segurament, com altres metodologies, necessita de determinacions complementàries per poder fer una valoració correcta de les mostres.

33.2. Material

Els materials necessaris són subministrats pel mateix fabricant i inclouen els recipients, les paletes amb gel per a la captació dels gasos i les paletes de color per a la interpretació dels resultats.

Figura 33.1. Kit Solvita. A l'esquerra, presentació del kit; a la dreta, paleta de gel (www.woodsend.org)



33.3. Procediment i interpretació de resultats

Les instruccions del fabricant proporcionen totes les recomanacions per dur a terme el test. De fet, és senzill i consta de tres etapes:

- A. Com en qualsevol dels mètodes usats, cal mostrejar i preparar el material amb cura.
- B. S'introdueixen la mostra i les paletes del gel en el recipient. Es compara la coloració que adquireixen amb paletes de referència per atribuir la numeració adequada a la mostra i així determinar l'índex de maduresa.

C. Cal interpretar adequadament els resultats, utilitzant les taules facilitades i considerant, a la vegada, la gestió del procés i el possible ús del compost.²²

Preparació de la mostra

1. Presa de mostra. Cal seguir les instruccions indicades en l'**apartat 2** per disposar de la mostra representativa del material que es vol controlar.
2. Preparació de la mostra. Cal eliminar les pedres, trossos grans de fusta i tots els impropis; pot ser necessari garbellar el material en el cas que no correspongui a un material ja afinat (**vegeu els apartats 18 i 19**).

Figura 33.2. Preparació del test segons Woods End Research Laboratory



3. Control d'humitat. El contingut en humitat adequat de la mostra és bàsic per a l'aplicació del test. Les mostres que estan massa humides o massa seques no donen resultats ajustats. En les instruccions facilitades pel fabricant s'aconsella fer una mesura no quantitativa de la humitat. Així, aconsella agafar un grapat de mostra i comprimir-la amb el puny; si surten gotes d'aigua, està excessivament humida i cal assecar-la a l'aire, almenys durant una nit; si el grapat de mostra quan es deixa sobre un paper no l'humiteja, està massa seca i cal afegir-li aigua.

22. És interessant aquest comentari però difícil de complir quan no s'ha pres la mostra directament.

Al laboratori de l'ESAB es considera millor fer la determinació de la humitat per gravimetria i asseccament (**vegeu l'apartat 20**) i el contingut s'ajusta segons la metodologia emprada per al test d'autoescalfament (**vegeu l'apartat 34**).

4. S'introdueix la mostra en el recipient (**figura 33.2**). S'omple el recipient fins a la línia senyalada, s'assegura la compactació adequada i es deixa destapat durant una hora abans d'iniciar la mesura; això farà que es perdi el CO_2 que s'ha pogut acumular prèviament a la realització del test.

5. Etapa per equilibrar: Si el compost provenia de un conjunt de material molt calent, havia estat congelat o ha calgut humitejar-lo o asseccar-lo prèviament, cal deixar-lo tota una nit perquè s'equilibrin les condicions; fins i tot pot necessitar 48 hores per arribar a l'equilibri si prèviament havia estat molt sec.

Realització del test Solvita

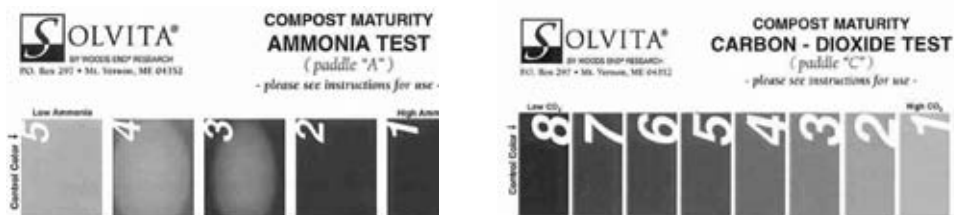
El test Solvita correspon a dos tests en un que precisa de 4 hores per dur-se a terme. Cal treure amb cura les dues paletes (porpra la corresponent al diòxid de carboni i groga la de l'amoníac) de dins dels embolcalls sense tocar la part del gel. Una vegada tretes de l'embolcall, s'ha d'iniciar el test en 30 minuts com a màxim. Tot i no ser tòxic, és prudent evitar que el gel entri en contacte amb la boca o els ulls.

S'introdueixen les paletes en el centre del compost, de manera que es pugui veure el color que agafen a través de les parts transparents del recipient. Es tapa el recipient enroscant bé la tapa i es guarda a temperatura ambient (20-25 °C) durant 4 hores a la foscor.

Interpretació dels resultats

A les 4 hores es compara la coloració de les paletes de gel amb les paletes de color per a CO_2 i per a NH_3 (**figura 33.3**). Els resultats es valoren d'1 a 8, essent més madures les mostres de valor 8.

Figura 33.3. Paletes de color per a la interpretació de la coloració del gel
 (http://woodsend.org/pdf-files/solvita_manual_Vers4.pdf)



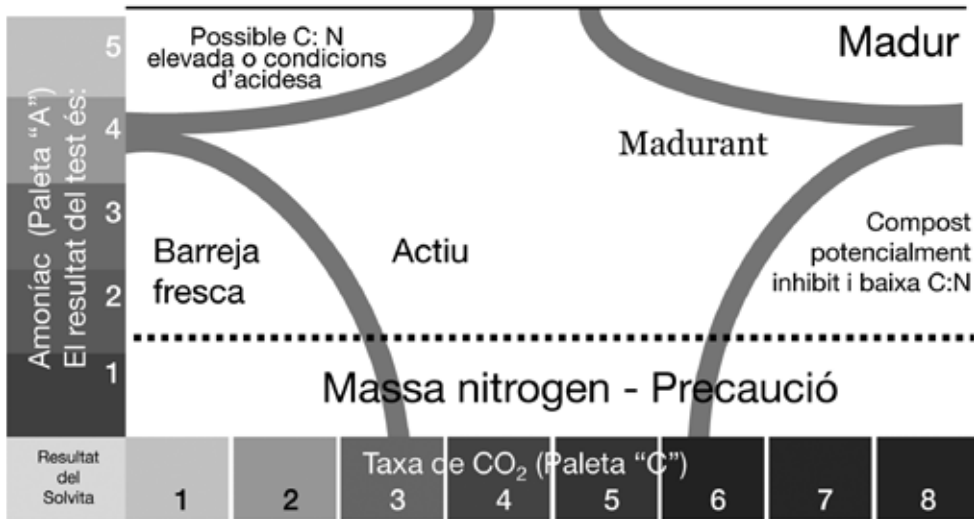
En la **taula 33.1** s'indiquen els números que apareixen en la carta de colors per a ambdues mesures i cal llegir la intersecció de les dues numeracions per trobar l'índex corresponent; en la **figura 33.4** es dóna una visió general de com poden ser les mostres segons aquest índex.

Taula 33.1. Índex de maduresa del compost

		Resultats test Solvita (CO ₂)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Resultats test Solvita (NH ₃)	5	NH ₃ molt baix	1	2	3	4	5	6	7	8
	4	NH ₃ baix	1	2	3	4	5	6	7	8
	3	NH ₃ mitjà	1	1	2	3	4	5	6	7
	2	NH ₃ alt	1	1	1	2	3	4	5	6
	1	NH ₃ molt alt	1	1	1	1	1	2	3	4

Si, per exemple, el resultat del NH₃ és 2 i el de CO₂ és 6, l'índex de maduresa serà 4.

Figura 33.4. Classificació de la mostra segons els dos resultats del test Solvita
 (<http://www.solvita.co.uk>)



A part de classificar la mostra segons la maduresa i fer una breu descripció del tipus d'adob que es considera, en la **figura 33.5** i la **taula 33.2**, el fabricant estableix relacions entre el resultat de l'índex de maduresa Solvita, el resultat del test d'autoescalfament (com a *Dewar* en la taula), la taxa de producció de CO₂ i la taxa de consum de O₂

Taula 33.2. Taula de comparació entre el test d'autoescalfament i test Solvita
 (www.woodsends.org)

Test d'autoescalfament	1	2	3	4	5			
Test Solvita	1	2	3	4	5	6	7	8

Figura 33.5. Comparació de la classificació proposada pel test Solvita amb la d'altres determinacions (<http://www.solvita.co.uk>)

Índex de maduresa Solvita	Etapa de formació de l'adob	TA	Taxa de CO ₂	Taxa de O ₂	
			mg C-CO ₂ o mg O ₂ per g MO i dia		
8	Adob d'alta maduresa i inactiu, potser sobremadur, gairebé d'aspecte similar al del sòl. Sense restriccions d'ús.	Adob «Acabat»	V	1	< 3
7	Adob ben madurat, estable i curat. Poques restriccions d'ús.			2	5
6	Adob en fase de maduració. Poca necessitat d'aireig. L'adob està llest per emmagatzemar. Forta disminució de les necessitats de maneig.	Adob «Actiu»	IV	4	11
5	El adob està superant la fase activa de descomposició i està llest per passar a maduració. Menor necessitat de maneig intensiu.			6	16
4	Adob en fase intermèdia o moderadament activa de descomposició. El maneig és necessari en aquesta fase.			8	21
3	Adob actiu. Components frescos. Necessita maneig i atenció intensius.		II	10	27
2	Adob fresc, putrescible i molt actiu. Elevada taxa de respiració. És necessari airejar-lo i voltejar-lo molt.	Adob «Cru»	I	12	32
1	Adob fresc i cru. Característic de les barreges ben fetes. Taxa de descomposició extremadament elevada. Material putrescible o d'olor molt intens.			> 15	> 40

33.4. Comentaris i dades de referència

La mesura de NH₃ en el test Solvita (NH₃), utilitzat en principi per a la determinació de l'índex de maduresa ([taula 33.1](#)), pot aprofitar-se (segons el proveïdor del test) per obtenir informació complementària sobre el compost:

1. Permet fer una estimació del contingut en nitrogen amoniacal de la mostra a partir del pH ([taula 33.3](#)). Això pot donar informació sobre la maduresa ([taula 33.4](#)).

2. La presència d'amoníac en el compost pot ser molesta per a les condicions de treball, i pot arribar a ser tòxica en algunes instal·lacions.

3. Continguts elevats de nitrogen amoniacal poden ser positius per a determinats cultius exigents en N, com ara el blat de moro o el sorgo, però cal no oblidar que, a vegades, poden ser responsables de «cremades» en els conreus (taula 33.5).

Taula 33.3. Estimació del contingut en N amoniacal total en el compost (sms) a partir dels resultats del test Solvita

Coloració test amoníac	1	2	3	4	5
pH compost					
7,0	n/a	n/a	< 10.000	< 8.000	< 4.000
7,5	n/a	> 15.000	< 8.000	< 4.000	< 2.000
8,0	> 20.000	> 10.000	< .000	< 2.000	< 1.000
8,5	> 7.000	> 3.000	< 1.500	< 600	< 400
9,0	> 4.000	> 1.500	< 700	< 300	< 200

Taula 33.4. Interpretació de l'estabilitat del compost basada en el contingut en N amoniacal total

Contingut en amoniacal	> 10.000	4.000-10.000	500-4.000	100-500	<100
Compost	Molt actiu	Mitjanament actiu	En maduració	Curat	Madur

Taula 33.5. Fitotoxicitat potencial associada al contingut en amoníac

Coloració segons NH ₃	1	2	3	4	5
Fitotoxicitat potencial	Molt elevada	Elevada	Mitjana	Suau	Gens

El contingut en amoníac augmenta durant el període de descomposició i va disminuint al llarg de l'etapa de maduració. El pH del compost tendeix a seguir el cicle de formació d'amoníac i pot arribar a valors de 8,5-9,0 quan el contingut en

amoníac és elevat. Si el valor inicial de la relació C/N és < 25 es pot produir despreniment elevat de d'amoníac, provocant pèrdues de N i retard en aconseguir la maduresa desitjada.

La **taula 33.3** relaciona el contingut en N amoniacal total amb l'estat de descomposició del compost quan aquest té un contingut en N de moderat a elevat. Si el contingut en N és baix (en el cas d'elevades C/N inicials), el contingut en nitrogen amoniacal pot ser baix encara que estigui immadur (vegeu la **taula 33.1**).

Segons Seekins (1996), de vegades, el resultat del test dona una producció de CO_2 massa baixa respecte al que es podria esperar, que pot ser deguda al fet que el nitrogen amoniacal inhibeix la respiració microbiana. D'altra banda, mostres molt joves poden donar resultats molt bons, fet que podria estar lligat al fet que la població bacteriana no hagués tingut prou temps per establir-se i augmentar la seva activitat. En aquest sentit, també la presència d'àcids grassos volàtils i nitrogen amoniacal pot afectar la resposta de color del gel. El mateix autor també indica que el test Solvita funciona bé per avaluar materials procedents de processos correctes de compostatge, en els quals la barreja és homogènia i raonable i la humitat, el pH, la C/N i les condicions aeròbiques s'han mantingut dins un rang adequat.

Taula 33.6. Possibles problemes en l'aplicació del test Solvita (Seekins, 1996)

Problema observat	Possible explicació	Possible solució
El compost és jove, però el test indica <i>madur</i>	Pot ser un material amb poca MOT i que, per tant, respira poc. Pot estar inhibida l'activitat per: pH extrems, temperatures o manca d'humitat prèvies	Comprovar el contingut en MOT i fer el test d'autoescalfament
El compost ha estat processat un temps llarg, però el test indica que és actiu o que té un contingut elevat en NH_3	Procés mal controlat	Determinar quina ha estat la mala praxi i corregir-la
Dóna els mateixos resultats dolents que la setmana anterior	El compostatge no s'està desenvolupant correctament. Cal cercar-ne els motius	Fer les correccions adients

.../...

Problema observat	Possible explicació	Possible solució
Diferents parts de la pila donen resultats diferents del test	Insuficient homogeneïtzació	Voltejar bé i repetir la presa de mostres i el test
La part central de la pila sempre dóna resultats molt baixos del test	La part central està en condicions anaeròbiques	Corregir, voltejant o, fins i tot, afegint-hi material esponjant
El test indica <i>compost madur</i> , però dóna problemes de fitotoxicitat en aplicar-lo	Possible contingut elevat de sals o d'AGV	Comprovar pH i CE

També diu que els composts que significativament es desvien de l'òptim o tenen una edat inferior a dues setmanes poden donar resultats que semblen indicar més maduresa de la que realment té. En la **taula 33.6** es mostra un llistat dels problemes detectats en l'aplicació del mètode.

Tot plegat també porta a continuar pensant que no hi ha cap prova que permeti afirmar taxativament si una mostra és estable o madura, i, per tant, sembla que es manté la necessitat d'utilitzar diverses proves que donin informació complementària.

En la **taula 33.7** es comparen els resultats del test Solvita trobats al laboratori de l'ESAB amb altres paràmetres emprats per qualificar el compost (N-NH₄⁺ sol., **apartat 11**; MOT, **apartat 23**; N_{org}, **apartat 26**; GE i N_r, **apartat 30**; TA, **apartat 34**). Les determinacions es van fer amb mostres de compost de FORM i de RSU (López, 2005).

Taula 33.7. Resultats del test Solvita aplicat a mostres de compost de fangs, de RSU i FORM comparats amb altres paràmetres determinats (López, 2005)

Codi	D7	D11	D20	D53	D54	i17	i8	i10	i13	i16	i19	i18
Compost	FORM	FORM	Fang	FORM	FORM	FORM	RSU	RSU	RSU	RSU	RSU	Fang
N-NH ⁴ sol. (mg kg ⁻¹ sms)	628	527	2.839	2.030	2.821	1.254	1.008	1.026	2.704	3.005	1.248	1.691
MOT (% sms)	59,62	50,59	52,32	56,85	55,47	49,57	33,12	44,00	45,49	45,12	35,75	54,92
N _{org} (% sms)	3,15	2,56	3,07	2,58	1,81	2,38	1,53	1,67	1,36	1,70	1,15	1,89
C/N	9	10	9	11	15	10	10,83	13	17	13	16	15
MOR (% sms)	30,32	24,54	24,05	26,13	23,18	20,59	15,49	17,52	16,18	19,79	19,12	22,28
GE (% sms)	50,85	48,51	45,97	45,96	41,79	41,54	46,76	39,83	35,58	43,86	53,50	40,56
N _{nh} (% sms)	1,62	1,08	1,12	1,45	1,09	1,16	0,65	0,59	0,45	0,76	0,49	0,90
N _r	51,49	42,25	36,57	56,23	60,11	48,78	42,66	35,71	33,27	44,47	42,89	47,72
TA	2-3	4	4	2	4	3	4	3	1	1	2-3	5
Solvita	2	3	2	3	5-6	2	5-6	3	3-4	2-3	2	6

34. Mesura de l'estabilitat pel test d'autoescalfament

34.1. Fonament

El test d'autoescalfament és àmpliament utilitzat a Europa i Amèrica del Nord; és un mètode adequat per a controls de rutina que determina indirectament l'estabilitat gràcies a la mesura de la capacitat d'autoescalfament d'una mostra mantinguda en unes condicions determinades i controlades; aquest autoescalfament serà més o menys gran en funció de la quantitat de matèria orgànica fàcilment degradable que encara contingui la mostra.

La determinació de la temperatura al llarg d'un procés de compostatge resulta molt informativa si s'interpreta correctament. En teoria, quan el procés està finalitzant, el compost hauria d'assolir temperatures properes a les ambientals; no obstant això, quan a les plantes s'emmagatzemen grans quantitats de compost, és difícil detectar les disminucions de temperatura, atès que sempre queda un mínim d'activitat i la massa de compost, a causa de les seves característiques, manté el calor emmagatzemat durant molt temps.

Si se separa una quantitat petita de compost, es refredarà per motiu de l'intercanvi energètic amb l'ambient, fins i tot quan no sigui estable; però un compost insuficientment estable posa en evidència la seva activitat biològica en aïllar una quantitat relativament petita de material dins un vas Dewar. La mesura del calor que genera l'activitat biològica en el compost permet determinar de manera senzilla l'estabilitat a les mateixes plantes de tractament, ja que l'increment de temperatura és un senyal clar de processos inacabats.

Per tant, el test d'autoescalfament mesura l'increment de temperatura produït per l'activitat microbiana d'una mostra, amb una humitat controlada, que s'ha deixat dins un recipient aïllat tèrmicament durant un temps determinat. La generació de

calor es manifesta si s'assoleixen les condicions adients per al desenvolupament microbiològic, especialment en allò que es refereix a aireig i humitat. En un termini d'entre 2 i 9 dies d'experiment ja es poden obtenir resultats.

34.2. Material

- Garbell de 10 mm
- Vasos Dewar d'1,5 L
- Sondes de temperatura per a les mostres. Data Logger marca ESCORT model EJ-1E
- Sonda de temperatura ambient. Data Logger marca ESCORT model EJ-2E
- Programari per descarregar la informació de l'enregistrador
- Ordinador
- Balança de precisió
- Estufa

34.3. Procediment

Una preparació adient de la mostra és fonamental per obtenir un bon resultat. A part d'assegurar-se que la mostra agafada és representativa, cal garbellar-la a 10 mm per intentar igualar les condicions de totes les mostres, ja que l'afinament final que es fa a les plantes no sempre és coincident. A més a més, la diversa bibliografia indica la necessitat de subministrar un grau d'humitat adequat, ja que aquest pot fer variar els resultats finals (Brinton *et al.*, 1995); per tal d'igualar les condicions per a totes les mostres, cal afegir-hi aigua, i en el mètode original es considerava que calia afegir-ne fins que la mostra adquiria un «cert grau de plasticitat», que estigués humida però no degotés en pressionar-la amb la mà. En el treball de Condes i Induráin (2002) es va establir que la humitat més adient per a l'activitat microbiana era del 50% per a mostres de compost de fracció orgànica més RV. Estudis posteriors reafirmen que el grau idoni d'humitat per dur a terme el test és del 50% (McEntee, 2005).

El procediment per a la determinació de l'estabilitat segons el test d'autoescalfament és el que es descriu a continuació:

1. Si la mostra ha estat conservada en fred (a 4 °C) durant un temps abans de fer el test, es treu de la refrigeració i es deixa a temperatura ambient un mínim de 24 hores; en aquest sentit, Seekins (1996) recomana que les mostres massa humides i les que s'hagin hagut d'humitejar es mantinguin a temperatura ambient 24 hores.
2. L'altre aspecte important en la preparació de la mostra és el garbellament. Per això es passa per un tamís d'1 x 1 cm, on quedarà retintut el material més groller. Amb aquesta pràctica s'aconsegueix igualar les condicions de totes les mostres, ja que el garbellament final que es fa a les plantes no sempre és el mateix.
3. Es determina la humitat inicial de la mostra: se separen en una safata d'alumini uns 100 g de mostra i s'assequen a l'estufa a 105 °C fins a pes constant.
4. Es calcula la quantitat de mil·lilitres d'aigua destil·lada que cal afegir-hi per poder obtenir la humitat òptima per al bon funcionament del mètode, que és del 50%. La fórmula del càlcul de l'aigua que cal afegir-hi és la següent:

$$\frac{(P \cdot H) + A}{P + A} = 0,5$$

On:

P = pes de mostra garbellada a 10 mm (normalment, 1.000 g);

H = humitat de la mostra en tant per u;

A = quantitat d'aigua que cal afegir-hi en mL, que aïllant la A, s'obté que

$$A = P - 2 \cdot P \cdot H$$

Figura 34.1. Preparació de la mostra per a la realització del test d'autoescalfament



Amb un simple càlcul s'obté la quantitat de mil·lilitres d'aigua que cal afegir-hi per obtenir la humitat desitjada.

5. Se separa en un vas de plàstic la quantitat de mostra adient per a la prova (uns 900 g, tenint en compte que uns 100 g seran per a la determinació (comprovació) de la humitat d'entrada al termos.

6. S'hi afegeixen els mil·lilitres d'aigua destil·lada prèviament calculats; es barreja fins a obtenir una mescla homogènia. L'aigua s'hi ha d'anar afegint lentament per poder homogeneïtzar la mostra, però malgrat haver calculat el volum, sempre s'ha de controlar que aquest no sigui excessiu ni insuficient. Si en algun cas sembla que la quantitat calculada és massa i podria quedar molt pastós, no s'hi ha d'afegir tota.

7. Un cop humida, se'n separa una part per determinar-ne la humitat, assecant la mostra a 105 °C fins a pes constant per obtenir el percentatge d'humitat d'entrada. La resta de compost humitejat s'introdueix dins el vas Dewar; es donen tres petits cops en la base del termos per assentar la barreja.

8. Es tapa el vas Dewar amb la malla.

9. S'hi introdueix la sonda fins a uns 5 cm de la base del termos i es connecta a l'enregistrador (Data Logger). Sempre s'ha de col·locar a la mateixa profunditat i assegurar-se que la sonda no arribi a tocar la paret del vas Dewar. Després

Figura 34.2. Realització del test d'autoescalfament



s'introdueixen els termos dins una cambra amb temperatura controlada per tal de mantenir la temperatura ambient tan constant com sigui possible al llarg de l'experiment.

10. L'enregistrador de temperatura es programa per enregistrar la temperatura en intervals de 30 minuts fins a 400 lectures, que suposa una durada de 8 dies. De cada mostra se'n fa dues repeticions.

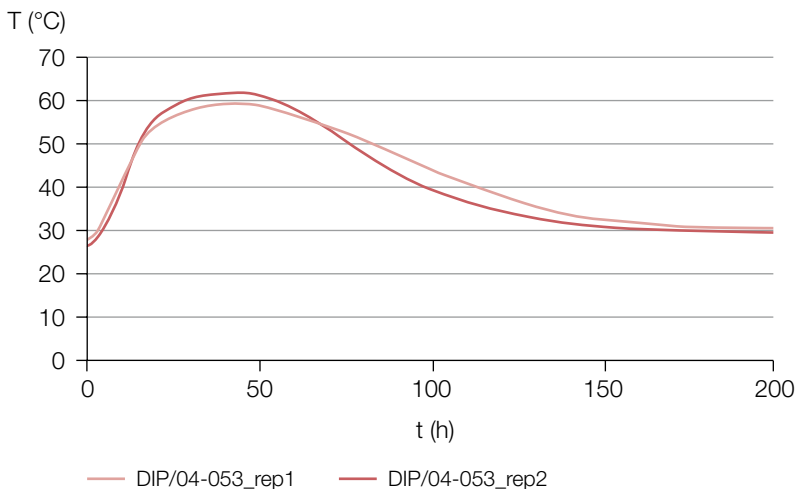
11. Passat el període de 8 dies s'extreuen les mostres dels termos i es determina la humitat de sortida.

12. Amb les dades recollides es fa un gràfic de les temperatures obtingudes i un altre en què se li restarà la temperatura ambient; és el que s'anomena *temperatures netes*.

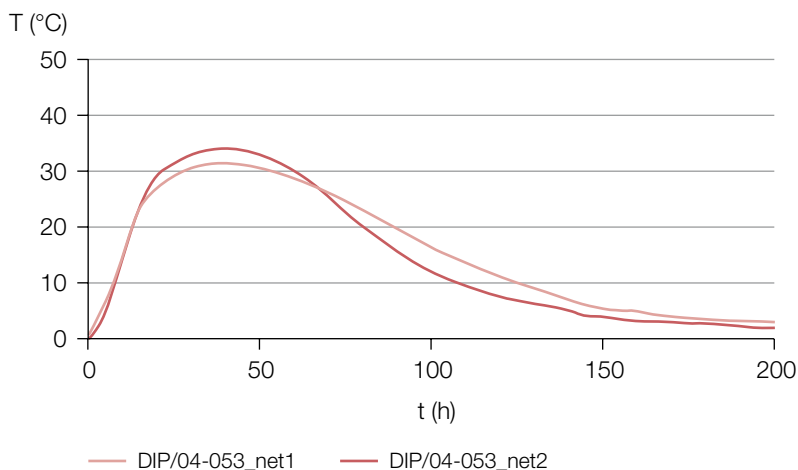
34.4. Interpretació dels resultats

Per poder interpretar el test d'autoescalfament cal restar la temperatura ambient a cadascun dels registres de temperatura de la mostra. Amb tots els registres es pot elaborar una corba d'evolució de temperatura (figura 34.3). El resultat del test

Figura 34.3. Resultats de la determinació (per duplicat) de l'autoescalfament d'una mostra de compost (corba directa de l'evolució de la T i corba de T neta)



.../...



d'autoescalfament ve donat per l'increment de temperatura neta, després de restar la temperatura ambient per minimitzar les diferències entre mostres.

Les corbes resultants presenten fesomies molt diverses, encara que la majoria solen ser com les de la **figura 34.3**. La forma de la corba varia en funció del temps que triga a assolir la temperatura màxima i del temps que es manté a temperatura elevada. Les mostres més estables es mouen per sota dels 10 °C d'increment. La **taula 34.1** resumeix la interpretació del resultat segons l'US Council Composting; s'hi observa com els increments de temperatura més grans indiquen materials més inestables, identificats com a *fresc* o *actiu*.

Taula 34.1. Classificació de l'estabilitat (TMECC, 2002)

Increment màxim de temperatura neta ($T_{\text{vas}} - T_{\text{ambient}}$)	Grau	Tipus de compost
< 10 °C	V	Estable
10-20 °C	IV	Estable
20-30 °C	III	Actiu
30-40 °C	II	Actiu
> 40 °C	I	Fresc

Taula 34.2. Relació entre el grau d'estabilitat determinat pel test d'autoescalfament i l'àrea sota la corba al cap de 72 hores (LAGA, 1985)

Increment màxim de temperatura ($T_{\text{vas}} - T_{\text{ambient}}$)	Grau	Tipus de compost	Àrea sota la corba a 72 hores ($^{\circ}\text{C h}$)
< 10 $^{\circ}\text{C}$	V	Estable	< 1.700
10-20 $^{\circ}\text{C}$	IV	Estable	1.700-2.000
20-30 $^{\circ}\text{C}$	III	Actiu	2.000-2.500
30-40 $^{\circ}\text{C}$	II	Actiu	2.500-3.000
> 40 $^{\circ}\text{C}$	I	Fresc	3.000-3.500

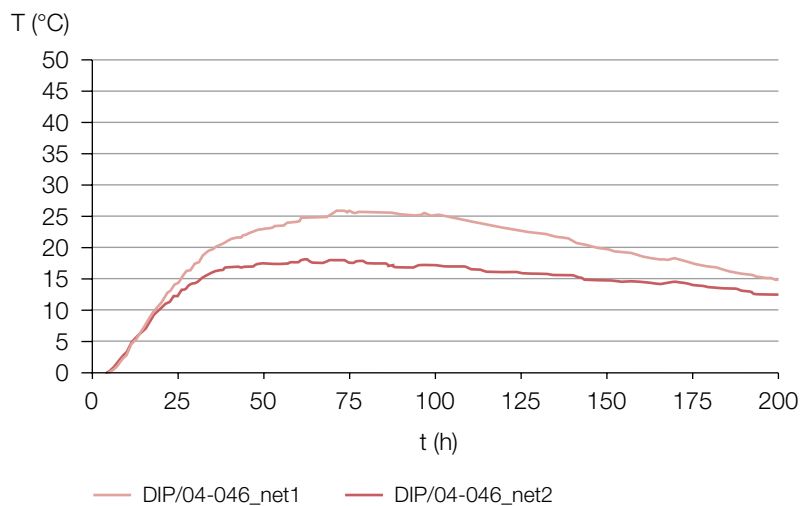
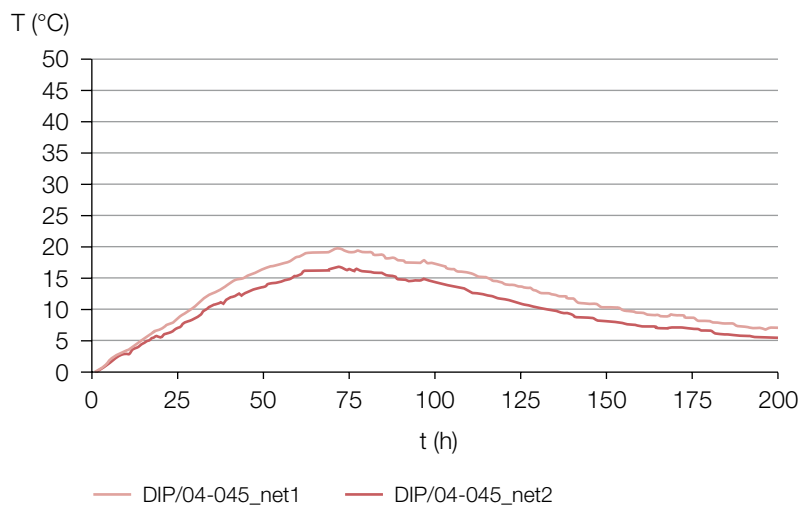
Com que les formes de les corbes poden ser molt diferents (**figura 34.4**), LAGA (1985) donen d'una altra manera els resultats obtinguts amb el test d'autoescalfament; relacionen el grau amb l'àrea sota la corba al cap de 72 hores (**taula 34.2**).

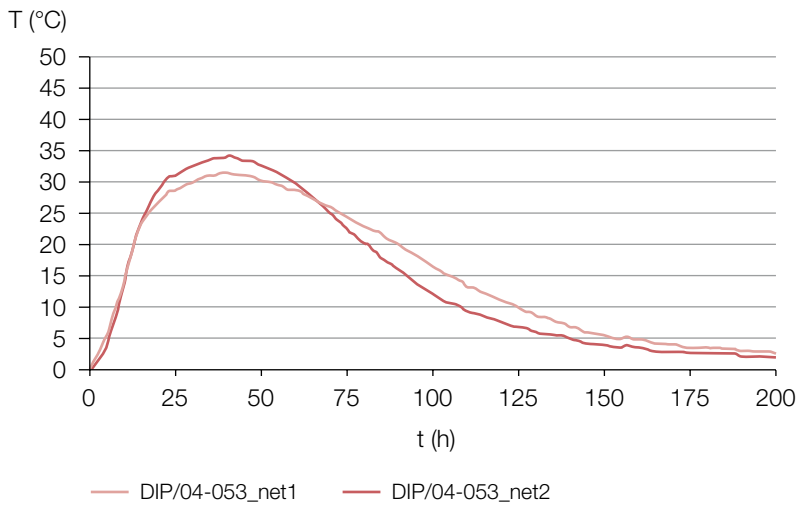
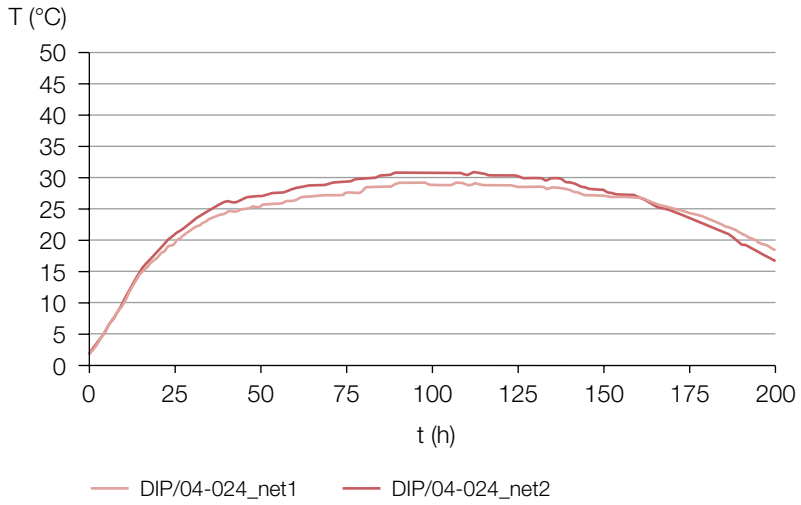
34.5. Comentaris i resultats

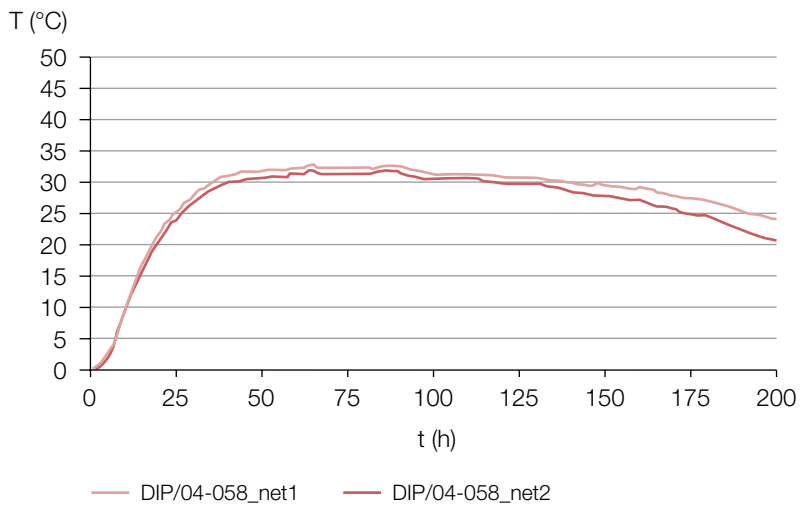
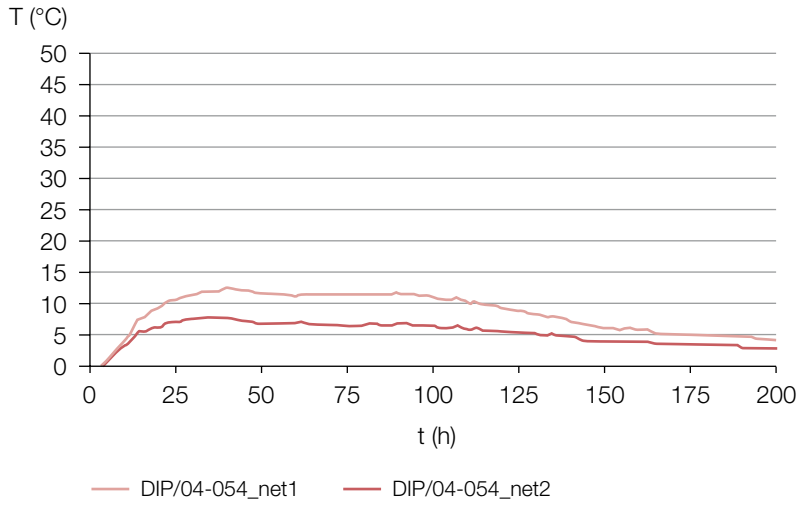
En la **figura 34.4** es mostren les corbes de T neta que han donat diferents mostres de compost en aplicar-hi el test d'autoescalfament tal com està explicat en aquest apartat. Es pot observar la variabilitat que coincideix amb la que presenten altres paràmetres determinats sobre les mateixes mostres. També es pot observar que no sempre presenten el perfil més comú indicat en la **figura 34.3**.

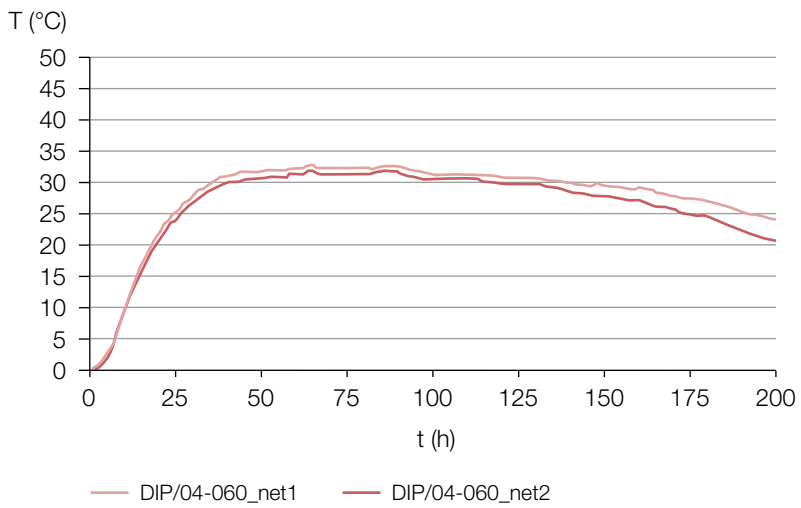
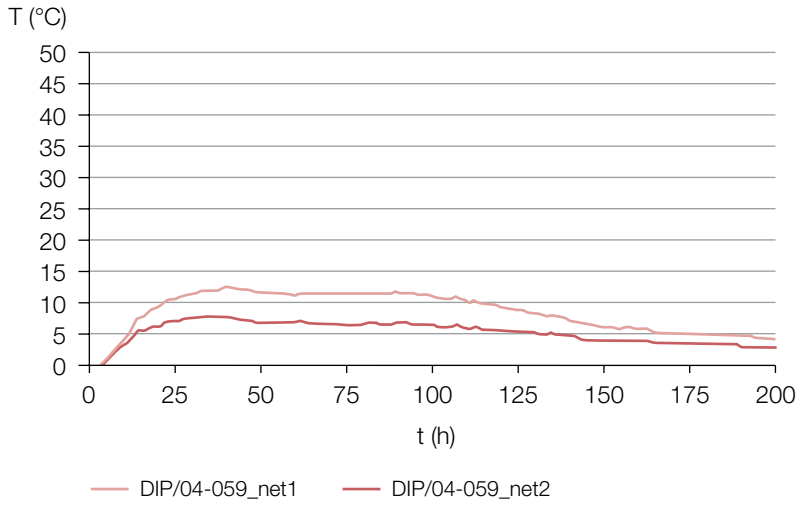
En la **taula 34.3** es fa un llistat de factors que poden influir en el test d'autoescalfament i que cal tenir en compte per evitar interpretacions errònies. En la mateixa taula se suggereixen altres paràmetres obtinguts a partir de la determinació d'aquest test.

Figura 34.4. Diferents corbes de T neta de mostres de compost analitzades al laboratori de l'ESAB









Taula 34.3. Factors que poden tenir influència en el test d'autoescalfament i paràmetres que cal mesurar a part de l'increment de temperatura

Què pot influir?	Què es pot mesurar?
Història de la mostra	Humitat d'entrada
Contingut en MO	Temperatura màxima
Estabilitat de la MO	Temps que tarda a arribar-hi
Quantitat de mostra	Pendent de la pujada
Humitat de la mostra	Temps que es manté a T elevada
Granulometria	Hores totals
Heterogeneïtat mida	Temperatura final
Heterogeneïtat composició	Àrea de la corba
Densitat aparent i real	Humitat final
pH i CE	Olor
N amoniacal	Algun canvi
Capacitat de retenció d'aigua	MO final
Tapat o no	
Profunditat de termòmetre	

La generació d'energia, amb la consegüent pujada de la temperatura, depèn del contingut i estabilitat de la MO que porti la mostra i també de la quantitat de mostra. La generació de calor motivada per l'activitat biològica no es podrà posar de manifest si no hi ha les condicions (sobretot equilibri d'aire i humitat) perquè es desenvolupin els microorganismes aerobis. Sobre això influeix la granulometria del material, l'heterogeneïtat quant a mida i composició, i la capacitat de retenció d'aigua (quantitat i «força» amb què és retinguda) (Condes, 2006; Wagland *et al.*, 2009).

Hi poden influir també les condicions en què ha estat abans el material; per exemple, si ha estat sotmès a condicions extremes, els microorganismes necessitaran un temps per reactivar-se i desenvolupar-se.

En la **taula 34.4**, a part del grau i la temperatura màxima donats pel test d'autoescalfament, s'indiquen les diferents humitats (la prèvia a la preparació de la mostra i les inicials i finals del test) per si poden facilitar la valoració dels resultats.

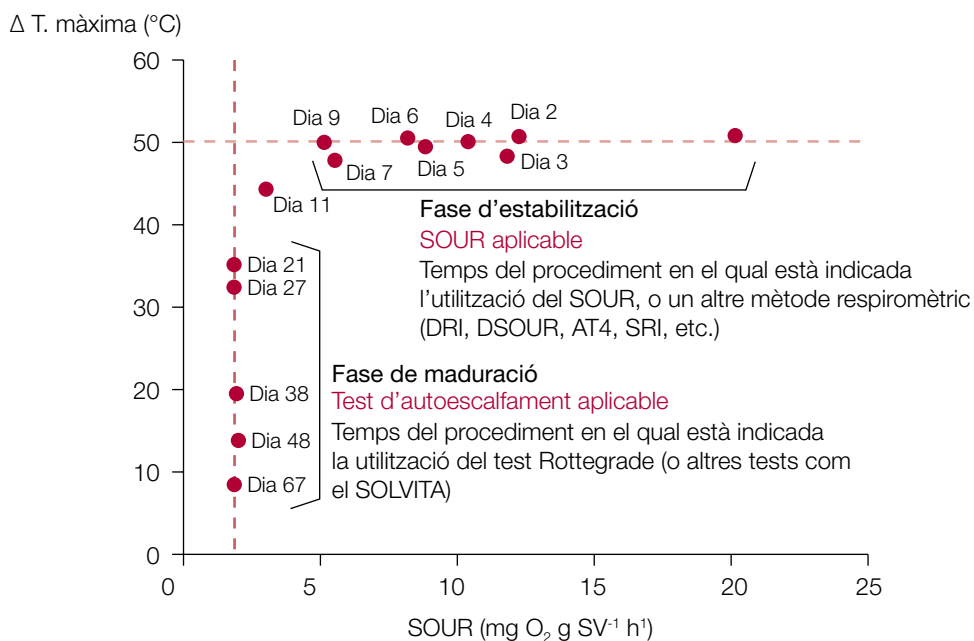
Taula 34.4. Resultats del test d'autoescalfament i continguts previs d'humitat, així com la que presentava la mostra en iniciar i finalitzar el test (informes de convenis ESAB-SMDB)

Mostra	T neta màx. (°C)	Classe de TA	Temps per T màx. (h)	% H	% H inici	% H final
04-001	23,70	3	170,5	13,79	49,28	49,51
04-007	31,25	2	63,5	39,31	52,29	51,63
04-008	1,40	5	180,5	46,45	52,85	53,19
04-009	5,95	5	180,5	43,82	48,77	49,45
04-010	3,10	5	118,75	27,25	49,03	48,53
04-011	15,35	4	108,5	26,25	46,04	45,43
04-014	45,30	1	141,25	32,23	45,93	38,39
04-016	48,00	1	108,5	24,52	48,91	39,62
04-019	3,45	5	97,25	25,76	41,53	41,40
04-021	3,15	5	61,5	39,27	52,09	51,14
04-022	14,15	4	83,5	27,21	39,78	38,06
04-023	41,15	1	138,25	17,60	50,79	43,89
04-024	29,85	2	89	18,97	45,92	42,80
04-036	6,95	5	61,5	34,77	47,29	46,13

Tot i que el test d'autoescalfament dóna informació important sobre l'estabilitat de la mostra, s'han de vigilar, quan s'utilitzi, els factors indicats en la **taula 34.3** i, sobretot, tenir en compte els resultats d'altres determinacions (**vegeu l'apartat 29**). També cal veure quin tipus de determinació és més aconsellable utilitzar segons el tipus de mostra i la seva edat. El mètode del test d'autoescalfament no és adequat

utilitzar-lo en mostres com fangs de depuradora, que de cap manera no presentarien les propietats físiques adequades per dur-lo a terme (humitat i porositat). La **figura 34.5** (Plana, 2008) mostra quan es considera més convenient aplicar el test d'autoescalfament o és millor fer una prova respiromètrica.

Figura 34.5. Conveniència d'usar un mètode respiromètric o el test d'autoescalfament per mesurar l'estabilitat d'un material que s'està compostant (Plana, 2008, a partir de Stentiford, 2002)



L'ús i la interpretació d'aquest test, com d'altres, cal fer-los amb cura i precaució, tenint en compte altra informació complementària. Cal no oblidar, per exemple, que l'increment de temperatura també pot ser provocat per activitat exotèrmica química o, fins i tot, per activitat biològica no relacionada amb la respiració.

En la **taula 34.5** es fa una comparació de les condicions de realització i del temps i dificultat d'execució entre el test d'autoescalfament, el grau d'estabilitat i el test Solvita.

Taula 34.5. Comparació del test d'autoescalfament amb el grau d'estabilitat i amb el test Solvita

	Grau d'estabilitat (GE)	Test d'autoescalfament (TA)	Test Solvita
Condicionament	Assecar Molturar	Garbellar Humectar	Garbellar Humectar
Quantitat de mostra	2,5 g mostra seca	800 g mostra humida	100 g mostra humida
Temps de feina	5 h 50 min	3 h	2 h
Temps real	3 dies	8-9 dies	4 h
Origen	ESAB	UE	EUA
Possibilitat d'aplicar-lo en planta de tractament	No	Sí?	Sí?
Dificultat en l'execució	Cal ser acurat i rigorós, però seguint les passes s'aconsegueix una bona repetibilitat	Cal pràctica per detectar la quantitat d'aigua correcta	Addició d'aigua
Informació obtinguda	Maduresa Comportament al camp de la MO i del N	Estabilitat	Estabilitat
Cost	Inversió inicial (fungible + aparells de laboratori) més reactius	Inversió inicial (termos més equip de lectura electrònic)	Cada mostra té un cost (aprox., 20 euros)

Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

BIROU *et al.*, 1987; RANNEKLEV i BAATH, 2003; OLTRA, 2006; RYNK, 2000; WEPPEN, 2001, 2002.

35. Tècniques respiromètriques

35.1. Introducció

En el grup de tècniques respiromètriques s'inclouen totes aquelles que valoren la qualitat de la matèria orgànica d'un compost o altre adob orgànic a partir de quantificar o semiquantificar, per mesura de l'activitat respiratòria, la fracció més fàcilment mineralitzable o descomponible. La respiració és un reflex de l'activitat metabòlica microbiana en unes determinades condicions.

Les tècniques respiromètriques clàssiques es basen en la comparació de l'activitat respiratòria que presenta un sòl segons si se li ha afegit o no el material orgànic que es vol estudiar. La «respiració» evidentment correspon a la dels organismes que viuen en el sòl i informa tant de la seva activitat com de l'assimilabilitat del material orgànic que s'hi afegeix. Aquest segon aspecte és el que pot informar del grau d'estabilitat/maduresa de la matèria orgànica del material estudiat.

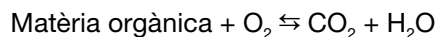
L'activitat respiratòria es pot mesurar per la producció de CO₂, pel consum de O₂ o per ambdós paràmetres alhora. De les diferents possibilitats que ofereixen aquestes tècniques les que han estat més utilitzades, per la seva senzillesa, són les basades en la mesura del CO₂ (Morel *et al.*, 1977, 1979, 1983, 1986; Moré, 1983; Saña, 1985; Moré *et al.*, 1987a,b; Navarro *et al.*, 1989; Estrada, 1995; Fernández *et al.*, 2001, 2008). No obstant això, aquestes mesures tenen el problema que necessiten un sòl de referència que, a més a més, presenta problemes amb l'anomenat efecte *priming* o d'encebament (Ribalta *et al.*, 1987), que diu que la matèria orgànica del sòl de referència es mineralitza més per causa d'haver-hi afegit un substrat orgànic. Per aquesta raó, es troben també mètodes que treballen sense sòl, directament amb la mostra de material orgànic, o també amb el material en suspensió en aigua (Nicolardot *et al.*, 1986; Willson i Dalmat, 1986; Adani *et al.*, 1991; Ianotti *et al.*, 1992; Lasaridi i Stentiford, 1998; Barrena *et al.*, 2006).

El mètode aquí descrit es va posar a punt en els laboratoris de l'ESAB amb el TFC de Moré (1983), fixant-se com a objectius tant la cerca d'una metodologia per qualificar la maduresa del compost com la predicció del comportament del compost una vegada barrejat amb un sòl.²³ Segurament, aquests també eren els objectius dels treballs duts a terme els anys setanta que es troben a la bibliografia, però amb el pas del temps, amb la millora de les tècniques analítiques i a causa de certs canvis en els objectius dels tractaments biològics, s'han produït variacions importants en aquest tipus de mètodes. En els darrers anys, més que la qualitat del compost i l'estudi del seu comportament en el sòl, es busca establir la seva estabilitat com a indicador de finalització del procés (Saviozi *et al.*, 1992; Ianotti *et al.*, 1993, 1994; Binner *et al.*, 1997 i 1999; Lasaridi i Stentiford, 1998; Scaglia *et al.*, 2000; Adani *et al.*, 2001, 2006; Gea *et al.*, 2004; Tremier *et al.*, 2005; Barrena *et al.*, 2006; Wagland *et al.*, 2009), i es treballa amb respirometres dinàmics que permeten utilitzar quantitats elevades de mostra.

Les tècniques respiromètriques amb sòl també poden ser utilitzades per determinar la toxicitat, ja que l'aportació de determinats materials pot alterar l'activitat dels microorganismes i, per tant, la seva respiració (Martens, 1995; Montserrat, 2000; Sierra *et al.*, 2001; Miles i Doucette, 2001).

35.2. Fonament de la tècnica respiromètrica

Les respirometries mesuren la respiració (despreniment de CO₂) de la biomassa microbiana del sòl i de les barreges posades a incubar en unes condicions aeròbiques òptimes. El despreniment de CO₂ informa de l'activitat i/o creixement de la biomassa microbiana dels sòls en relació amb la matèria orgànica disponible.



23. El comportament del compost al laboratori, tot i donar els resultats més ràpidament, no és exactament el mateix que el que tindria al camp, ja que al laboratori s'assegura el manteniment d'unes condicions favorables per al desenvolupament dels microorganismes; per això, en alguns casos pot ser necessari dur a terme proves de camp per fer comparacions, ja que en les proves de laboratori no es produeix l'efecte clima, planta i reg (vegeu l'apartat 38).

El procés es duu a terme dins d'un recipient hermèticament tancat (**figura 35.1**). El CO_2 alliberat per les barreges i pel sòl es recull en NaOH de concentració i volum coneguts. Per determinar el CO_2 recollit es valora per retrocés una alíquota de NaOH amb una solució àcida i un indicador adequats, però prèviament cal afegir-hi BaCl_2 per precipitar els carbonats formats.

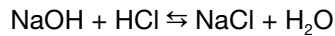
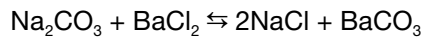
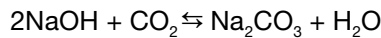
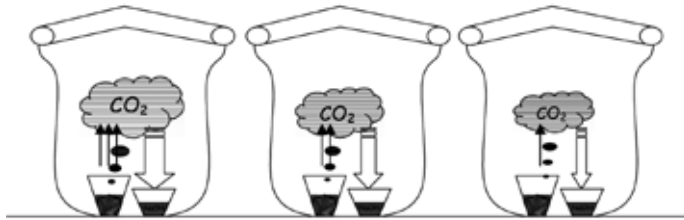


Figura 35.1. Esquema del dispositiu per dur a terme les respirometries



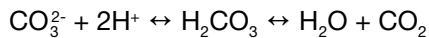
35.3. Procediment

El procediment inclou diferents fases:

- Selecció i caracterització del sòl de referència.
- Preparació del sòl.
- Determinació de la capacitat de camp del sòl de referència.
- Preparació del compost o material orgànic que cal utilitzar i del qual ja s'han de conèixer les característiques generals.
- Selecció de les barreges que s'han de realitzar segons els objectius.
- Preparació de les barreges i dels pots per a la incubació.
- Determinacions periòdiques.
- Càlculs i interpretació dels resultats.

35.3.1. Selecció i caracterització del sòl de referència

El sòl de referència ha de reunir certes característiques; per una banda, no pot tenir un alt contingut de matèria orgànica per no interferir en l'efecte del material assajat; per l'altra, no ha de ser àcid, ja que dificultaria l'activitat dels microorganismes en exercir un efecte selectiu entre els grups presents. També és preferible que tingui un baix contingut en carbonats per tal d'evitar possibles interferències esdevingudes pel desplaçament de l'equilibri:



És important la selecció del sòl de referència en el cas de voler preparar una escala de taxes de respiració com a índex de maduresa, atès que estaria molt condicionada pel sòl de referència escollit. Altres vegades es vol estudiar el comportament (mineralització) d'un compost o d'un material orgànic en un determinat tipus de sòl en el qual es pretén fer aplicacions en ple camp; en aquest cas es poden fer les proves prèvies respiromètriques i de mineralització (vegeu l'apartat 36) utilitzant el mateix sòl.

35.3.2. Preparació del sòl

Quan el sòl s'agafa del camp, cal assecar-lo a l'aire i garbellar-lo per obtenir la fracció inferior a 2 mm, amb la qual es treballa per fer les respirometries. Tot això provoca certes alteracions en el sòl, de manera que quan després es porta a les condicions d'humitat i temperatura pròpies de la respirometria (favorables a l'activitat microbiana), l'índex de respiració propi del sòl es dispara espectacularment en un principi, i va baixant tot seguit fins a assolir l'equilibri que es dona en la seva circumstància natural. Com que aquest comportament podria emmascarar la mineralització del compost, cal posar sempre el sòl de referència en les condicions d'equilibri abans de fer la incubació amb el material orgànic. Això significa tenir-lo durant un període de 15-20 dies en les condicions de temperatura (28 °C) i humitat adequades (75% de capacitat de camp) i, sobretot, constants.

35.3.3. Determinació de la capacitat de camp del sòl de referència

Pot utilitzar-se qualsevol de les tècniques usuals, com la de l'extractor de pressió - membrana de Richards. Un mètode simple i ràpid és el de Shaw (Jenkinson i Powlson, 1976), que, tot i que no és gaire precís, cobreix prou els requeriments per realitzar proves d'incubació. La metodologia és la següent: en un tub de percolació amb llana de vidre al fons s'introdueixen 50 g de sòl, assecat a l'aire i garbellat a 2 mm, i 50 mL d'aigua. Es manté així durant mitja hora, amb l'aixeta tancada. En acabar el període esmentat s'obre l'aixeta i es mesura el volum d'aigua que drena durant 30 minuts. La capacitat de camp, expressada en grams d'aigua per 100 grams de sòl sec, ve donada per l'equació següent:

$$CC = \frac{\text{Vol. aigua afegida} - \text{Vol. aigua drenada} + (50 \text{ g sòl} \cdot \text{humitat residual})}{50 \text{ g sòl sec a l'aire} \cdot (1 - \text{humitat residual})}$$

On la humitat residual es refereix a la quantitat d'aigua que reté el sòl assecat a l'aire, expressada en tant per u (**taula 35.3**).

35.3.4. Preparació del compost o material orgànic que s'ha d'utilitzar, les característiques generals del qual s'han de conèixer

Per fer les proves respiromètriques interessa que la mostra hagi patit el mínim d'alteració i, a la vegada, assegurar-ne l'homogeneïtat; és coneguda la dificultat d'homogeneïtzar aquest tipus de mostres quan estan humides, raó per la qual cal procedir a un asseccament previ. En el treball final de carrera de Moré (1983) es van fer proves amb diferents sistemes d'asseccament i conservació de la mostra i es va arribar a la conclusió que l'asseccament a l'aire o en estufa ventilada a 60 °C podien utilitzar-se indistintament per a la preparació de la mostra de sòl.

Una vegada assecada la mostra, cal triturar-la per facilitar la posterior barreja amb el sòl, determinar-ne la humitat residual i emmagatzemar-la correctament.

35.3.5. Selecció de les barreges segons els objectius

Les proves respiromètriques es van començar a utilitzar al laboratori de l'ESAB

per determinar el grau de maduresa i relacionar-lo amb altres paràmetres (Moré, 1983; Moré *et al.*, 1987a), seguint treballs previs realitzats per Morel *et al.* (1977, 1979). Es van utilitzar barreges majorment de compost i sòl que contenien 235 mg de carboni oxidable (del compost) per cada 100 g de sòl sec.

Més endavant, quan les respirometries es van emprar per dur a terme estudis de mineralització de la matèria orgànica (Navarro *et al.*, 1989; Vidal, 1995; Almansa, 1999 i 2000; Fernández *et al.*, 2001 i 2008), es van preparar altres tipus de barreges tenint en compte la composició dels diferents materials orgànics en estudi i la quantitat de matèria orgànica o nitrogen orgànic que es pretenia aplicar al sòl.

35.3.6. Preparació de les barreges i dels pots per a la incubació

Es necessita poc utilatge: pots de tanca hermètica de 5 L i vasets (per a la mostra, la sosa i l'aigua per mantenir la humitat ambiental) (**figura 35.2**). Tot el

Figura 35.2. Imatges de la preparació de les proves respiromètriques



material ha d'estar ben desinfectat.²⁴ Cal disposar d'una cambra termostata-da a 28 °C.

Sempre es fa com a mínim tres repeticions per a cada prova, a més a més del blanc (també per triplicat), únicament amb sòl. Les barreges del sòl amb el mate-rial orgànic s'han de fer amb cura, i és aconsellable pesar i preparar cada barreja per separat dins del vaset on han d'estar durant tota la prova; una vegada prepa-rades cal afegir-hi (a poc a poc i remenant) l'aigua necessària per arribar al 75% de capacitat de camp. El vaset amb la barreja, juntament amb un altre amb 50 mL de NaOH 0,2M i un altre amb aigua, s'introdueixen dins el recipient de 5 L de ca-pacitat amb tapa hermètica. Al conjunt s'hi afegeixen també tres pots més que contenen només els vasos amb sosa i aigua.

El conjunt de pots preparats es manté 7 o 21 dies a 28 °C dins de la cambra ter-mostatada. Per a estudis de mineralització de la matèria orgànica de vegades es fan assajos de més duració.

35.3.7. Determinacions periòdiques

Cal fer valoracions de les solucions de sosa amb una freqüència variable; els primers dies és aconsellable fer una valoració cada 24 hores perquè es produeix una explosió de l'activitat microbiana motivada per les bones condicions i la presència de matèria orgànica; segons els resultats obtinguts es van espaiant les valoracions, però asse-gurant cada dia l'aireig dels pots per evitar l'esgotament del oxigen i l'aparició de con-dicions anaeròbiques. Cada dia que es fa la valoració cal canviar la solució de sosa.

La valoració de les solucions de sosa de cada vaset es fa com a mínim per tripli-cat; s'agafen alíquotes de 5 mL, s'hi afegeixen 5 mL de solució de BaCl₂ i 3 gotes de fenolftaleïna i es valoren amb HCl 0,05N de factor conegut. Cal tenir en compte:

- Treure els pots sempre en el mateix ordre per tal que el temps entre valoraci- ons es mantingui. La valoració s'ha de fer tant ràpidament com es pugui. Treu- re els pots de sosa i aigua i reemplaçar-los immediatament per altres de nous. Tancar el pot i tornar-lo a ficar dins l'incubador.

24. Per desinfectar el material es renta amb aigua, sabó i lleixiu i s'asseca amb l'estufa a 50 °C du- rant una hora.

- Tapar el pot de sosa immediatament entre valoracions per evitar que es carbonati. Si la sosa s'ha posat en pots d'orina que disposin de tapa, es poden treure tots alhora i tapar-los mentre es fan les valoracions i es reemplacen els pots.

En algunes experiències és aconsellable caracteritzar les barreges inicials (per la qual cosa caldrà preparar barreges extra) i les finals, una vegada finalitzada la prova respiromètrica. S'aconsella determinar-hi: humitat, pH, CE, N-NH₄, N-NO₃⁻ i MOT.

En el cas de voler tenir més informació sobre els canvis produïts durant la incubació, es pot preparar més quantitat de les diferents barreges i es mantenen en les mateixes condicions que les utilitzades per a l'estudi respiromètric, però permetent treure mostres per analitzar periòdicament (**vegeu l'apartat 36**) (Vidal, 1995; Fernández *et al.*, 2001).

35.3.8. Càlculs i interpretació dels resultats

Morel *et al.* (1979) van definir dos paràmetres respiromètrics:

Taxa de mineralització global (TMG): *mg de C després com a CO₂ per la barreja sòl més compost, dividit per mg de C totals, expressat com a percentatge.* Aquesta taxa informa, en ser comparada amb el valor TMG propi del sòl testimoni, de l'increment general en l'activitat microbiana que ha esdevingut com a conseqüència de l'addició del compost problema.

$$\text{TMG}_{\text{barreja}} = \frac{C_{\text{després (terra + adob)}}}{C_{\text{present (terra + adob)}}} \quad \text{TMG}_{\text{terra}} = \frac{C_{\text{després terra}}}{C_{\text{present terra}}}$$

Taxa de mineralització complementària (TMC): *mg de C després com a CO₂ per la barreja sòl més compost, menys els mg de C després pel sòl, dividit per mg de C aportat pel compost, expressat com a percentatge.* Aquesta taxa expressa el percentatge de C del compost que s'ha mineralitzat, i teòricament sembla indicar millor la maduresa del compost estudiat, tot i estar significativament correlacionada amb la TMG.

$$\text{TMC} = \frac{C_{\text{després (terra + adob)}} - C_{\text{després terra}}}{C_{\text{introduït per l'adob}}} \cdot 100$$

Les taxes de mineralització TMG i TMC, segons Moré *et al.* (1987a,b), podrien considerar-se com a molt bons paràmetres de qualificació del compost, però presenten una sèrie de dificultats tècniques que les converteixen en inadequades per a la determinació ràpida de l'estat de maduresa, tal com ja reconeixen Morel *et al.* (1979).

La **taula 35.1** (Moré, 1983; Saña, 1985) complementa la **taula 31.1** amb els valors de la TMC als 7 dies per als tres grups de mostres i es comparen amb altres paràmetres químics; els valors de la TMC per als dos grups de fangs són totalment comparatius, però no els valors per a les mostres de compost de RSU, ja que es van realitzar amb un sòl de referència diferent.

Taula 35.1. Taxa de mineralització de tres grups de mostres (Moré, 1983; Saña, 1985) de les quals es donen també altres característiques relacionades amb l'estabilitat

	Fangs aeròbics	Fangs anaeròbics	Compost RSU
n	60	16	45
TMC 7 dies	19,95 ± 6,97	14,12 ± 3,29	2,76 ± 1,84
% MOT	54,19 ± 13,04	36,36 ± 16,07	40,68 ± 11,87
% MOT/C _{ox}	2,18 ± 0,26	1,77 ± 0,27	2,25 ± 0,24
% GE	35,5 ± 6,50	50,0 ± 8,50	37,05 ± 11,06
C _{AH} /C _{ox}	0,083 ± 0,049	0,088 ± 0,086	0,125 ± 0,06
C _{AF} /C _{ox}	0,134 ± 0,048	0,112 ± 0,057	0,128 ± 0,05
E4/E6	6,06 ± 1,880	5,40 ± 1,740	5,36 ± 1,48
Taxa polimerització	2,275 ± 3,044	1,713 ± 1,856	1,31 ± 1,24
C _{humina} /C	0,104 ± 0,107	0,234 ± 0,112	-
Grau humificació	32,41 ± 12,110	42,96 ± 10,570	51,19 ± 12,18

TMC: taxa de mineralització complementària.

En la **taula 35.2** es donen els valors de la TMC als 7 dies per a diferents materials i es comparen amb els valors del percentatge del GE i del CBC (**vegeu els apartats 30 i 32**).

Taula 35.2. Valors de la TMC₇, del GE i de la CBC de diferents materials orgànics (Gràcia *et al.*, 1985)

	TMC ₇	% GE	CBC
Fem vaquí	14,31	38,5	114
Fem ovella	1,30	48,5	157
Compost RSU	14,95	28,5	38
Escorça compostada	3,33	50,9	100
Torba 1	4,55	41,0	162
Torba 2	4,23	66,0	153

A causa dels problemes amb el sòl de referència, que dificulten la utilització del mètode com a paràmetre de rutina, s'inclouen dos apartats (35.4 i 35.5) en els quals s'exposen dues maneres diferents de solucionar, en part, aquestes dificultats.

35.4. Aplicació d'un model lineal per estimar el valor de la TMC (paràmetre biològic) en funció de tècniques analítiques químiques emprades per caracteritzar materials orgànics

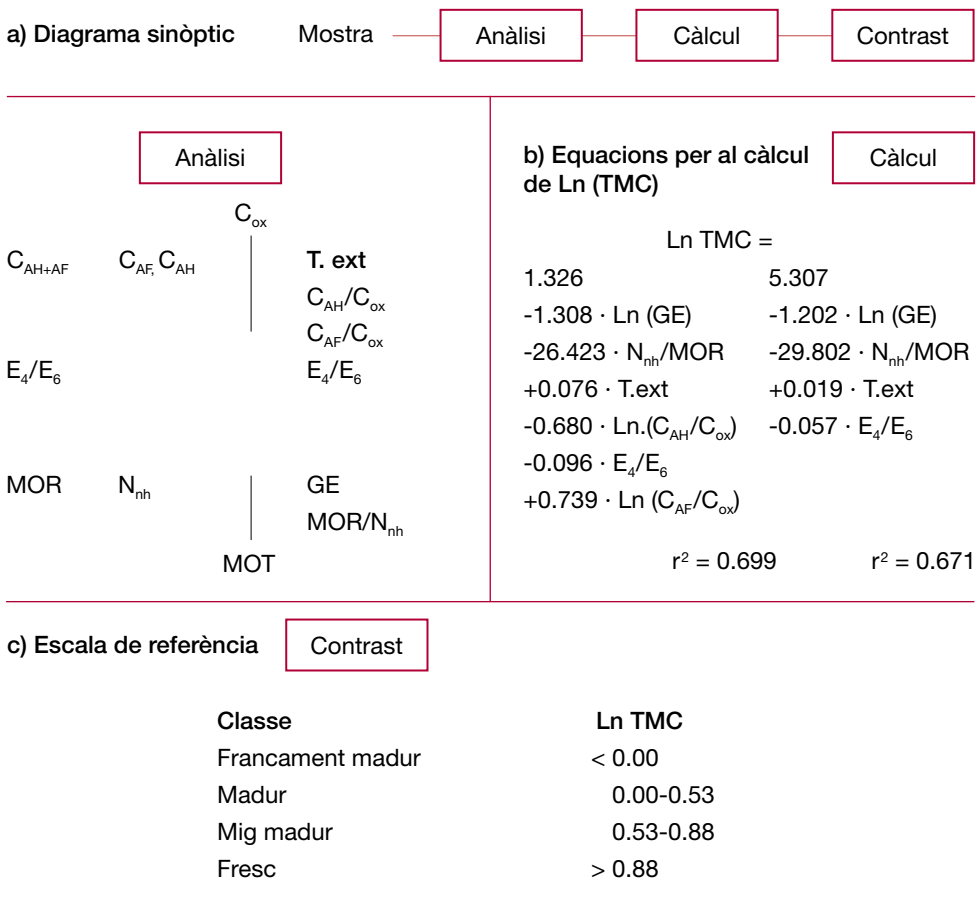
La TMC seria un bon índex de maduresa per a la matèria orgànica si no depengués tan estretament del sòl que participa en l'assaig biològic. Per aquest motiu, Gràcia *et al.* (1985) i Moré *et al.* (1987a,b) van intentar trobar el valor de la TMC en funció d'un grup (el més reduït possible) de paràmetres químics, aprofitant els avantatges analítics d'aquests últims i el contingut interpretatiu de la prova biològica.

Moré (1983) va analitzar 43 mostres de compost de diferents edats i procedències amb algunes de les metodologies incloses en aquest manual: MOT, MOR, GE, C_{ox}, àcids húmics i fúlvics i relacions entre ells, E4/E6. Paral·lelament es van fer les respirometries que van determinar la TMC als 7 dies i es va proposar una escala, segons maduresa, de 0 a 0,88 pel logaritme neperià de la TMC. En estudiar les correlacions de la TMC amb cadascun dels paràmetres químics determinats, cap d'ells no arribava a explicar individualment de manera satisfactòria els valors que adoptava la TMC; els millors coeficients a l'1% de significació van ser per

E4/E6 (-0,521), GE (-0,596) i MOT (-0,574). Es va buscar com relacionar un grup de paràmetres químics amb la TMC mitjançant un model lineal; en la **figura 35.3** es pot veure l'esquema seguit per arribar a dues equacions diferents per trobar la TMC a partir de dos grups de paràmetres químics.

Els resultats van ser interessants però sense aplicació pràctica en les anàlisis més rutinàries, ja que entre els paràmetres que cal utilitzar se n'hi troben alguns de relacionats amb l'extracció de substàncies húmiques (**vegeu l'apartat 31**), una metodologia amb certa complicació i força afectada per les condicions de treball.

Figura 35.3. Aplicació d'un model lineal per relacionar la TMC amb paràmetres químics (Moré i Saña, 1985)



35.5. Mètodes respiromètrics que utilitzen sorra com a material de suport

35.5.1. Utilització de sorra com a material de suport en els mètodes respiromètrics

En els mètodes respiromètrics cal incubar el material orgànic del qual es vol conèixer l'estabilitat i/o la cinètica de mineralització sota unes condicions adequades d'aireig, humitat i temperatura que afavoreixin al màxim el desenvolupament dels microorganismes responsables del procés de la mineralització de la matèria orgànica; a més a més, cal disposar de la manera de mesurar l'oxigen consumit o el diòxid de carboni després. En l'**apartat 35.3** es descriu aquest mètode per a barreges amb sòl i s'indiquen els problemes que pot presentar, principalment a causa de la necessitat d'un sòl de referència. Tot i que hi ha mètodes que incuben el material sense sòl, s'han trobat certs problemes amb la difusió de l'oxigen i, per això, en la bibliografia hi ha referències als mètodes respiromètrics estàtics i dinàmics (Adani *et al.*, 2001 i 2006; He *et al.*, 2006); aquests darrers donen millors resultats perquè afavoreixen la difusió de l'oxigen, però també tenen un cost econòmic superior.

El mètode respiromètric que utilitza sorra com a material inert de suport intenta facilitar al màxim la determinació. La barreja amb sorra afavoreix l'aireig del material sense aportar la respiració de base d'un sòl i permet treballar amb més quantitat de mostra. Es van fer proves prèvies per posar en marxa el mètode (Torras, 1996; Martínez, 1998; Miró, 2001) i posteriorment es va aplicar a materials orgànics de diferent origen, comparant els resultats obtinguts amb respirometries fetes amb barreges amb sòl (Fernández *et al.*, 2001, 2008; López *et al.*, 2009; López, 2001).

La pauta que s'ha de seguir és molt semblant a la de les respirometries amb sòl. El material orgànic es tracta de la mateixa manera que s'explica en l'**apartat 35.3** i la sorra silícica que s'utilitzarà ha d'estar rentada tres vegades amb aigua destil·lada, assecada a l'estufa i ha de tenir un diàmetre mitjà de 2 mm.

La proporció de material que s'ha d'afegir a la sorra per preparar la barreja dependrà de la quantitat de matèria orgànica que contingui, i es pot arribar a utilitzar 10 g de material sec per 100 g de sorra.

Com que la sorra no té pràcticament capacitat de retenció d'aigua i les quantitats de materials orgànics afegides són elevades, cal mesurar la capacitat de camp

de cada barreja per assegurar que les condicions d'humitat són adequades (**taula 35.3**).

Les valoracions poden seguir les pautes indicades per les respirometries amb sòl, tot i que en alguns casos pot ser necessari variar els volums que s'han de valorar o la concentració dels reactius.

Taula 35.3. Determinació de la capacitat de camp de les barreges de sorra i material orgànic

Determinació de la capacitat de camp

Es va utilitzar el mètode de Shaw (Jenkinson i Powelson, 1976), per la seva simplicitat i rapidesa, el qual, malgrat no ser gaire exacte, cobreix prou els requeriments per dur a terme proves d'incubació. El mètode ha estat lleugerament modificat.

Materials:	<ul style="list-style-type: none"> • Percoladors de vidre de 60 mL ben nets i amb la clau siliconada, posant-hi una petita quantitat de silicona i fent girar la clau • Llana de vidre • Gots de precipitats de 100mL • Espàtula amb cullereta
Procediment:	<ul style="list-style-type: none"> • Preparar dos percoladors per a cada mostra. • Marcar els percoladors a una mateixa alçada per tal que a tots hi hagi la mateixa quantitat de llana de vidre. • Treure amb pinces la llana de vidre i introduir-la en el percolador amb cura compactant-la lleugerament fins a la marca. Tancar la clau del percolador. • Introduir en un vas de precipitats 50 g de la sorra silícica assecada a 105 °C i barrejar-la homogèniament amb la quantitat corresponent de MS assecada a 40 °C. • Posar un embut de boca ampla sobre el percolador i traspasar la barreja a poc a poc amb una cullereta evitant que s'aixequi pols. L'embut ajudarà perquè no quedin restes per les parets. És molt important barrejar-ho molt bé per tal d'evitar que la disposició de partícules no sigui homogènia. • Afegir 50 mL d'aigua al percolador, esbandint primer el vas i l'embut. S'hi han d'afegir a poc a poc per tal que no facin bombolles, que podrien esquitxar i fer perdre mostra.

.../...

- Deixar l'aigua durant 30 minuts per humitejar el material contingut.
- Obrir l'aixeta durant 30 minuts i recollir quantitativament l'aigua drenada en una proveta de 50 mL.



La capacitat de camp, expressada en grams d'aigua per 100 g de barreja, ve donada per l'equació:

$$CC(\text{mL aigua} / \text{g MS}_{40^\circ\text{C}}) = \frac{\text{mL aigua afegida} - \text{mL aigua drenada} + \left(\frac{\text{g MS}_{40^\circ\text{C}}}{2} \cdot \frac{\% \text{HR}}{100} \right)}{\frac{\text{g MS}_{40^\circ\text{C}}}{2}}$$

La **figura 35.4** representa el despreniment acumulat de diferents materials orgànics incubats amb sorra; les barreges es van fer tenint en compte el percentatge de matèria orgànica de cada material i posant la quantitat de mostra seca a 60 °C i triturada que aportés 2 g de MO als 100 g de sorra. En la **taula 35.4** s'expressen d'una altra manera els resultats de la respirometria: es calculen per a tres dies diferents els $\text{mg O}_2 \text{ kg MO}^{-1} \text{ h}^{-1}$.²⁵ S'observen les diferències entre materials, així com els canvis al llarg dels dies d'incubació. En la **taula 35.5**, amb la finalitat de veure

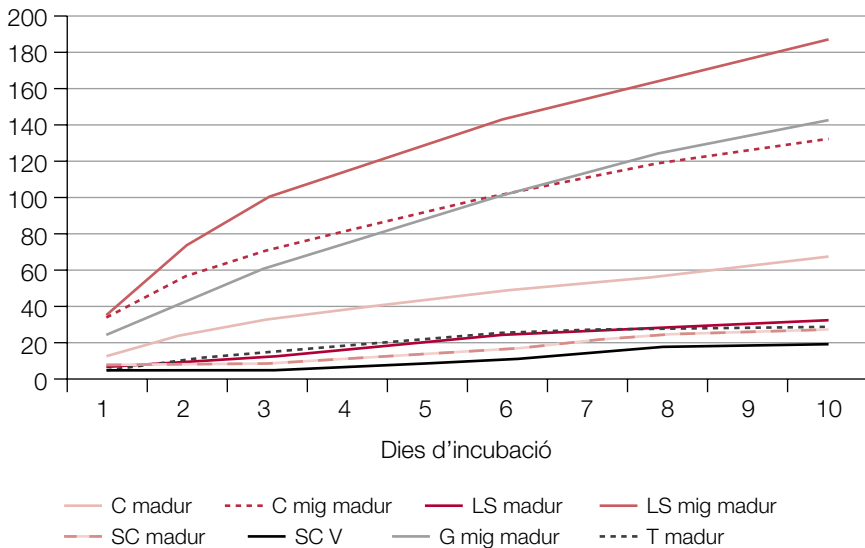
25. Per a aquest càlcul s'ha fet l'aproximació de considerar que a 1 mol de diòxid de carboni després li correspon 1 mol d'oxigen consumit, tot i que en realitat no sempre és així, ja que depèn del grau d'oxidació de les molècules orgàniques.

Taula 35.4. Consum d'oxigen de les barreges de diferents materials amb sorra en diferents dies de la incubació (Miró, 2002)

Mostres de compost	mg O ₂ kg MO ⁻¹ h ⁻¹		
	Dia 1 d'incubació	Dia 4 d'incubació	Dia 10 d'incubació
C madur	666	394	205
C mig madur	1.694	735	344
LS madur	264	146	87
LS mig madur	1.791	1.703	486
SC madur	378	126	139
SC V	131	164	93
G mig madur	1.289	1.150	505
T madur	379	337	69

Figura 35.4. Despreniment acumulat de C-CO₂ de barreges de diferents materials orgànics amb sorra (Miró 2002)

mg C-CO₂ després / barreja



Taula 35.5. Característiques de les mostres emprades per a les proves respiromètriques (figura 35.3 i taula 35.4)

Mostra	C M	C MM	G MM	S M	SC M	SC V	T M
% H 105 °C	20,20	43,40	12,66	22,83	28,96	44,94	35,23
% H residual	7,83	10,77	9,91	6,15	10,13	9,49	12,01
pH	7,2	8,1	8,1	8,8	8,9	8,2	8,8
CE (mS/cm)	5,16	3,54	6,79	5,78	6,78	1,85	4,11
% MOT	46,84	51,10	56,12	37,90	41,07	40,28	48,63
ppm N-NH ₄ ⁺	1.066	136	1.095	1.500	819	25	909
% N _{org}	1,95	2,24	2,34	1,56	2,02	1,44	2,35
C/N	12,01	11,41	11,99	12,15	10,16	13,99	10,35
% MOR	27,06	28,84	24,21	17,86	20,95	23,22	26,05
% N _{nH}	1,08	1,22	1,08	1,00	1,36	0,90	1,41
% GE	57,77	56,44	43,13	47,12	51,00	57,65	53,57
% N _{nH} /N _{org}	55,38	54,46	46,15	64,10	67,33	62,50	60,00

la correspondència entre la respirometria i altres paràmetres químics, es donen les característiques dels materials assajats.

35.5.2. Comparació de resultats de proves respiromètriques segons es facin les barreges amb sòl o amb sorra

En un projecte realitzat per l'ESAB amb el suport de la Junta de Residus (2001) es van caracteritzar diferents materials orgànics (taula 35.6) segons la metodologia emprada al laboratori de l'ESAB (taula 35.7) i, paral·lelament, es van comparar els resultats obtinguts segons si les respirometries es feien amb barreges amb sòl o amb sorra.

Com es pot veure, per l'origen i per les característiques trobades, els materials són molt diferents, la qual cosa segur que repercutirà en el seu comportament en

ser aplicats al sòl o en patir un procés de transformació biològica (compostatge o digestió anaeròbia).

Taula 35.6. Materials orgànics utilitzats en proves respiromètriques (amb sòl i amb sorra)

Mostra CM:	Compost de fang de depuradora i escorça de pi procedent de la planta M
Aspecte:	Color gris-marró. Humit. Es distingeixen restes vegetals i grumolls
Mostra LGS:	Fang sec tèrmicament i granulats procedent de la depuradora S
Aspecte:	Color gris. Boles dures de diferent mida. Molt sec. Olor desagradable
Mostra PT:	Fracció sòlida de purins de porc assecada tèrmicament
Aspecte:	Olor de purí. Color marró fosc. Molt sec i molt homogeni, textura fina. S'aprecien serradures i pèls
Mostra LS:	Fang deshidratat procedent de la depuradora S
Aspecte:	Pastós, humit i olor molt desagradable. Coloració negra.
Mostra LV:	Fang deshidratat procedent de la depuradora V
Aspecte:	Olor molt desagradable. Molt humit, pastós y coloració marró
Mostra CV:	Compost de fang de depuradora i astella de la planta V (madurat 1 mes).
Aspecte:	Molt sec, coloració fosca i conserva part d'olor del fang. Presència de restes vegetals
Mostra LSM:	Fang procedent d'una indústria agroalimentària S M
Aspecte:	Color grisós, olor molt desagradable. Aspecte pastós i molt humit

Taula 35.7. Característiques dels materials orgànics assajats en respirometries amb sòl i amb sorra

	CM	LV	CV	LS	LGS	PT	LSM
pH	6,38	5,70	7,13	8,20	6,10	7,10	6,53
CE	2,03	3,58	6,09	1,11	1,24	36	1,96
% H	49,30	78,27	15,47	78,56	5,80	6,21	88,02
mg kg ⁻¹ N-NH ₄ ⁺ (soluble)	1.150	9.532	3.996	2.061	277	962	5.788

.../...

	CM	LV	CV	LS	LGS	PT	LSM
mg kg ⁻¹ N-NH ₄ ⁺ (total)	1.848	11.108	8.309	5.321	414	1.267	8.357
mg kg ⁻¹ NFM	3.200	11.824	11.107	8.963	1.366	4.885	13.835
% N _{org}	1,29	4,60	2,66	4,37	3,88	2,32	7,23
% NFM/N _{org}	24,8	25,7	41,7	20,5	3,5	21,0	19,1
% MO	54,87	83,80	59,10	61,01	74,99	62,59	71,44
C/N	21,2	9,1	11,1	6,9	9,7	13,5	4,9
% MOR	29,92	34,58	25,05	22,45	35,06	28,56	10,04
% GE	54,53	41,27	42,39	36,81	46,76	45,62	15,03
% N _{nh}	0,58	0,78	1,22	0,82	0,66	0,74	0,66
% N _r	44,96	17,00	45,86	18,76	17,00	31,89	9,13

Les característiques químiques que presenten complementen la interpretació dels resultats respiromètrics i posen en evidència l'interès dels mètodes tractats en apartats anteriors.

- El contingut en nitrogen amoniacal és elevat en les mostres de fang (excepte en la tractada tèrmicament LGS). Les mostres de compost presenten encara continguts elevats que indiquen que el tractament de compostatge no ha estat gaire correcte.
- Les mostres de fang presenten els continguts més elevats en MO i N_{org}.
- El fang industrial (LSM) és el més degradable segons el seu contingut en MOR.
- El compost CV conté una matèria orgànica poc estabilitzada segons el GE que presenta, la qual cosa està en consonància amb els seus continguts en nitrogen amoniacal (soluble i total).
- El contingut en MOR de les diferents mostres és d'interès per determinar la velocitat de mineralització del residu un cop en el sòl i informar de la velocitat d'alliberament de nutrients com el nitrogen, aspectes interessants en el cas d'aplicació agrícola o de valoració de la capacitat de segrestament de carboni.

- Del grup de mostres LV-CV-CM, el compost M correspondria a la mostra més estable, seguida del compost V i, amb poca diferència, del fang V.
- En el grup format per les mostres LSM, LGS, LS i PT, el fet que hi hagi dues mostres que hagin rebut tractament tèrmic en complica la valoració. No obstant això, es considera la mostra de fang d'indústria agroalimentària (LSM) com la més degradable i la de purins assecats tèrmicament (PT) com la més estable.

En les proves respiromètriques tant amb sorra com amb sòl (**taula 35.8**) les barreges es van preparar de manera que en tots els casos s'aportés la mateixa quantitat de nitrogen orgànic (**taula 35.9**); les diferents característiques dels material fan que la quantitat de MOT i MOR afegida sigui molt variable. Així mateix, es pot observar que amb les respirometries amb sorra s'aporta una quantitat superior de mostra, fet que segur afavoreix la realització de la prova.

Taula 35.8. Característiques del sòl emprat en les respirometries

	Sòl
pH	8,3
CE (dS m ⁻¹)	1,7
mg kg ⁻¹ N-NH ₄ ⁺	< 2
mg kg ⁻¹ N-NO ₃ ⁻	15
% N _k	0,11
% C orgànic	0,92
C/N	8,36
% sorra	80,08
% llim	9,96
% argila	9,96

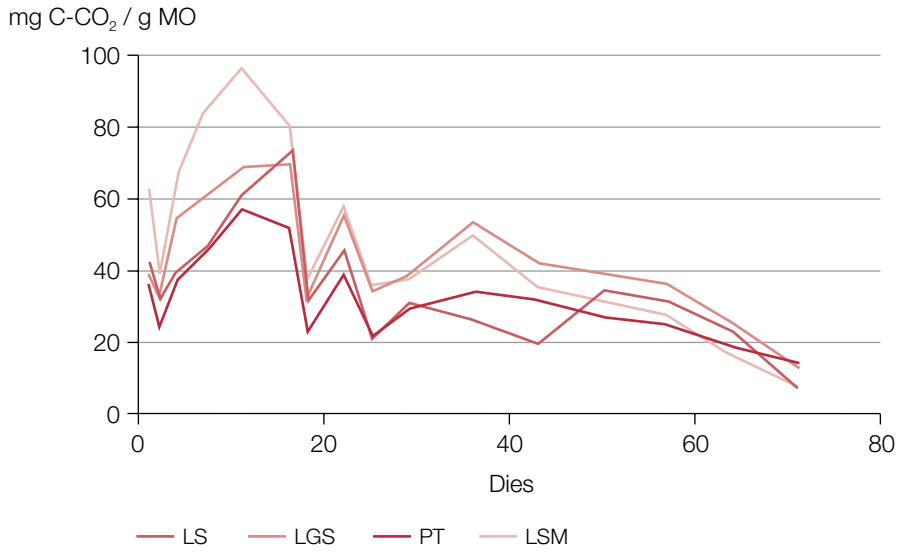
Taula 35.9. Quantitats de materials orgànics emprades en les respirometries amb sòl i amb sorra

	Per 100 g de sorra			Per 100 g de sòl		
	g MO	g N _{org}	g MOR	g MO	g N _{org}	g MOR
CM	4,254	0,100	2,319	0,690	0,016	0,210
CV	2,222	0,100	0,942	0,280	0,016	0,091
LV	1,822	0,100	0,752	0,360	0,016	0,102
LS	1,396	0,100	0,514	0,230	0,016	0,050
LGS	1,933	0,100	0,904	0,350	0,016	0,122
LSM	0,988	0,100	0,139	0,210	0,016	0,020
PT	2,698	0,100	1,231	0,430	0,016	0,120

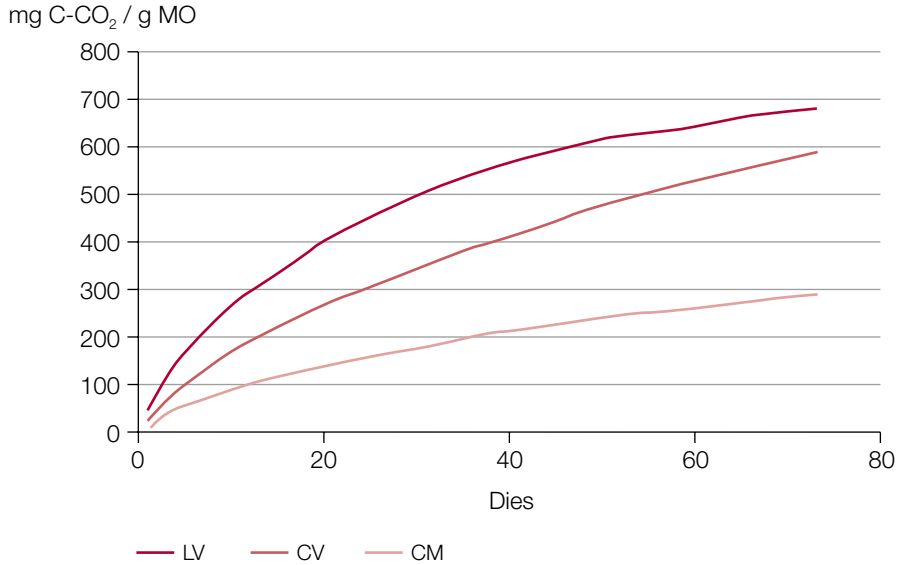
Figura 35.5. Despreniment diari i acumulat de barreges de materials orgànics amb terra (Fernández *et al.*, 2008)

.../...

Despreniment diari



Despreniment acumulat



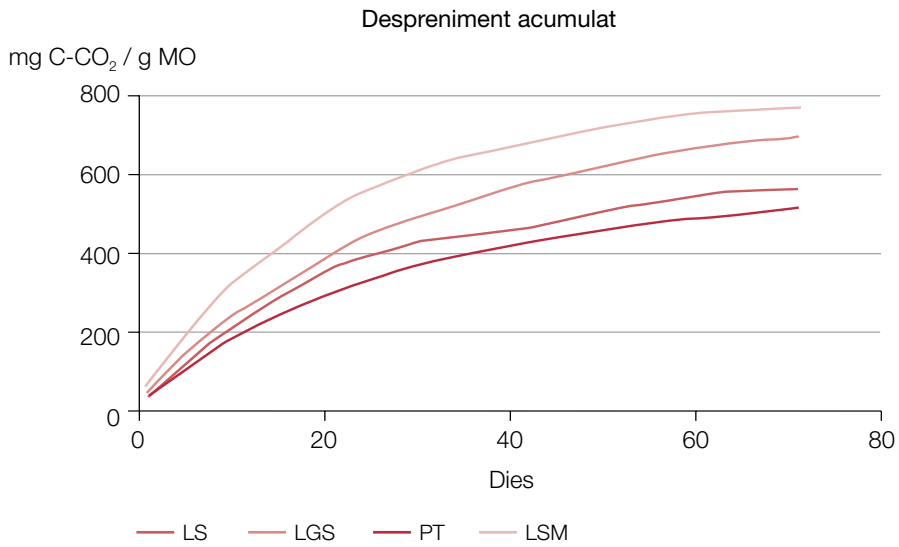
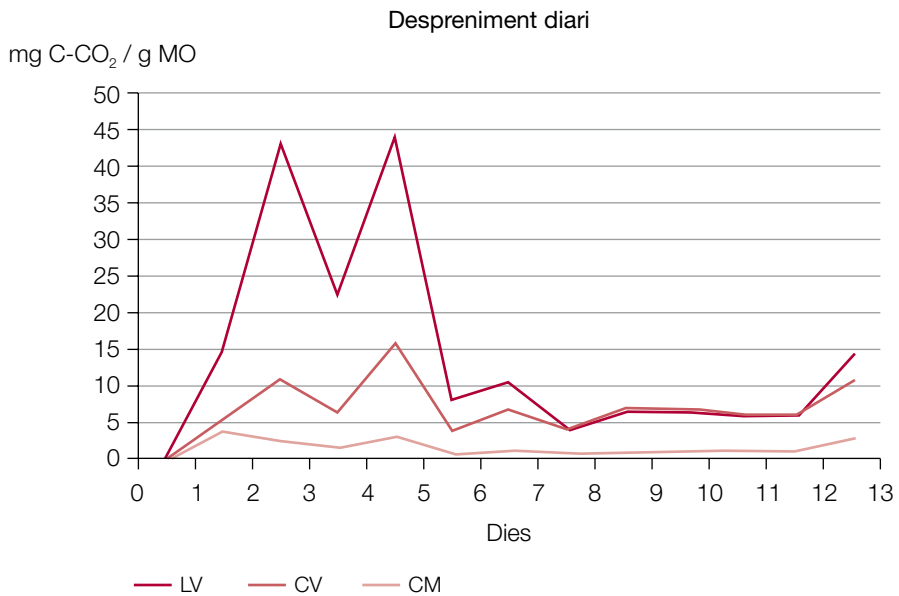
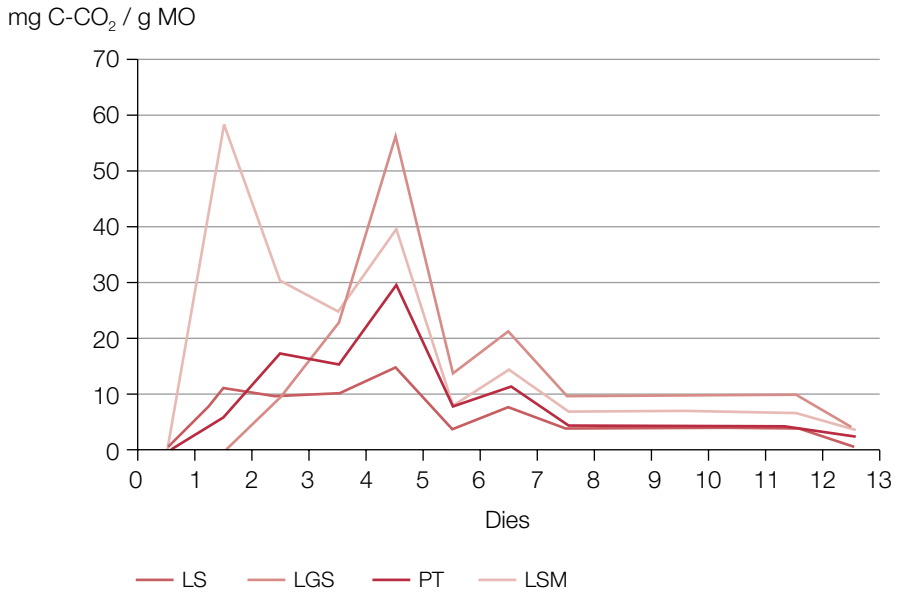


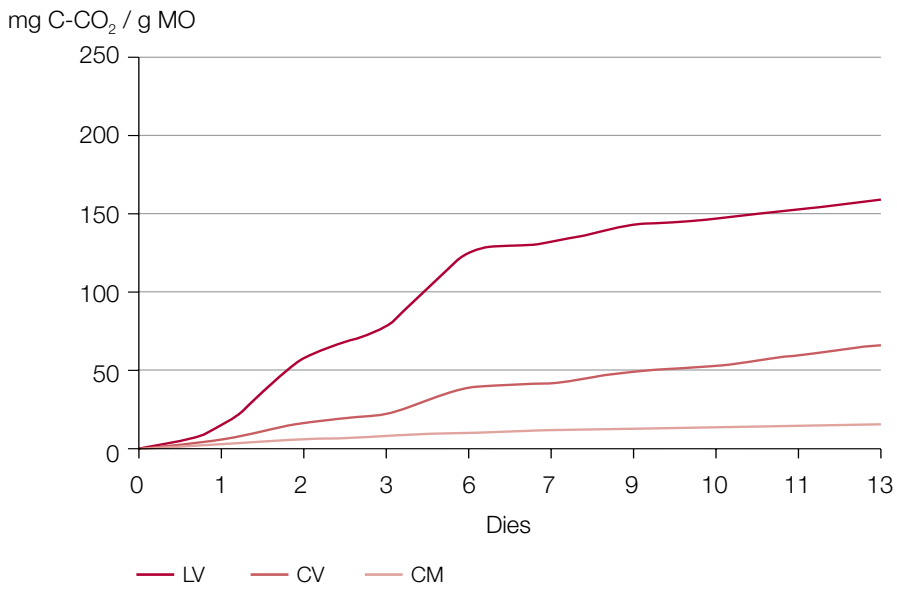
Figura 35.6. Despreniment diari i acumulat de barreges de materials orgànics amb sorra (López et al., 2009b)

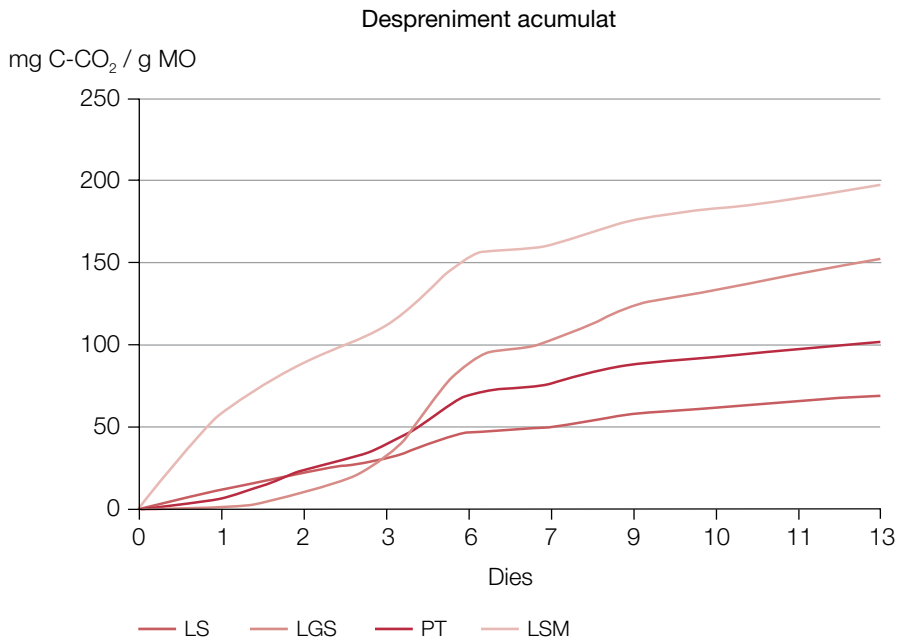


Despreniment diari



Despreniment acumulat





35.5.3. Breu resum de la situació actual de les proves respiromètriques en la bibliografia

En la bibliografia actual sobre respirometries es poden trobar reculls molt complets sobre els mètodes existents, la seva finalitat i les condicions en què es duen a terme (Adani *et al.*, 2003; Barrena *et al.*, 2006; Wagland *et al.*, 2009). Han canviat i millorat les metodologies, però els objectius també han variat. Inicialment, molts dels mètodes respiromètrics tenien com a finalitat determinar la maduresa del compost i preveure'n el comportament en ser aplicat al sòl (Morel *et al.*, 1979); en el transcurs dels anys, els canvis en les tecnologies i els canvis en la legislació (UE, 2001, 2003) han portat a interessar-se més per buscar un test que faciliti, a través de l'estudi de la biodegradabilitat –o estabilitat–, la diagnosi ràpida sobre el funcionament d'una planta de tractament biològic o sobre el destí d'un material orgànic (abocador/incineració).

Disposar d'un test per diagnosticar si un material orgànic és o no és estable té el seu interès, però no és suficient, ja que no indica, en cas de no ser estable, quin és el problema i com reconduir la situació; i en el cas de ser estable i tenir

com a destí el sòl, cal informació de com es comportarà i quina és la quantitat de MO que hi pot quedar retinguda (Smith *et al.*, 2001; Soliva *et al.*, 2004; Adani *et al.*, 2009). Per més que millorin els mètodes respiromètrics i guanyin en rapidesa i precisió, sempre caldrà informació complementària que ajudi a interpretar el resultat.

En els reculls citats es troben llistats dels mètodes més utilitzats i de les diferents condicions en què treballen:

- quantitat de mostra
- pretractament de la mostra (tria de materials/trituració)
- mostra sòlida o en suspensió
- temps de preincubació, incubació i de lectura
- temperatura
- incorporació o no de nutrients i d'inòculs
- mesura del CO₂ després o de l'oxigen consumit
- estàtics o dinàmics
- expressió dels resultats

La majoria dels mètodes són aeròbics, però també es troben referenciats mètodes que determinen la biodegradabilitat dels materials orgànics segons la seva capacitat de generar metà (Binner i Zach, 1999; Wagland *et al.*, 2009).

Els índexs que més sovint apareixen en la bibliografia són:

- Consum d'oxigen (*Oxygen uptake*): mg O₂/gSV/h, mg O₂/g MS/h
- Despreniment de C-CO₂: mg C-CO₂/ g MS/d, mg C-CO₂/ g SV/d
- Índex d'estabilitat (IS), mg O₂/g SV/h
- SOUR (*specific oxygen uptake rate*): mg O₂/gSV/d, mg O₂/g MS/d
- AT4, AT7, activitat respiratòria als 4 o 7 dies: mg O₂/g MS
- Índex de respiració estàtica (SRI): mg O₂/kg SV/h
- Índex respiromètric (RI), mg O₂/g SV/h
- Índex de respiració dinàmica (DRI): mg O₂/kg SV/h
- Producció potencial de biogàs L/kg MS

En ser tant variables les condicions en què es realitzen i les unitats en què s'expressen els diferents tests respiromètrics és difícil la comparació de resultats i

decidir quin és el més adequat. Segurament les metodologies en les quals hi ha més experiència són:

- Mesura de l'activitat als 4 i 7 dies amb l'aparell SAPROMAT AT4 i AT7 (Binner *et al.*, 1997), utilitzat a Àustria.
- Mesura de l'índex de respiració dinàmica (DRI), utilitzat a Itàlia i que apareix en la proposta de normativa de la UE (2001) per a l'estudi de la qualitat de materials orgànics, indicant que un material és estable quan el DRI és menor de 1.000 mg O₂/kg MO · hora (Adani *et al.*, 2001, 2006).
- Mesura del consum d'oxigen (SOUR) segons els mètodes del TMECC 2002 (*Test methods for the examination of composting and compost*).

Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

ALMANSA *et al.*, 2007; CALIFORNIA COMPOST QUALITY COUNCIL (CCQC), 2001; CARLSBAEK i BROEGGER, 1999; SAÑA i SOLIVA, 1985; SERRA, 1988; JACAS i SOLIVA, 1986; SOLIVA, 1992.

36. Proves de mineralització

36.1. Introducció

En l'apartat anterior s'ha vist que una de les finalitats de la utilització de les proves respiromètriques és la determinació de la capacitat de descomposició de la matèria orgànica. La velocitat amb què es descompon té relació amb la seva estabilitat i amb paràmetres químics com el contingut en matèria orgànica total i resistent, i el contingut en nitrogen. Si s'arriba a conèixer la velocitat de mineralització de la matèria orgànica es pot tenir idea de la velocitat amb què s'alliberarà el nitrogen, però sempre és millor determinar-la mitjançant proves d'incubació. Segons Castellanos i Pratt (1981) una millor manera d'estimar la disponibilitat de nitrogen d'un material orgànic quan s'hagi d'aplicar al sòl és fer incubacions sota condicions controlades (temperatura i humitat) de barreges del material orgànic amb sòl. Els resultats que es poden obtenir estan ben correlacionats amb el comportament al camp dels materials i, a més a més, aporten informació sobre la cinètica de mineralització, cosa que permet arribar a la modelització matemàtica i a l'estimació del nitrogen potencialment mineralitzable (Garau *et al.*, 1986; Nicolardot *et al.*, 1988).

Hi ha diferents tècniques d'incubació (Felipó i Garau, 1987); les dues principals són la incubació aeròbia i l'anaeròbia. Dins l'aeròbia, hi ha la que segueix la tècnica de percolacions successives per anar lixiviant el nitrogen mineralitzat i la del sistema *no leaching*, en el qual periòdicament s'agafen mostres de les barreges de les quals s'analitza el nitrogen mineral (N-NH_4^+ i N-NO_3^-). També són variables les condicions per preparar el material orgànic i el sòl, així com les condicions en què es duu a terme la incubació (temperatura, temps, humitat, aireig, proporció de barreja, tipus de sòl).

Aquestes proves es poden utilitzar per determinar la cinètica i la taxa de mineralització del nitrogen orgànic, la influència del tipus de sòl i de la dosi sobre la mineralització, així com l'efecte d'algun determinat tòxic.

Tenir idea de la velocitat de mineralització d'un material orgànic és bàsic abans d'iniciar-ne l'aplicació al camp per aportar la dosi que, per una part, eviti la contaminació de les aigües subterrànies i, per l'altra, satisfaci completament o complementàriament les necessitats dels cultius. Algunes de les determinacions químiques comentades en aquest manual (**vegeu els apartats 14, 26 i 30**) també són informatives sobre aquests aspectes.

36.2. Metodologia

36.2.1. Preparació del sòl

Es pot intentar disposar d'un sòl determinat per utilitzar-lo sempre en aquest tipus de proves o fer servir en cada cas aquell que presenti unes característiques properes a les existents en la ubicació on, en el futur, es podria aplicar el material orgànic. Després d'assegurar-ne l'homogeneïtat, cal assecat-lo a l'aire, passar-li un rodet i garbellar-lo a 2 mm; cal mantenir aquestes condicions sempre que interressi comparar resultats, ja que tant l'assecament com el trencament d'agregats influeix en el comportament (Beauchamp *et al.*, 1986; Cabrera i Kissel, 1988).

36.2.2. Preparació de les mostres de material orgànic

Cal assecat la mostra a l'aire o en estufa ventilada a 60 °C fins a una humitat propera al 10% (**vegeu l'apartat 35.3.4**) i triturar-la fins que passi pel garbell de 2 mm. Es conserva a la nevera a 4 °C dins d'un pot hermètic fins que s'hagi d'utilitzar.

36.2.3. Preparació de barreges i dosis

Les dosis que s'han d'assajar no estan preestablertes, ja que dependran tant de l'objectiu de la prova com del tipus de sòl i de material orgànic. Si es fa la prova amb un material molt estable o relativament pobre en N se'n podrà utilitzar una proporció més gran que si és un material molt degradable i ric en aquest nutrient. Al laboratori de l'ESAB sovint s'han utilitzat dosis relacionades amb les necessitats en N d'un determinat cultiu i en funció del percentatge de mineralització previst per al material orgànic segons les seves característiques químiques.

Cal preparar barreges que permetin anar prenent mostra al llarg de la incubació i per a les quals es pugui assegurar el manteniment de les condicions de treball; cada barreja individual acostuma a ser de 1.000-1.200 g i per a cada tractament es fan quatre repeticions que es col·loquen dins de recipients de plàstic de 1.500 mL.

36.2.4. Condicions d'incubació

Les barreges s'han d'humitejar fins al 75% de capacitat de camp (**vegeu l'apartat 35.3.3**), es tapen amb plàstic film (amb petits forats) i es mantenen a 28 °C dins d'una cambra a les fosques i aïllada tèrmicament. La durada acostuma a ser de 2-3 mesos i les mostres s'agafen periòdicament (cada 6-10 dies). S'aprofita la presa de mostres per comprovar i mantenir la humitat.

36.2.5. Anàlisis periòdiques

Cada vegada que s'agafa mostra, les determinacions més informatives són: humitat, pH i CE, nitrogen orgànic, nitrogen fàcilment mineralitzable, nitrogen amoniacal soluble i bescanviable, i nitrogen nítric.

36.3. Exemples d'estudis de mineralització

36.3.1. Estudi de la mineralització de fang de depuradora urbana (Estrada, 1995; Vidal, 1995)

Estrada i Vidal (1985) van realitzar els seus respectius projectes finals de carrera sobre el comportament de barreges de tres tipus de sòls i dos fangs de depuradora diferents en proves respiromètriques i de mineralització; aquí tant sòls es presenten els resultats corresponents a diferents barreges d'un únic tipus de sòl i de fang (**taula 36.1**).

Taula 36.1. Característiques del fang i del sòl utilitzats en les proves de mineralització (Estrada, 1995)

Fang		Sòl	
% H _{residual}	9,95	pH	7,23
pH	7,01	CE, dS m ⁻¹	0,10
CE, dS m ⁻¹	5,45		
% MO	62,82	mg kg ⁻¹ N-NH ₄ ⁺	16
% C _{ox}	29,73	mg kg ⁻¹ N-NO ₃ ⁻	17
C/N	8,5	mg kg ⁻¹ P ₂ O ₅	21
% N _{org}	3,50	mg kg ⁻¹ K ₂ O	207
% NFM	1,23	mg kg ⁻¹ CaO	1.387
% GE	36,64	mg kg ⁻¹ MgO	64
% N _{nH}	0,75		
		% C _{ox}	0,91
% P ₂ O ₅	3,35	% N _{org}	0,10
% K ₂ O	0,30	C/N	9,10
% CaO	4,09	CBCmeq/100g	9,59
% MgO	1,61	% CaCO ₃	0,99
% Fe	0,82	% Fe	1,18
mg kg ⁻¹ Mn	108	mg kg ⁻¹ Mn	481
mg kg ⁻¹ Zn	1.118	mg kg ⁻¹ Zn	47
mg kg ⁻¹ Cu	217	mg kg ⁻¹ Cu	18
mg kg ⁻¹ Cr	5	mg kg ⁻¹ Cr	19
mg kg ⁻¹ Pb	318	mg kg ⁻¹ Pb	14
mg kg ⁻¹ Cd	1	mg kg ⁻¹ Cd	n.m.

Taula 36.2. Quantitats de fang (t ha⁻¹) utilitzades en les barreges i kg ha⁻¹ de N aportades

Dosi	Fang t ha ⁻¹		MO t ha ⁻¹		N _{org} kg ha ⁻¹		NFM kg ha ⁻¹	
	Fang A	Fang B	Fang A	Fang B	Fang A	Fang B	Fang A	Fang B
DA	16,1	16,6	10,1	9,3	563	552	132	123
DM	8,2	8,3	5,1	4,7	287	276	67	62
DB	4,1	4,1	2,6	2,3	143	138	33	31

Tot i que el que es volia estudiar era la mineralització del N es va fer també l'estudi respiromètric (**figura 36.1**). La funció a la qual s'ajusten millor els assajos respiromètrics és l'exponencial, i també les seves variants (Saviozzi *et al.*, 1993). Quan els resultats s'expressen calculant la taxa de mineralització (percentatge de carboni orgànic mineralitzat respecte al carboni orgànic aportat amb el fang), els resultats, a dosis baixes, es veuen sobrevalorats per l'efecte *priming*. Aquest efecte consisteix en el fet que una aportació externa de matèria orgànica a un sòl estimula l'activitat microbiana més que proporcionalment a la quantitat aportada, de manera que també es mineralitza part de la matèria orgànica del mateix sòl (Terry *et al.*, 1979). Els elevats valors de la taxa de mineralització, fins i tot a dosi alta, estan en relació amb la baixa estabilitat del fang (**taula 36.1**) i amb el fet que el sòl utilitzat sigui molt sorrenc.

L'acumulació del C-CO₂ mineralitzat de les barreges sòl-fang i del sòl de referència descriu una cinètica de primer ordre. El model exponencial al qual es van ajustar les dades (Estrada, 1995) va ser el de Murwira (1990):

$$C_m(t) = C_0(1 - e^{-kt})$$

On:

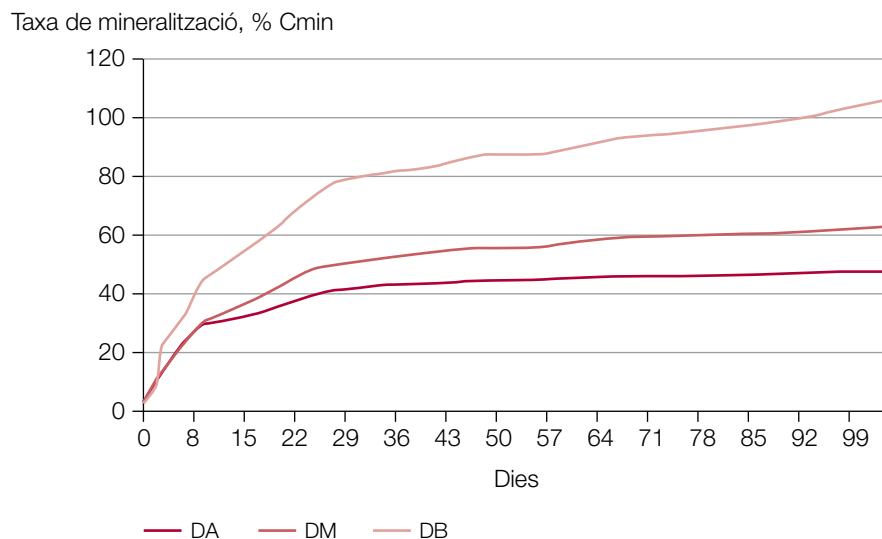
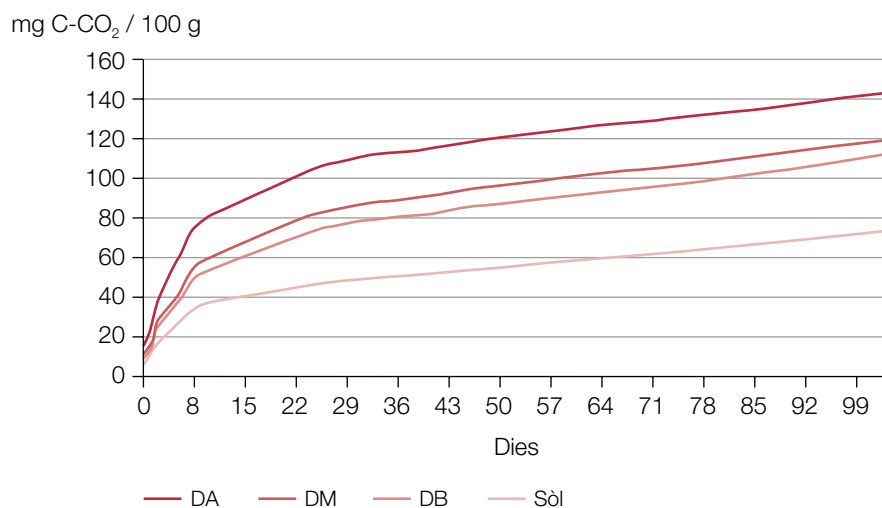
$C_m(t)$ = carboni orgànic mineralitzat (mg C-CO₂/100 g sòl) i acumulat fins al moment t de la incubació de les barreges sòl-fang i del sòl de referència;

C_0 = carboni potencialment mineralitzable (mg C-CO₂/100 g sòl);

K = constant de mineralització (dia⁻¹).

L'ajust al model exponencial es va fer pel mètode de regressió no lineal fent ús del paquet estadístic SAS. A la **taula 36.3** es donen els paràmetres estimats a partir de l'ajust no lineal al model exponencial simple.

Figura 36.1. Producció de C-CO₂ acumulada i taxa de mineralització per a les barreges assajades (Estrada, 1995)

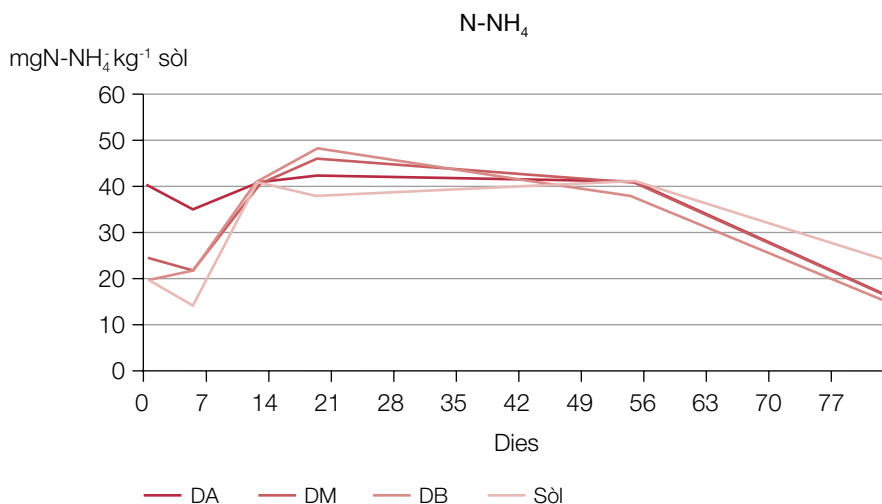


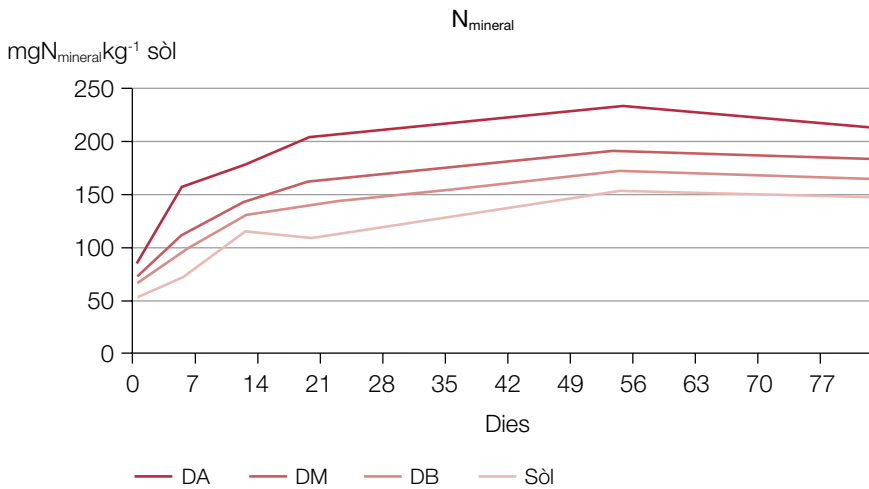
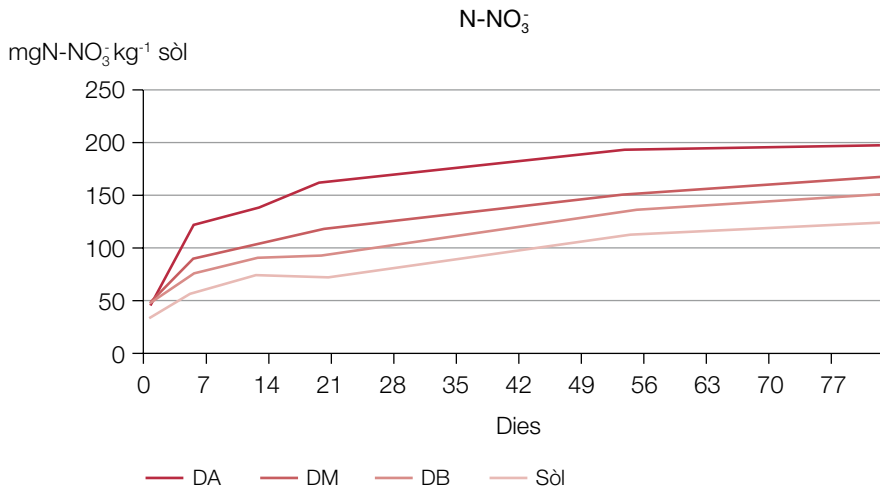
Taula 36.3. Paràmetres estimats a partir de l'ajust no lineal al model exponencial simple de les dades de C-CO₂ acumulat per al sòl i les tres barreges amb fang (Estrada, 1995)

	C ₀ mg C-CO ₂ / 100 g sòl	C ₀ Error estànd.	K dia ⁻¹	K Error estànd.	C ₀ K	r Coef. correl.
DA	127	1,58	0,087	0,005	11,05	0,979
DM	105	1,67	0,068	0,004	7,14	0,974
DB	97	2,10	0,063	0,005	6,11	0,958
sòl	62	1,33	0,066	0,005	4,09	0,954

En la **figura 36.2** es pot veure la formació de N amoniacal i nítric al llarg de les proves de mineralització de barreges de fang i sòl. En el treball de Vidal (1995) es discuteix la possibilitat de pèrdues de nitrogen mineral durant la realització d'aquest tipus d'assajos. Sembla que en aquest cas no hi van haver pèrdues de N en forma amoniacal, però es podia haver produït alguna pèrdua per desnitrificació a la

Figura 36.2. Diferents formes de nitrogen mineral formades al llarg de les proves de mineralització de les barreges de fang i sòl (Vidal, 1995)





dosi més elevada. En la **taula 36.4** s'hi troben els paràmetres estimats a partir de l'ajust no lineal al model exponencial simple dels resultats obtinguts pel nitrogen mineral format al llarg de la prova.

Taula 36.4. Paràmetres estimats a partir de l'ajust no lineal al model exponencial simple de les dades de nitrogen mineral net mesurades al llarg de la incubació per al sòl i les tres barreges amb fang (Vidal, 1995)

	N_0 mg N kg ⁻¹ sòl	N_0 Error estànd.	K dia ⁻¹	K Error estànd.	N_0K	r Coef. correl.
DA	88	3,04	0,120	0,017	10,56	0,916
DM	72	3,61	0,085	0,013	6,12	0,910
DB	56	2,35	0,133	0,020	7,45	0,896
Sòl	44	2,59	0,118	0,025	5,19	0,848

Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

ALMANSA, 2000; ALMANSA *et al.*, 2007; BERNAL *et al.*, 1998; FERNÁNDEZ *et al.*, 2001; FERNÁNDEZ, 2000; KIRCHMANN i LUNDWALL, 1991; MAGETTE, 2000; MORAGAS, 1987; RIBALTA *et al.*, 1987; SOMMER, 2001; TERRY *et al.*, 1981.

37. Proves de creixement

37.1. Introducció

Aquest tipus de proves poden aportar informació interessant sobre els usos del compost o altres materials orgànics i es poden dur a terme en les mateixes instal·lacions de compostatge o en camps propers a les zones de distribució del compost. Segons com es plantegin, poden tenir diferents finalitats:

- Determinar la velocitat de mineralització i el ritme d'alliberació de nutrients (o metalls).
- Mostrar problemes de falta d'estabilitat i/o immobilització del nitrogen.
- Servir d'assaig demostratiu per als possibles usuaris.

I en el cas de residus orgànics de determinats orígens, posar en evidència problemes de toxicitat.

Cal escollir bé les condicions (substrat o sòl, reg, temperatura, il·luminació, etc.) i el tipus de vegetal que s'ha d'utilitzar, ja que no tots tenen la mateixa tolerància als inhibidors, les mateixes necessitats o la mateixa velocitat de creixement; també el tipus de sòl i la seva fertilitat poden ser molt variables.

A Alemanya, el RAL* utilitza l'ordi per a aquest tipus de proves perquè es considera molt resistent a la salinitat i, per tant, pot posar en evidència altres tipus de problemes. Al laboratori de l'ESAB s'ha utilitzat sovint el raigràs (*Lolium multiflorum*, gramínia que pot rebrotar), ja que, a la vegada que posa de manifest el comportament en els primers estadis de creixement, permet, si interessa, seguir amb l'experiència i fer diferents dalls i així estudiar la dinàmica d'alliberació de nutrients. En

* RAL: Sistema de certificació alemany per a la qualitat del compost.

aquest cas és important escollir bé el blanc o testimoni amb el qual comparar els resultats. En molts casos es pot utilitzar com a testimoni el tipus de sòl on es pensa aplicar els materials assajats o bé sols artificials,²⁶ que, a part de permetre repetir l'assaig en diferents èpoques i centres, asseguruen unes característiques físiques adequades per ser utilitzats en testos o contenidors.

Si el que s'està assajant és un compost del qual es coneix l'origen i les seves característiques generals, pot ser fàcil, una vegada establertes les condicions de treball, interpretar el desenvolupament del creixement. Simplement es pot determinar la producció en pes fresc o sec, o avançar més i analitzar continguts en N, P o metalls del material vegetal per veure'n la dinàmica d'alliberació.

L'associació anglesa de compostadors especifica en el test de creixement (CATM/01/2000) que s'accepta com a màxim una reducció del 20% del creixement respecte al control; utilitzen barreges de compost i turba i valoren el pes en fresc de plantes de *Lycopersicum esculentum* de 28 dies. Als laboratoris d'ADAS utilitzen un test semblant, però ajustant la CE de la barreja amb turba o vermiculita a valors de 300-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.²⁷

En aquest apartat, més que establir una metodologia de treball, que pot ser diferent segons els objectius de la prova, es comenten experiències realitzades a l'ESAB amb diferents finalitats, i en les quals no sempre s'han utilitzat els mateixos paràmetres per valorar el comportament del material orgànic. Segons els objectius de l'assaig i les possibilitats es pot determinar:

26. El que aconsella l'OECD (70% de sorra, 20% d'argila i 10% de torba *Esfagnum*) o el substrat John Innes que, en volum, barreja set parts de sòl, tres de torba *Sphagnum* i gens de sorra.

27. Ajust de la conductivitat elèctrica (CE) a 400 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$.

Per ajustar la CE de la mostra a aquest valor barrejant-la amb vermiculita es pot utilitzar la fórmula següent:

$$\text{CE (400)} = [(\text{CE de la mostra}) + (F \cdot \text{CE de la vermiculita})] / (1 + F)$$

On F = factor de dilució en volum.

$$F = \frac{(\text{CE de la mostra} - \text{CE proposada (400)})}{(\text{CE proposada (400)} - \text{CE de la vermiculita})}$$

Nota: si el factor de dilució excedeix del valor de 2 no és aconsellable dur a terme el test.

- En el material vegetal:
 - continguts en humitat i matèria mineral;
 - continguts en N orgànic i N nítric;
 - contingut en P i K;
 - contingut en nutrients secundaris, micronutrients i metalls;
 - paràmetres indicadors de qualitat (contingut en vitamines, en determinats aminoàcids...);
 - producció en MH i/o MS.
- En el sòl o substrat on es duu a terme la prova:
 - canvis en pH i CE;
 - capacitat de retenció d'aigua;
 - contingut en matèria orgànica i nitrogen orgànic i mineral;
 - contingut en fòsfor assimilable;
 - contingut en metalls totals i/o assimilables.

Amb la informació obtinguda també es poden calcular les extraccions, fer balanços i determinar l'eficiència agronòmica.

En qualsevol cas, sempre és important conèixer també determinats paràmetres químics per poder relacionar-los amb els paràmetres obtinguts en les proves de creixement i/o en les de mineralització i en les respirometries.

37.2. Proves d'incubació i de creixement en contenidor per determinar la velocitat de mineralització de dos tipus de compost

En aquest exemple la prova es va fer amb compost mig madur (F) i comercial (M) procedents d'una planta de compostatge de RSU on, per motiu de la sobresaturació i de la quantitat d'impropis que arribaven amb el material d'entrada, tenien dificultats per controlar bé el procés (Navarro, 1989). Tal com es pot veure en la **taula 37.1**, cap dels dos composts no es pot considerar estable.

Taula 37.1. Característiques de la matèria orgànica dels composts assajats (Navarro, 1989)

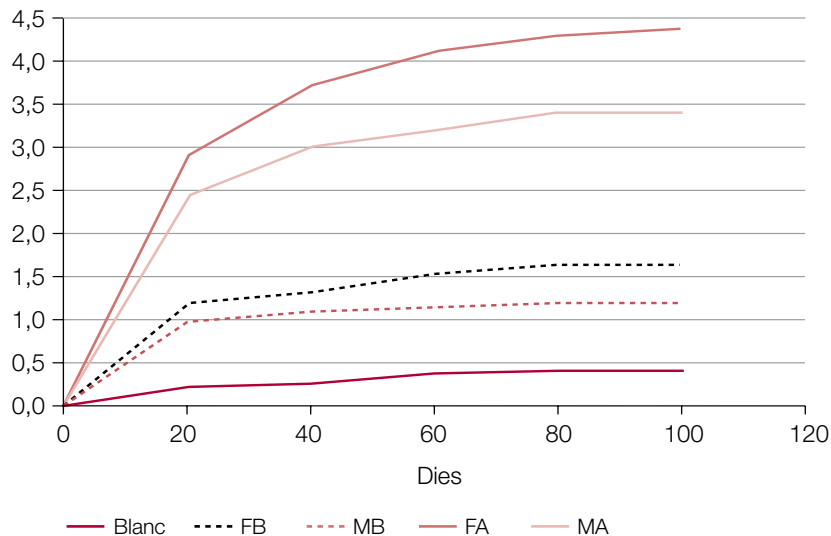
	Compost F	Compost M
% MOT	62,5	55,9
% C _{ox}	30,2	27,1
% N _{org}	1,5	1,5
C/N	20,1	18,1
% GE	30,8	32,6
% N _{nH}	0,74	0,70
%C _{AH}	4,15	4,23
%C _{AF}	3,97	3,65
E4/E6	7,25	7,50

Al laboratori de l'ESAB, freqüentment, abans de les proves de creixement, es duen a terme proves de germinació (vegeu l'apartat 10) o respirometries (vegeu l'apartat 35) per disposar d'informació prèvia sobre els materials. Així, en la figura 37.1 es resumeixen els resultats de les proves respiromètriques i de mineralització (vegeu l'apartat 36) realitzades amb els dos materials indicats i a dues dosis calculades en funció del contingut en N del compost, les necessitats del cultiu i suposant dues taxes de mineralització. Destaca la major activitat biològica presentada pel compost F i per les dosis altes (A); per contra, la dosi alta del compost F és la que allibera menys N, la qual cosa indica que, a causa de l'elevada activitat biològica d'aquest material, es produeix immobilització de N. En la taula 37.2 es donen els resultats de la prova de creixement realitzada amb les mateixes barreges en contenidors i després d'haver sembrat raigràs (*Lolium multiflorum*).

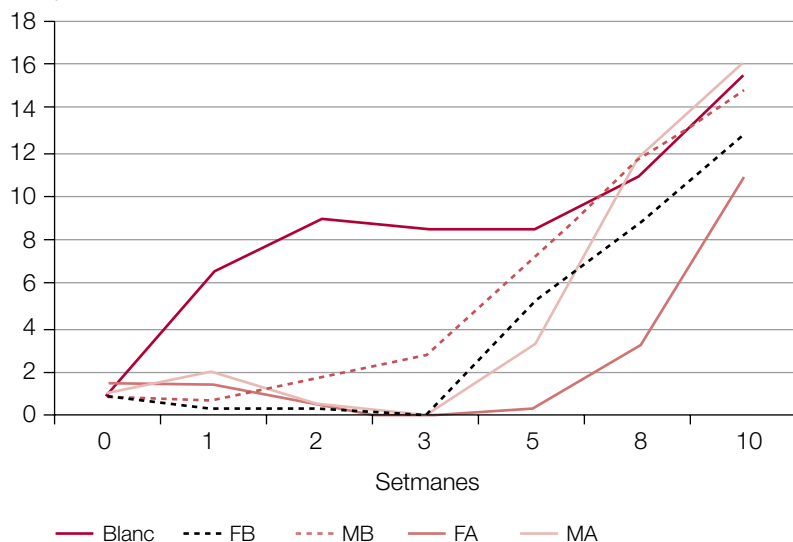
Els resultats de la taula 37.2 posen de manifest la inhibició del creixement en els dos primers dalls per a tots els tractaments amb compost; destaca la baixa producció en el primer dall dels tractaments que havien rebut les dosis elevades de compost, cosa que, segons la figura 37.1, es podria atribuir a la manca de N per haver-se produït immobilització.

Figura 37.1. Resultats de proves respiromètriques fetes amb barreges de sòl i dos tipus de compost de RSU (F i M) i amb dues dosis (A i B) (Navarro *et al.*, 1989)

g C-CO₂ / 100 g barreja



mg de N-NO₃⁻ / 100 g



Blanc: sòl testimoni. MA i MB: barreges de compost madur (M) a dosi alta (A) i baixa (B)
FA i FB: barreges de compost fresc (F) a dosi alta (A) i baixa (B)

Taula 37.2. Producció de raigràs (matèria seca), per test i per dall, en una experiència de creixement realitzada amb barreges de sòl i compost (Navarro, 1989)

Tractaments	g matèria seca /dall · test				
	Dall 1	Dall 2	Dall 3	Dall 4	Dall 5
CF/DA	1,4	4,2	18,9	20,2	28,0
CM/DA	1,1	6,7	16,9	16,8	26,1
CF/DB	1,4	3,5	11,9	16,0	23,8
CM/DB	1,7	3,3	9,1	11,4	22,3
Testimoni	4,2	10,9	17,3	12,3	21,6

CF: compost fresc; CM: compost madur; DA: dosi alta; DB: dosi baixa.

37.3. Proves d'incubació i de creixement en contenidor per determinar la capacitat d'un residu de la indústria de l'adoberia per aportar nitrogen a un compost utilitzat com a substrat

En aquest cas es disposava de dos tipus de compost de fangs més restes vegetals: un de molt estable, que es denomina C, i un altre procedent del final de la fase de descomposició, o sigui, mig madur (MM) (taula 37.3). Amb aquest material es van fer proves respiromètriques i proves de creixement en petites parcel·les utilitzant-los com a substrat (figura 37.2). Paral·lelament, es volia assajar la possibilitat d'utilitzar un residu procedent de la indústria adobera d'Igualada per aportar N (Almansa, 1996; Molina *et al.*, 1996; Almansa *et al.*, 2000b). Aquest residu (RP) s'havia analitzat prèviament i presentava un contingut elevat de MO i N_{org} (taula 37.3), però a la vegada era molt descomponible, ja que presentava baixos continguts de MOR i N_{nH} (vegeu l'apartat 30).

Taula 37.3. Característiques del residu de la indústria adobera i dels dos tipus de compost assajats

Material	Humitat (%)	pH	CE (dS m ⁻¹)	MO (%)	MOR (%)	GE (%)	N _{org} (%)	N _{nH} (%)	C/N
RP*	70,9	7,3	4,35	86,9	26,3	30,27	12,3	3,5	3,5
RP (o)	29,7	6,0	41,7	83,3	52,5	63,02	9,3	6,7	4,0
Compost C	27,7	7,9	3,19	55,6	30,1	54,14	2,5	1,7	11
Compost MM	47,8	7,3	2,97	65,7	29,1	44,29	1,6	1,0	21

* L'RP és un residu de pèl obtingut de la preparació per mètodes químics de les pells de vaquí per a l'adobament; això fa que sigui molt més degradable que el mateix pèl (RP o) mostrejat abans del tractament.

Figura 37.2. Proves d'incubació i de creixement de raigràs

En la **figura 37.3** es mostren els resultats de les respirometries i en la **figura 37.4**, el resultat de les proves de creixement. En ambdues figures es mostra també, per separat, el comportament dels dos composts assajats; es pot veure clarament com el compost MM presenta una activitat respiromètrica molt més elevada i que en l'experiència de creixement manifesta inhibició en el primer dall, segurament per un efecte com el que s'observava en la **figura 37.1**.

Figura 37.3. Activitat biològica de composts amb diferent estabilitat i efecte de l'adició d'un residu degradable i ric en N

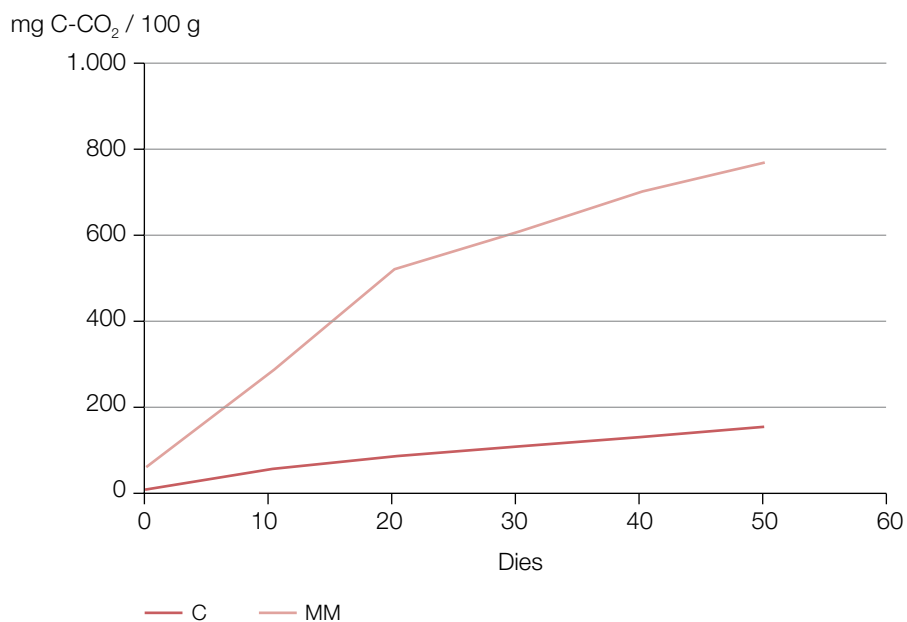
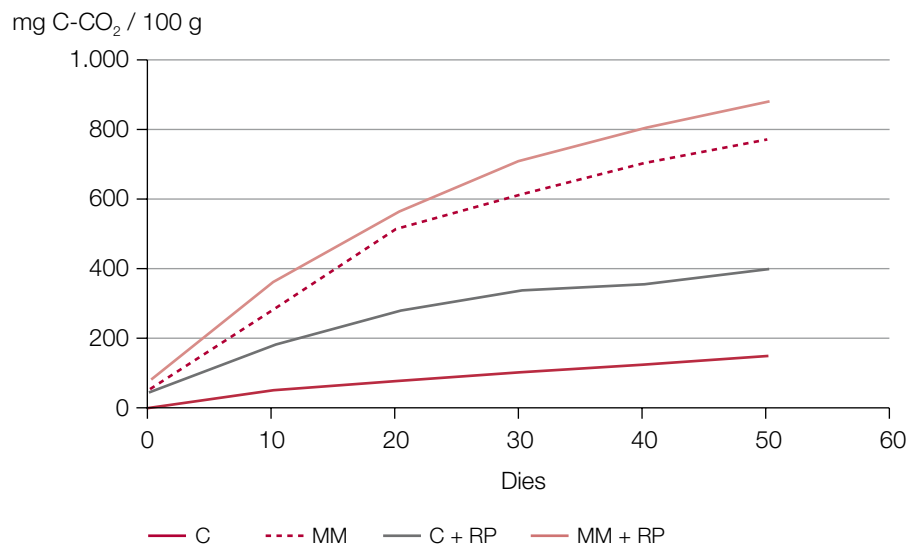
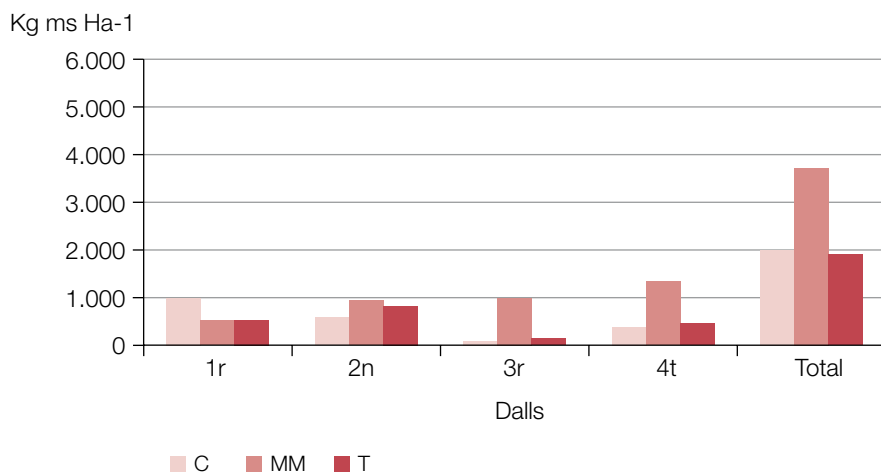
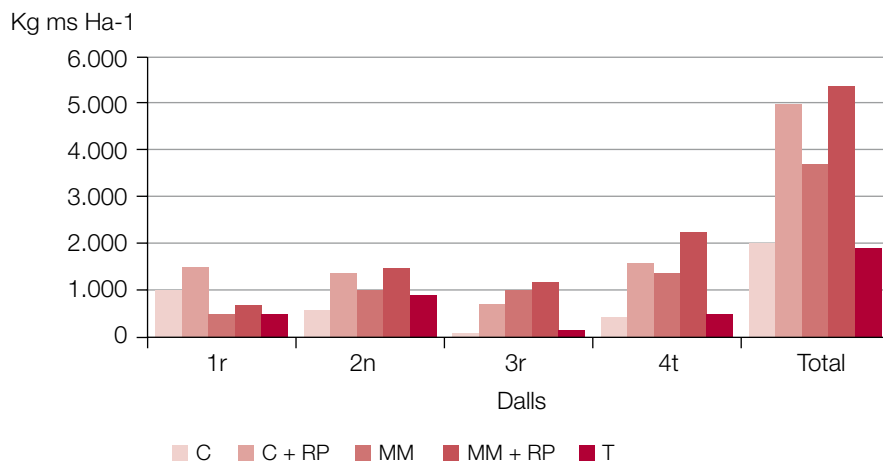


Figura 37.4. Producció de diferents dalls de raigràs utilitzant compost de fangs més RV madur (C) i mig madur (MM) (Almansa, 1996; Molina *et al.*, 1996)



En la **taula 37.4** es dóna informació sobre la composició del material vegetal dels diferents dalls i en la **taula 37.5**, sobre les extraccions de N que s'han produït, i hi destaquen:

- Immobilització inicial de N en els tractaments amb compost MM, encara que l'addició de RP disminueix aquest efecte.

- Alliberació immediata i continuada del N contingut en el RP (a més a més del baix GE del material, ho pot haver afavorit l'activitat biològica dels composts, particularment la de l'MM).
- Els tractaments amb compost madur (C) han tingut un creixement més petit que el que s'esperava, segurament motivat pel fet que presenta una elevada estabilitat i, per tant, una alliberació molt lenta del N que conté. *Cal diferenciar entre quan es pot produir manca de N per ser el compost molt estable i quan hi ha problemes amb el N a causa de la immobilització provocada per composts immadurs.*
- Els continguts en nitrogen orgànic del teixit vegetal són superiors quan s'hi afegeix RP, tant en el cas de C com en el d'MM.
- Els tractaments que contenen MM presenten uns continguts excessius de nitrogen nítric en el teixit vegetal del quart dall. Això indica una alta concentració de nitrats en la fase líquida del substrat i, per tant, possibilitat de pèrdues per rentatge.²⁸
- De tots els tractaments assajats es va aconsellar utilitzar com a substrat el pèl (RP) barrejat amb compost madur per aplicar en la implantació de gespes, perquè podria anar alliberant el nitrogen al llarg del temps.

Taula 37.4. Continguts de matèria seca, de nitrogen orgànic i de nitrogen nítric de les mostres dels quatre dalls

	1r dall			2n dall			3r dall			4t dall		
	MS %	NK %	N-NO ₃ ppm	MS %	NK %	N-NO ₃ ppm	MS %	NK %	N-NO ₃ ppm	MS %	NK %	N-NO ₃ ppm
C	23,0	2,45	59	24,1	2,40	50	35,4	2,05	39	26,4	3,0	90
C + P	13,3	4,73	311	15,2	3,60	63	20,2	3,70	67	15,2	3,6	282
MM + P	26,9	5,87	18	15,8	4,93	49	16,9	5,70	1.283	12,3	4,1	5.173
MM	32,5	4,07	47	16,8	4,13	62	16,4	4,93	2.483	15,1	4,3	6.167

28. En aquesta experiència les parcel·les disposaven de sistema de recollida de lixiviats i es va detectar la pèrdua de N mineral en els tractaments MM + RP, tot i que no es va quantificar.

Taula 37.5. Extraccions de nitrogen tenint en compte els dalls i els tractaments (kg N/ha)

	1r dall	2n dall	3r dall	4t dall	Total
C	23,4	13,4	1,4	12,1	50,3
C + P	71,3	48,9	23,6	55,7	199,5
MM + P	37,7	71,7	66,0	101,4	276,8
MM	19,4	38,5	52,6	64,6	175,1
TV*	15,0	30,6	4,3	13,5	63,4

*Terra vegetal utilitzada com a blanc.

37.4. Aplicació de compost de RSU a un cultiu de *Lolium multiflorum* a Menorca

En aquest apartat s'aporten algunes dades obtingudes durant l'experiència de tres anys que es va dur a terme en col·laboració amb el Centre de Capacitació i Experiències Agràries de Maó (Consell Insular de Menorca) i en el marc de la qual es van realitzar diferents treballs finals de carrera (Bofarull, 1999; Turú, 2000; Rodríguez i Rebollo, 2002; Pérez i Sanz, 2004).

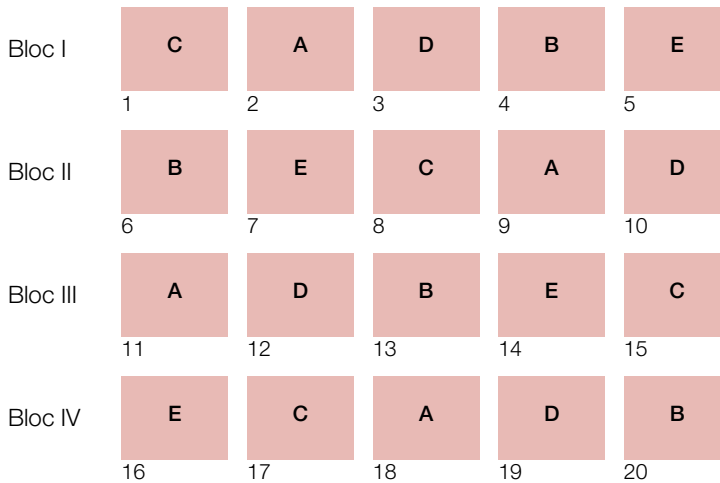
El compost utilitzat per a les proves procedia de la planta de compostatge de RSU de Menorca, i les seves característiques es troben en la **taula 37.6**. Els continguts en MO i N_{org} eren acceptables, però presentava una CE elevada i baixa estabilitat. El contingut en metalls era elevat i, encara que complia la normativa existent en aquell moment (BOE 131, 1998), actualment (RD 824/2005) correspondria a compost de classe C.

Els sòls de Menorca presenten un nivell acceptable de matèria orgànica i, tot i que l'aplicació durant tres anys consecutius de compost a un cultiu com el raigràs no és gaire habitual des del punt de vista agronòmic, en aquesta experiència es va dur a la pràctica amb la finalitat de determinar el comportament del N orgànic del compost i la relació entre estabilitat i taxa de mineralització.

S'hi van aplicar cinc tractaments (**figura 37.5**): A, sense cap tipus de fertilització; B, amb aplicació de fertilització mineral (sementera i cobertora); i C, D i E en els quals es va aplicar la mateixa quantitat de compost, però complementant-la amb

Taula 37.6. Característiques del compost de la planta de compostatge de RSU de Menorca

		2001	2002	2003
pH	extracte 1/5	8,30	7,63	8,33
CE	dS m ⁻¹ , extracte 1/5	8,25	8,83	10,19
Humitat	% smh	23,16	24,35	21,04
N-NH ₄ ⁺	mg k g ⁻¹ sms, extracte 1/5	1.654	1.816	1.313
MOT	% sms	53,57	55,60	47,35
N _{org}	% sms	1,84	2,08	2,31
C/N		15	13	10
MOR	% sms	21,64	22,6	21,78
P	% sms	0,36	1,11	0,55
K	% sms	0,57	0,81	0,85
Na	% sms	0,76	1,14	1,02
Ca	% sms	8,54	13,5	11,46
Mg	% sms	1,16	1,34	1,26
Fe	% sms	0,61	0,60	0,68
Zn	mg kg ⁻¹ sms	948	1.540	946
Cu	mg kg ⁻¹ sms	357	500	286
Ni	mg kg ⁻¹ sms	107	99	110
Cr	mg kg ⁻¹ sms	263	289	204
Pb	mg kg ⁻¹ sms	257	379	323
Cd	mg kg ⁻¹ sms	0,98	1,03	0,52

Figura 37.5. Distribució dels tractaments en el camp i fertilització aplicada

kg ha ⁻¹			
Tractaments	Sementera		Cobertura
	Compost	FM	FM
A	0	0	0
B	0	500**	30 · 3N
C	25.000	45N	0
D	25.000	0	15N · 3
E	25.000	45N	15N · 3

** 9-18-27

fertilitzants minerals en diferents dosis i en diferents moments. En el tractament C es va aplicar la fertilització mineral a l'inici per evitar problemes d'immobilització del N (que es produeix si el compost és immadur); en el D no es va aplicar en sementera precisament per posar en evidència la immobilització, si es produïa, i es va aplicar després de cada dall; en l'E es va aplicar abans i després de cada dall. L'experiència de camp es va dur a terme seguint el model estadístic de blocs a l'atzar (4 repeticions i 5 tractaments per bloc); cada subparcel·la feia 16 m².

Es van agafar mostres de sòl a l'inici i al final de cada anualitat, i es van determinar: pH, CE, matèria orgànica, nitrogen orgànic i fòsfor assimilable. En les mostres inicials i finals del tercer any es va determinar el nivell en metalls pesants (taula 37.7).

Taula 37.7. Contingut en metalls (mg kg⁻¹) dels sòls a l'inici i al final de l'experiència

Tractaments		Zn	Cu	Cr	Pb
A	I	96	31	30	25
	F	104	35	27	35
B	I	100	32	30	25
	F	104	37	27	39
C	I	81	30	24	25
	F	255	64	49	66
D	I	86	31	42	23
	F	169	61	49	64
E	I	93	31	23	26
	F	216	65	54	58

Del material vegetal, a part de quantificar-ne la producció (taula 37.8), es va determinar el contingut en humitat, matèria mineral, nitrogen i macronutrients, així com els metalls pesants.

En la producció dels diferents anys, a més a més de la disponibilitat de N, van tenir molta influència les condicions climatològiques (la pluviometria, en particular), ja que no es va aplicar cap tipus de reg.

L'aplicació de compost poc estable va provocar problemes d'immobilització del N en les primeres etapes del cultiu, efecte que va anar disminuint amb el temps.

La fertilització mineral es va manifestar efectiva, tant quan es va aplicar sola com quan es va aplicar combinada amb el compost; però la seva incidència en la producció va ser més visible i significativa en els dos primers anys. L'efec-

te residual de les aplicacions reiterades de compost es va posar en evidència el tercer any.

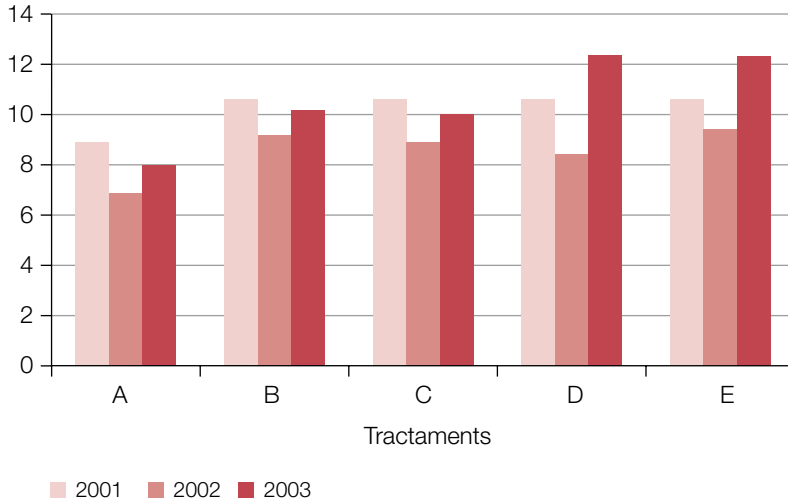
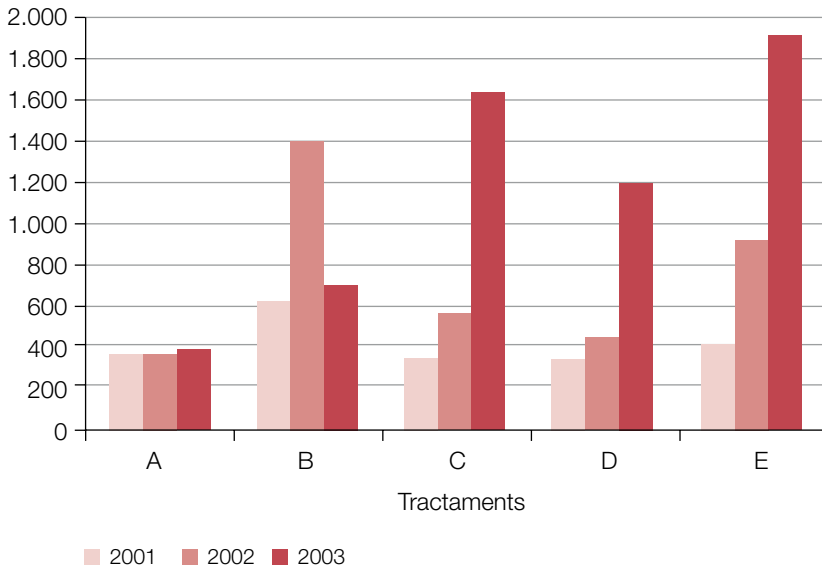
Els continguts en N orgànic i mineral de les mostres de teixit vegetal també evidencien la poca disponibilitat de N assimilable en les primeres etapes de l'aplicació de compost (figura 37.6).

Taula 37.8. Producció dels diferents tractaments i dalls durant els tres anys que va durar l'experiència

Tractament	Dall	2000-2001			2001-2002			2002-2003		
		kg FV ha ⁻¹	% MS	kg MS ha ⁻¹	kg FV ha ⁻¹	% MS	kg MS ha ⁻¹	kg FV ha ⁻¹	% MS	kg MS ha ⁻¹
A	1	3.892	16	619	511	21	106	1.420	14	199
B	1	15.398	12	1.909	5.682	18	1.023	11.278	11	1.212
C	1	12.727	12	1.553	11.193	14	1.511	13.778	10	1.327
D	1	5.256	14	746	5.682	16	888	10.028	10	953
E	1	9.602	13	1.277	10.483	14	1.494	12.216	10	1.207
A	2	1.392	22	299	5.369	22	1.176	625	21	132
B	2	24.006	13	3.042	32.841	16	5.255	13.778	16	2.258
C	2	6.449	15	967	15.511	17	2.676	10.824	17	1.834
D	2	8.864	15	1.330	24.773	16	3.902	18.438	15	2.766
E	2	14.403	14	1.944	27.926	16	4.329	15.142	16	2.397
A	3	4.915	26	1.259	3.835	36	1.390	3.636	35	1.273
B	3	9.432	28	2.594	8.949	32	2.841	9.858	32	3.155
C	3	6.051	26	1.551	5.540	35	1.925	6.506	34	2.196
D	3	7.102	27	1.923	6.392	33	2.093	8.523	34	2.855
E	3	8.182	27	2.233	7.528	33	2.484	8.864	34	2.969

Figura 37.6. Contingut en proteïna i nitrats segons tractament i any

% proteïnes

mg kg⁻¹ sms

37.5. Proves en ple camp per comparar el comportament de materials orgànics de diferent origen (fems, compost d'RSU i fangs de depuradora) en una rotació de cultius extensius (CICYT, projecte AGF96-0966)

En aquest tipus de proves es dóna molta importància a la producció i als canvis observats a llarg termini en les característiques del sòl; com que són proves que impliquen molta feina, cal fer un bon plantejament i una bona programació dels paràmetres que s'han de controlar per obtenir tota la informació possible i rentabilitzar-les al màxim.

En una rotació duta a terme per comparar el comportament de fangs de depuradora urbana, fems de vaquí i compost de RSU (**taula 37.9**) es van estudiar a fons les produccions (**taula 37.10**) i els canvis observats en les característiques del sòl, però també es van fer moltes altres determinacions que van ajudar a aclarir el comportament dels residus i de les quals es mostren alguns resultats. És important veure quin plantejament es va fer de l'experiència: en la **figura 37.7** s'esquemmatitza la hipòtesi de treball i en la **figura 37.8**, la distribució dels blocs i dels tractaments. La distribució dels diferents tractaments en els blocs no es va fer a l'atzar, per facilitar la distribució dels materials i el pas de la maquinària. La **figura 37.9** mostra el calendari de la rotació completa i indica les previsions de mineralització del N.

Taula 37.9. Composició dels materials orgànics utilitzats el primer any de la rotació

Paràmetres	Compost de residus sòlids urbans	Fangs de depuradora	Fems de vaquí
pH	6,50	6,85	7,95
CE dS m ⁻¹	10,00	2,20	3,90
% H	43,62	83,42	45,05
ppm N-NH ₄ sol	2.735	11.365	109
ppm N-NO ₃	88	70	947
% MOT	58,87	67,33	45,05
% N _{org}	1,47	5,32	2,05

.../...

Paràmetres	Compost de residus sòlids urbans	Fangs de depuradora	Fems de vaquí
C/N	20	6	11
% MO resistent	13,82	18,38	22,11
% GE (MOR/MOT)	23,49	27,31	49,09
% N _{nH}	0,42	0,75	1,05
% P	0,34	2,47	1,36
% K	0,53	0,56	2,34
% Ca	6,36	6,00	5,67
% Mg	0,44	0,59	1,10
% Na	0,60	0,24	0,43
% Fe	0,53	0,48	0,80
ppm Zn	208	662	281
ppm Mn	101	95	458
ppm Cu	109	310	75
ppm Ni	80	45	54
ppm Cr	84	61	52
ppm Pb	152	121	22
ppm Cd	< 1	1	< 1

Figura 37.7. Hipòtesi de treball

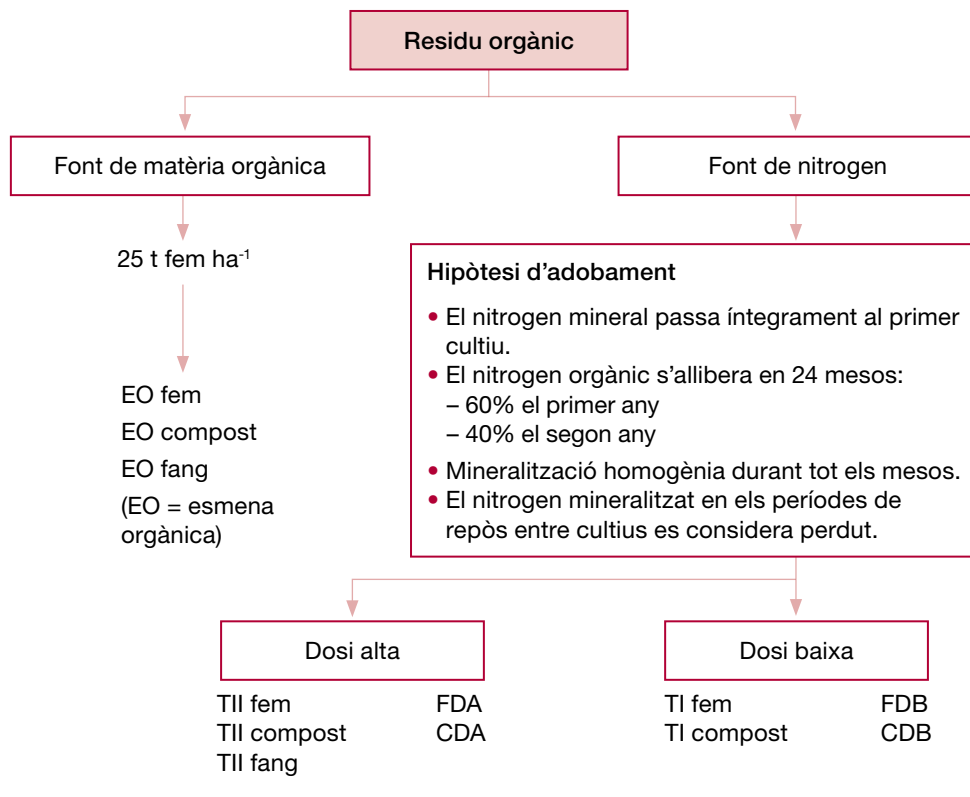


Figura 37.8. Distribució dels diferents tractaments i dels blocs

	Mineral 10	TII c 9	TI c 8	EO c 7	EO fem 6	EO fang 5	TI fem 4	TII fem 3	TII fang 2	Test. 1
Bloc 1	T10.1.	T9.1.	T8.1.	T7.1.	T6.1.	T5.1.	T4.1.	T3.1.	T2.1.	T1.1.
Bloc 2	T10.2.	T9.2.	T8.2.	T7.2.	T6.2.	T5.2.	T4.2.	T3.2.	T2.2.	T1.2.
Bloc 3	T10.3.	T9.3.	T8.3.	T7.3.	T6.3.	T5.3.	T4.3.	T3.3.	T2.3.	T1.3.
Bloc 4	T10.4.	T9.4.	T8.4.	T7.4.	T6.4.	T5.4.	T4.4.	T3.4.	T2.4.	T1.4.

Figura 37.9. Calendari de la rotació amb indicació de les previsions de mineralització del N

Any	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
Any 1993						Sembra blat de moro 8.6.93					Collita blat de moro 23.11.93	
Any 1994												
	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
		Sembra ordi 24.2.94					Collita ordi 25.7.94				Sembra colza 14.11.94	
Any 1995												
	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
						Collita colza 20.6.95					Sembra pèsol 17.11.95	
Any 1996												
	Gener	Febrer	Març	Abril	Maig	Juny	Juliol	Agost	Set.	Oct.	Nov.	Des.
						Collita pèsol 23.6.96						

- 1r any de mineralització dels residus aportats al cultiu de blat de moro (60%)
- - 2n any de mineralització dels residus aportats al cultiu de blat de moro (40%)
- 1r any de mineralització dels residus aplicats al cultiu de l'ordi (60%)
- ==== 2n any de mineralització dels residus aplicats al cultiu de l'ordi (40%)
- //// 1r any de mineralització dels residus aportats al cultiu de la colza (60%)
- |||| 2n any de mineralització dels residus aplicats al cultiu de la colza (40%)

Taula 37.10. Produccions dels cultius de la rotació en kg ha⁻¹

Tractament	Blat de moro	Ordi	Colza	Pèsols
Testimoni	11.292 a	4.708 ab	1.173 d	58 c
TII fang	10.651 a	4.890 ab	2.563 a	501 ab
TII fem	11.780 a	5.872 a	1.800 bc	500 ab
TI fem	10.276 a	5.745 a	2.078 ab	461 ab
EO fang	10.264 a	4.062 b	2.263 ab	628 a
EO fem	11.920 a	4.946 ab	2.415 ab	383 ab
EO compost	10.523 a	5.144 ab	2.548 A	350 ab
TI compost	10.253 a	4.848 ab	2.253 ab	420 ab
TII compost	9.610 a	5.912 a	1.475 cd	403 ab
Fertilització mineral	11.478 a	4.653 ab	2.158 ab	262 b

TII: dosi alta; TI: dosi baixa; EO: esmena orgànica.

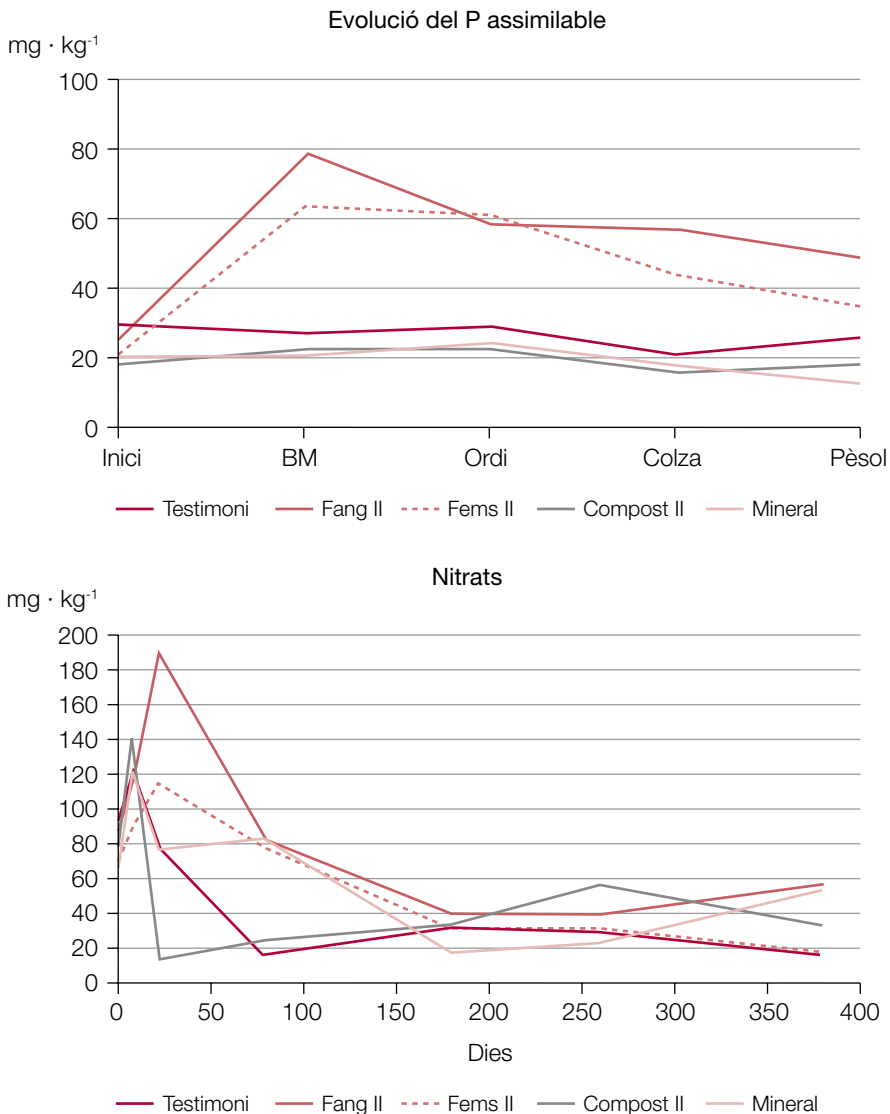
La **taula 37.11** mostra la diferència de comportament dels fems i del compost insuficientment madur aplicats al cultiu de blat de moro (cap de rotació). La immaduresa del compost provoca immobilització del N en el sòl que té efectes en l'alçada i el contingut en nitrogen nítric i orgànic del teixit vegetal. En la **figura 37.10** es pot veure l'evolució del contingut en nitrogen nítric del sòl durant tot el cultiu i per a tots els tractaments.

Taula 37.11. Continguts en N nítric i N orgànic de plantes joves de moresc i relació amb els nitrats del sòl i els tractaments aplicats

Tractament	mg kg ⁻¹ N-NO ₃ ⁻ sòl	mg kg ⁻¹ N-NO ₃ ⁻ planta	% N _{org} planta	Alçada planta cm
Fem II	20,6	6.733	4,32	48
Fem I	20,0	7.279	4,34	47
Compost II	2,5	1.496	3,77	32
Compost I	7,6	4.896	4,45	39

En la **figura 37.10**, a més a més de l'evolució en N nítric del sòl, es mostra, per la mateixa experiència, l'evolució del contingut en fòsfor assimilable, i destaquen els elevats continguts per als tractaments amb fangs i fems.

Figura 37.10. Variació del contingut en P Olsen del sòl, al llarg d'una rotació de cultius extensius, segons tractament i mineralització del N durant el primer cultiu



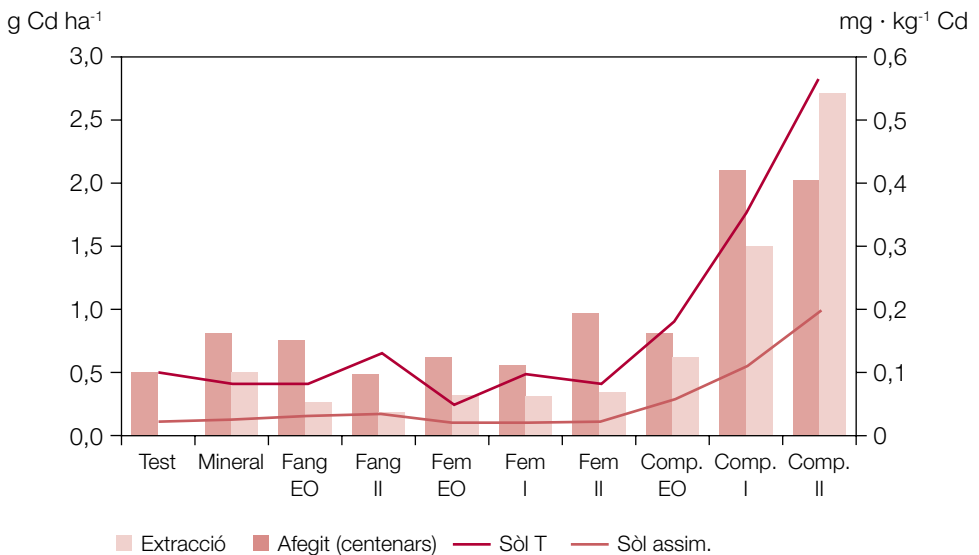
En la **figura 37.11** es pot veure la col·locació de tubs per estudiar la mineralització del N, depenent del tractament i del tipus de tub (que permeti o no la lixiviació). Es mostren com una manera més d'estudiar la mineralització dels materials i volen indicar que en proves d'aquest tipus hi ha moltes possibilitats de treball.

Figura 37.11. Col·locació de tubs per a l'estudi de la mineralització del N



La **figura 37.12** dóna informació sobre dos dels metalls dels quals s'ha fet el seguiment; es pot veure la quantitat de metall afegida i extreta, segons el tractament, així com el contingut final (total i assimilable) en el sòl.

Figura 37.12. Contingut en metalls i efectes segons tractament aplicat



.../...

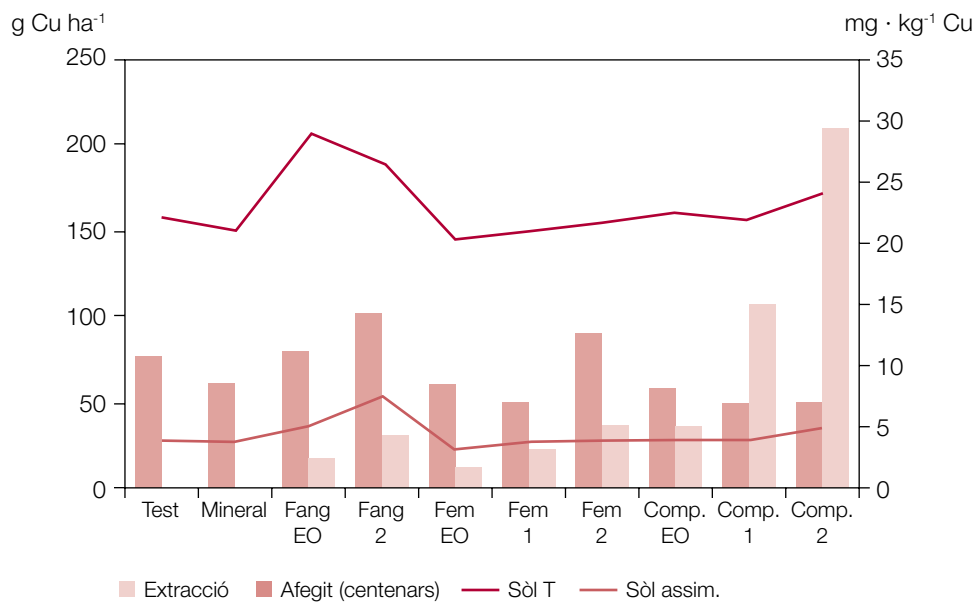


Figura 37.13. Algunes imatges d'assaigs duts a terme a l'ESAB

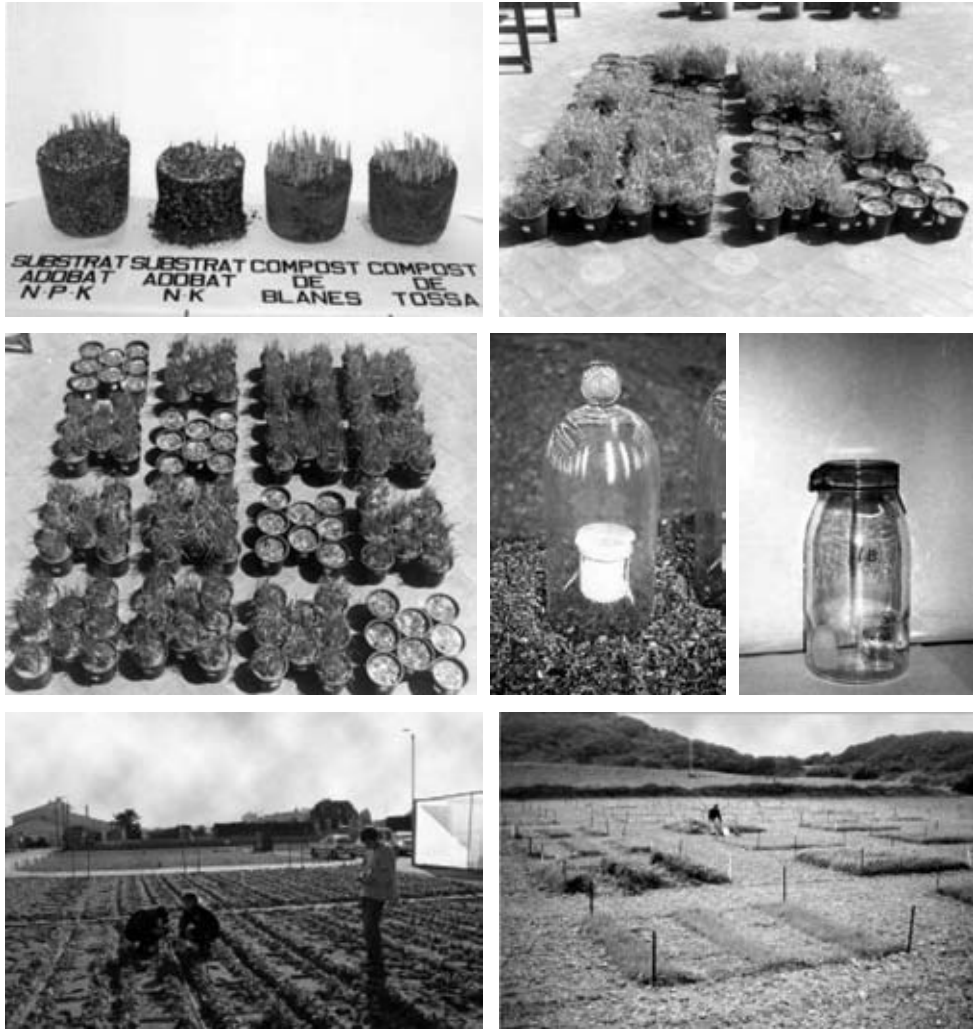


Figura 37.14. Algunes imatges de proves de camp dutes a terme a l'ESAB



Nota bibliogràfica

A més a més de les referències incloses en el text n'hi ha d'altres que poden ser d'interès per a aquest apartat:

ALCOLEA i GARCIA, 1999; ALMANSA, 1999; ALMANSA *et al.*, 2000a; ARIAS, 1995; BERNAL *et al.*, 2009; CASADO i FERRANDO, 1999; CASTRO i TURRÓ, 1999; CRESPO i JANER, 1995; CROS, 1994; FELIPÓ i SOLIVA, 2003; FELIPÓ *et al.*, 2004; GIL i BERNAT, 2005; GIRÓ, 1987; HUERTA *et al.*, 2005; HUERTA *et al.*, 2008b; KEELING *et al.*, 1994; LOPERA, 1998; MARTÍNEZ, 1998; MARTORELL i MUNS, 1995; PAULET, 1999; RULL, 1997; SANTAMARIA, 1993; SOLIVA, 2004.

Bibliografia

- ADANI, F.; GENEVINI, P.L.; TAMBONE, F. 1995. «A new index for compost stability». *Compost Sci. Util.* 3: 25-37.
- ADANI, F.; LOZZI, P.; GENEVINI, P.L. 2001. «Determination of biological stability by oxygen uptake on municipal solid waste and derived products». *Compost Sci. Util.* 9(2): 163-177.
- ADANI, F.; GIGLIOTTI, G.; VALENTINI, F.; LARAIA, R. 2003. «Respiration index determination: a comparative study of different methods». *Compost Sci. Util.* 11: 144-151.
- ADANI, F.; UBBIALI, C.; GENERINI, P. 2006. «The determination of biological stability of composts using the Dynamic Respiration Index: The results of experience after two years». *Waste Manage.* 26: 41-48.
- ADANI, F.; TAMBONE, F.; GENEVINI, P. 2009. «Effect of compost application rate on carbon degradation and retention in soils». *Waste Manage.* 29: 174-179.
- ADHIKARI, B.K.; BARRINGTON, S.; MARTÍNEZ, J.; KING, S. 2008. «Characterization of food waste and bulking agents for composting». *Waste Manage.* 28: 795-804.
- AFNOR. 1976. Produits organiques. Supports et milieux de culture. Norma U44. 160.
- AGNEW, J.M.; LEONARD, J.J. 2003. «The physical properties of compost». *Compost Sci. Util.* 11(3): 238-264.
- ALCOLEA, M.; GARCIA, A. 1999. *Efectes de l'aplicació de residus orgànics d'origen agrícola (fem de vaquí) i urbà (compost RSU i fang de depuradora) en un cultiu d'enciam inclòs en una rotació hortícola*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 173 p.
- ALÉN, R.; SJÖSTRÖM, E. 1999. *Analytical Methods in Wood Chemistry, Pulping, and Papermaking*. Berlin: Springer Verlag. Springer Series in Wood Science. 316 p.

ALMANSA, M. 1996. *Diferències de comportament d'un compost madur i mig madur a l'afegir-hi un material ric en N orgànic*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 76 p.

ALMANSA, M. 1999. *Valoració del comportament de residus orgànics mitjançant incubació i aplicació en una rotació de cultius*. Projecte final de carrera. Lleida: ETSEA.

ALMANSA, M.; MARTÍNEZ, X.; LLEDÓ, M.; MARTORELL, C.; MUNS, G.; SEGUÍ, J.; RULL, J.; ORTIZ, D.; SOLIVA, M. 2000a. *Balanç de nutrients en l'aplicació de residus orgànics en una rotació de cultius extensius*. IV Congrès de la ICEA. Tarragona, octubre.

ALMANSA, M.; PUJOL, M.; SOLIVA, M.; MOLINA, N.; VILA, M. 2000b. *Aprofitament del residu dels banys de pelatge de pell de vacum barrejat amb compostos com a substrat*. IV Congrès de la ICEA. Tarragona, octubre.

ALMANSA, M.; FERNÁNDEZ, M.; VALERO, J.; LÓPEZ, M.; SOLIVA, M. 2007. «Velocidad de mineralización del estiércol vacuno según su estabilidad». *Residuos* 96: 30-36.

ANDÚJAR, D.; LÓPEZ, J. 2001. *Índice de germinación como método de determinación de fitotoxicidad en los extractos de compost. Efectos de la presencia de distintas especies químicas*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 130 p.

ANNAN, J.S.; WHITE, R.K. 1998. «Evaluation of techniques for measure air filled porosity in composts of municipal biosolids and wood chips». *Actes de la 1978 Conference Composting in the Southeast*. 9-11 setembre. Athens, Geòrgia. p. 88-96.

ANSORENA, J. 1994. *Sustratos. Propiedades y caracterización*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 172 p.

AOAC. 1990. *AOAC official methods of analysis*. Association of Official Analytical Chemists. 15a ed. Arlington, Virgínia, p. 84-85.

ARIAS, M. 1995. *Efecte de l'aplicació de fang de depuradora, compost de RSU i fems en l'evolució a curt termini del fòsfor en el sòl*. Projecte final de Carrera. Lleida: ETSEA. 280 p.

ASTM D5715 - 00. 2006. *Standard Test Method for Estimating the Degree of Humification of Peat and Other Organic Soils (Visual/Manual Method)*.

AZCUE, J.; MUDROCH, A. 1994. «Comparison of different washing, ashing and digestion methods for the analysis of trace elements in vegetation». *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 12: 211-221.

- BAKER, S.M.; RICHARD, T.L.; ZHANG, Z.; MONTEIRO DA ROCHA, S. 1998. «Determining the free airspace inside compost mixtures using a gas pycnometer». Ponència núm. 984094. American Society of Agricultural Engineering. Orlando, FL. [Citat per Mo-
hee i Mudhoo, 2005].
- BARBERIS, R.; CONSIGLIO, M.; NAPPI, P. 1990. «Criteri per la valutazione della qualità dei compost». *Acqua Aria*, 2: 157-163.
- BARRENA, R.; VÁZQUEZ, F.; SÁNCHEZ, A. 2006. «The use of respiration indices in the composting process: a review». *Waste Manage. Res.* 24: 37-47.
- BARRINGTON, S.; CHOINIERE, D.; TRIGUI, M.; KNIGHT, W. 2002. «Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses». *Bioresource Technol.* 83: 189-194.
- BEAUCHAMP, E.G.; REYNOLDS, W.D.; BRASCHE-VILLENEUVE, D.; KIRBY, K. 1986. «Nitrogen mineralization kinetics with different soil pretreatments and cropping histories». *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 50: 1478-1473.
- BENITO, P.; ZALOÑA, M.; SOLIVA, M.; HUERTA, O. 2009. «Planta de compostaje de Castelldefels: desarrollo urbanístico y gestión de residuos». *Residuos*, 114: 28-35.
- BERNAL, M.P.; NAVARRO, A.; SÁNCHEZ, M.; ROIG, A.; CEGARRA, J. 1998. «Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil». *Soil Biol. Biochem.* 30: 305-313.
- BERNAL, M.P.; PAREDES, C.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A.; CEGARRA, J. 1998. «Maturity and stability parameters of composts prepared with range of organic wastes». *Biore-sour. Technol.* 63: 91-99.
- BERNAL, M.P.; ALBURQUERQUE, J.A.; MORAL, R. 2009. «Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review». *Bioresource Technol.* 100(22): 5444-5453.
- BERNAT, C.; CASADO, D.; FERRANDO, C.; PAULET, S.; PUJOL, M.; SOLIVA, M. 2001. «Compost, manure and sewage sludge applied to a crop rotation». A: Sangiorgi, F. (ed). *Recycling of Agricultural Municipal and Industrial residues in Agricultura*. Universitat de Milà.
- BIDLINGMAIER, W. (coord.). 1994. «Carrying out the taking of sample in methods book for the analysis of compost». Federal Compost Assurance Organization. *Budessgu-tegemeinschaft Kompost e.V.* Nr. 230. ISBN 3-928179-33-0. p 1-8.

BINNER, E.; LECHNER, P.; WIDERIN, M.; ZACH, A. 1997. «Labor test methods characterizing the biological reactivity of wastes». 6th International Landfill Symposium 1997. Octubre 13-17. Cagliari, Sardenya, Itàlia. 12p.

BINNER, E.; ZACH, A. 1999. «Biological reactivity of residual wastes and dependence on the duration of pre-treatment». *Waste Manage. Res.* 17: 543-554.

BIROU, B.; MARISON, I.W.; VON STOCKAR, U. 1987. «Calorimetric investigation of aerobic fermentations». *Biotechnology and Bioengineering.* 30: 650-660.

BLOOM, E.; RICHARD, T.L. 2002. «Relative Humidity and Matric Potential constraints on Composting Microbial Activity». ASAE Annual International Meeting / CIGR XV World Congress.

BOFARULL, J. 1999. *Estudi sobre la composició i producció de farratge a diferents dosis d'adobats orgànics i/o minerals*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 126 p.

BONILLA, M.J. 1983. *Influència del mostreig en el seguiment d'una prova de compostatge d'escombraries urbanes i fangs de depuradora*. Barcelona: TFC-ESAB-UPC. 108.

BRAY, R.H.; KURTZ, L.T. 1945. «Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil». *Soil Sci.* 59: 39-45.

BREWER, L.J.; SULLIVAN, D.M. 2001. «A quick look at quick compost stability tests». *BioCycle*. Gener: 53-55.

BREWER, L.J.; SULLIVAN, D.M. 2003. «Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings». *Compost Sci. Util.* 11(2): 96-112.

BRINTON, W.F.; EVANS, E.; DROFFNER, M.L.; BRINTON, R.B. 1995. «Standardized test for evaluation of compost self-heating». *BioCycle*, 36(11): 64-69.

BRINTON, W.F. 2000. *Compost Quality Standards & Guidelines*. EUA: Woods End Research Laboratory.

BUSCH, D.; WAGAR, T.; SCHMITT, M. 2000. *Livestock manure sampling*. Publicació del Servei d'Extensió de la Universitat de Minnesota. FO-06423-GO.

BUSCHE, L.R. 1960. *The Klason lignin determination as applied to aspenwood with special reference to acid-soluble lignin*. Tesi Doctoral. Appleton, Wisconsin. 114 p.

BUTLER, T.A.; SIKORA, L.J.; STEINHILBER, P.M.; Douglass, W. 2001. «Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost». *J. Environ. Qual.* 30: 2141-2148.

CABRERA, M.L.; KISSEL, D.E. 1988. «Potentially mineralizable Nitrogen in disturbed and undisturbed soil samples». *Soil Sci. Soc. Am. J.*; 52: 1010-1015.

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. UdL. 394 p.

CÁCERES, R.; FLOTATS, X.; MARFÀ, O. 2006. «Changes in the chemical and physicochemical properties of the solid fraction of cattle slurry during composting using different aeration strategies». *Waste Manage.* 26: 1081-1091.

California Compost Quality Council (CCQC). 2001. *Compost Maturity Index*. 26 p.

CAMPABADAL, M.J. 1998. *Diferents formes de nitrogen en el compostatge de fracció orgànica procedent de recollida selectiva amb addició de restes vegetals*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 178 p.

CAMPBELL, C.D.; DARBYSHIRE, J.F. 1990. «The composting of tree bark in small reactors: adiabatic and fixed-temperature experiments». *Biological Wastes* 31: 175-185.

CANADIAN MINISTRY OF ENVIRONMENT. 1991. *Interim guidelines for the production and use of aerobic compost in Ontario*. Waste Reduction Office. Ontario. Ministry of the Environment. ISBN 0-7729-9123-5. 27 p.

CANARUTTO, S.; PETRUZZELLI, G.; LUBRANO, L.; VIGNA, G. 1991. «How composting affects heavy metal content». *BioCycle* 32(6): 48-50.

CANET, R.; POMARES, F. 1995. «Changes in physical, chemical and physicochemical parameters during the composting of municipal solid wastes in two plants in Valencia». *Bioresource Technol.* 51: 259-264.

CARLSBAEK, M.; BROEGGER, M. 1999. «New standardised product sheet for compost in Denmark». A: Bidlingmaier, W.; de Bertoldi, M.; Diaz, L.F.; Papadimitriou, E.K. (eds.). *Orbit 99: organic recovery and biological treatment*. Actes de la International Conference ORBIT 99 on Biological Treatment of Waste and the Environment. p. 445-451.

CASADO, D.; FERRANDO, C. 1999. *Influència de l'aplicació de residus orgànics (compost de RSU, fangs de depuradora i fems de vaqui) sobre el sòl i sobre un cultiu de blat*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

CASTELLANOS, J.Z.; PRATT, P.F. 1981. «Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes». *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 354-357.

CASTRO, O.; TURRÓ, J. 1999. *Producció, contingut en vitamina C i components minerals de la Lactuca sativa segons tipus d'adobat*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

CHACÓ, C. 1997. *Determinació de diferents formes de nitrogen en residus orgànics*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 60 p.

CHANYASAK, V.; KUBOTA, H. 1981. «Carbon/organic nitrogen ratio in water extract as measure of composting degradation». *J. Ferment. Technol.* 59: 215-219.

CHANYASAK, V.; KUBOTA, H. 1983. «A standard measurement for compost maturity». *BioCycle* 6: 54-56.

CHEFETZ, B.; CHEN, Y.; HADAR, Y. 1998. «Water-extractable components released during composting of municipal solid waste». *Acta Horticulturae (ISHS)* 469: 111-118.

CHEFETZ, B.; HADAR, Y.; CHEN, Y. 1998. «Dissolved organic carbon fractions formed during composting of municipal solid waste: properties and significance». *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 26: 172-179.

CHEN, Y.; SENESI, N.; SCHNITZER, M. 1977. «Information provided on humic substances by the En/E 6 ratios». *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 352-358.

CHEN, Y.; INBAR, Y. 1993. «Chemical and spectroscopical analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity». A: Hoitink, H.A.; Keener, H.M. (eds). *Science and engineering of composting: Design, environmental, microbiological and utilization aspects*. The Ohio State University. p. 551-600.

CLAVER, A.; ORMAD, P.; RODRÍGUEZ, L.; OVELLEIRO, J.L. 2003. «Tratamiento de residuos procedentes del análisis sistemático de la DQO». *Residuos* 73: 100-113.

COKER, C. 2009. «Bulk Density Determination and Conversion». Article tècnic. Carolina Composting Council. <<http://www.carolinascompostingcouncil.org>> [Consulta: 23/04/2009].

COKER, C. 2002. «Monitoring moisture in composting». Article tècnic. Carolina Composting Council.

Comissió Europea. 2003. «*Working document on sludge, 3rd draft*». Document de treball.

CONDES, L.; INDURÁIN, M. 2002. *Test d'Autoescalfament en la qualificació del compost de Residus Municipals*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 131 p.

CONDES, L.; INDURÁIN, M.; LÓPEZ, M.; SOLIVA, M. 2002. *Uso del Test de Autocalentamiento para la determinación de la estabilidad de muestras de compost*. Pòster presentat a les VI Jornadas de Sustratos de la SECH. 20, 21 i 22 de novembre de 2002. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona.

CONDES, L. 2006. *El compost com a esmena orgànica: utilització del Test d'Autoescalfament per valorar la seva estabilitat*. PFC Ciències Ambientals. UB. 116 p.

Consell Europeu. Directiva 1999/31/CE, de 26 de abril de 1999, relativa l'abocament de residus.

COOPERBAND, L. 2002. *The Art and Science of Composting. A resource for farmers and compost producers*. University of Wisconsin-Madison. Center for Integrated Agricultural Systems.

COOPERBAND, L.R.; STONE, A.G.; FRYDA, M.R.; RAVET, J.L. 2003. «Relating compost measures of stability and maturity to plant growth». *Compost Sci. Util.* 11(2): 113-124.

CORNELL WASTE MANAGEMENT INSTITUTE. «2004-05. Compost Quality. Testing compost». Fitxa tècnica, núm. 4. 6 p.

CRESPO, D.; JANER, P. 1995. *Efecte de l'aplicació de subproductes d'origen agrícola i urbà en el cultiu de tomàquet d'indústria*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 276 p.

CROS, P. 1994. *Estudi sobre el procés de mineralització de fòsfor afegit al sòl en forma de compost*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

D'ANGELO, G.; FRANGI, P.; CASTELNUOVO, M.; CAMMARERI, CH.; POZZI, A. 2002. «Confronto tra metodi di analisi dei substrati a base di compost». *Quaderni della Ricerca*, 21. Fondazione Minoprio - Centro MIRT. 32 p.

DAHLEN, L.; LAGERKVIST, A. 2008. «Methods for household waste composition studies». *Waste Manage.* 28: 1100-1112.

DERIKX, P.J.L.; OGINK, N.W.M.; HOEKSMAN, P. 1997. «Comparison of sampling methods for animal manure». *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45: 65-79.

DILL, I.; KRAEPELIN, U.; SCHULZE, U.; REH, U.; WEISSLEDER, I. 1987. «Lignin Enzymatic and Microbial Degradation. Institut für Biochemie und Molekulare Biologie». Abteilung Botanik Technische Universität Berlin. D-1000 Berlin 12, FRG. Reimpresió de *Les colloques de l'INRA*. [París], 40. (23-24 abril 1987). Publicació 121. 5 p.

DOU, Z.; GALLIGAN, D.T.; ALLSHOUSE, R.D.; TOTH, J.D.; RAMBERG, C.F.; FERGUSON, J.D. 2001. «Manure sampling for nutrient analysis: variability and sampling efficacy». *J. Environ. Qual.* 30: 1432-1437.

DU TOIT, A.J. 1987. «Quantification of odour problems associated with liquid and solid feedlot and poultry wastes». *Wat. Sci. Tech.* 19: 31-41.

EC. 2001. *Second Draft Working Document on the Biological Treatment of Bio-waste*. Directorate General Environment, DGENV.A.2, Brussel·les.

EC. 2006. Comunicació de la Comissió COM (2006) 232 final. 2006/0086 (COD), per la qual s'estableix un marc per a la protecció del sòl i es modifica la Directiva 2004/35/CE. Brussel·les, 22/9/2006.

ECHIVARRIA, S. 1996. *Quantificació dels ions més freqüents en extractes aquosos de compost de diferents orígens: relació amb la conductivitat elèctrica*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 126 p.

EGGEN, T.; VETHE, O.; 2001. «Stability indices for different composts». *Compost Sci. Util.* 9 (2): 27-37.

EGHBALL, B.; LESOING, G.W. 2000. «Viability of weed seeds following manure windrow composting». *Compost Sci. Util.* 8: 46-53.

EGLEY, G.H. 1990. «High-temperature effects on germination and survival of weed seeds in soil». *Weed Science*, 38: 429-435.

EKLIND, Y.; KIRCHMANN, H. 2000. «Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. I: carbon turnover». *Bioresource Technol.* 74: 115-124.

EKLIND, Y.; KIRCHMANN, H. 2000. «Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II: nitrogen turnover and losses». *Bioresource Technol.* 74: 125-133.

ESAB. 1988. *Laboratori d'Anàlisi Química. Mètodes utilitzats per a l'anàlisi de fangs de depuradora i compost.*

ESTAUN, V.; CALVET, C.; PAGÉS, M.; GRASES, J.M. 1985. «Chemical Determination of Fatty Organic Acids and Phenols, during Olive Marc Composting Process». *Acta Horticulturae*, 172.

ESTRADA, F. 1995. *Mineralització del carboni orgànic dels fangs procedents de la depuració d'aigües residuals urbanes: efectes del tipus de sòl i del contingut en crom del fang.* Projecte final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 84 p.

ESTRADA, J. 1986. *La capacitat d'intercanvi catiònic: un índex de maduresa per a compost.* Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

ESTRADA, J.; SAÑA, J. 1986. «Application of a new method for C.E.C. determination as a compost maturity index». A: de Bertoldi, M.; Ferranti, M.P.; l'Hermite, P.; Zucconi, F. (eds.). *Compost: production, quality and use.* Elsevier Applied Science. p. 329-334.

FAUCI, M.F.; BEZDICEK, D.F.; CALDWELL, D.; FINCH R. 1999. «End-product quality and agronomic performance of compost». *Compost Sci. Util.* 2(1).

FEDERAL COMPOST QUALITY ASSURANCE ORGANIZATION. 1994. «Methods book for the Analysis of compost». *Bundesgutegemeinschaft Komposte*, 230. 125 p.

FELIPÓ, M.T.; GARAU, M.A. 1987. «Comparison of biological methods to determine available nitrogen in sewage sludge amended soil». *Biol. Fertil. Soils* 5: 26-30.

FELIPÓ, M.T.; SOLIVA, M. 2003. «Organic wastes as a resource for Mediterranean soils». A: Langenkamp, H.; Marmo, L. (eds). *Biological Treatment of Biodegradable Wastes. Technical Aspects.* p. 249-272.

FELIPÓ, M.T.; HUERTA, O.; LÓPEZ, M.; SOLIVA, M. 2004. *Research on organic wastes soil recycling and its applicability to local scenarios.* International Conference Education in Sustainable Development EESD 2004. Octubre 2004, Barcelona.

FENTON, G.A.; KENNEDY, M.J. 1998. «Rapid dry weight determination of kiwifruit pomace and apple pomace using an infrared drying technique». *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 26: 35-38.

FERNÁNDEZ, M. 2000. *Mineralización del nitrógeno de residuos orgánicos con diferentes grados de madurez.* Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

FERNÁNDEZ, M.; SOLIVA, M. 2001. *Mineralització de residus orgànics d'origens i estabilització diferents*. Informe final conveni Junta de Residus - Barcelona: ESAB-UPC.

FERNÁNDEZ, M.; GARCIA, A. 2003. *Informe proyecto I+D. Estudio de balances de masas en las plantas de compostaje*. CESP, GR.

FERNANDEZ, M.; SOLIVA, M.; MARTÍNEZ, F.X.; LÓPEZ, M. 2008. «Interés y necesidad de la caracterización de residuos orgánicos utilizando métodos químicos y biológicos». *Residuos* 108: 30-36.

FRATTICCIOLI, E.; DIONIGI, M.; VALENTINI, F.; SORRENTINO, R. 2004. *Radiofrequency Moisture Measurement System In Composting Processes*. ISWA World Congress 2004 Proc., 17-21 October 2004. Rome, Italy.

FREIRE, R. 2002. *Carbonatos y estabilidad de muestras de compost*. Pòster presentat a les VI Jornades de Substrats de la SECH, 20, 21 i 22 de novembre de 2002 a l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona.

FREIRE, R.; CONDES, L.; LÓPEZ, M.; SOLIVA, M. 2002. *Contenido en carbonatos de muestras de compost y su posible relación con la calidad de compost*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 84 p.

GALE, P.M.; PHILLIPS, J.M.; MAY, M.L.; WOLF, D.C. 1991. «Effect of drying on the plant nutrient content of hen manure». *J. Prod. Agric.* 4: 246-250.

GALLARDO, J.F. 1975. «Nota sobre la determinación del carbono orgánico en suelos». *Anales Edafología y Agrobiología* 34: 3-4.

GARAU, M.A.; FELIPÓ, M.T.; RUIZ DE VILLA, M.C. 1986. «Nitrogen mineralization of sewage sludges in soils». *J. Environ. Qual.* 15(3): 225-228.

GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; COSTA, F. 1991. «Study on water extract of biosolids compost». *Soil Sc. Plant. Nutr.*, 37: 68-78.

GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T.; COSTA, F.; AYUSO, M. 1991. «Compostaje de la fracción orgánica de un residuo sólido urbano. Evolución de su contenido en diversas fracciones de metales pesados». *Suelo y Planta* 1: 1-13.

GEA, T.; BARRENA, R.; ARTOLA, A.; SÁNCHEZ, A. 2004. «Monitoring the Biological Activity of the Composting Process: Oxygen Uptake Rate (OUR), Respirometric Index (RI), and Respiratory Quotient (RQ)». *Biotechnology and Bioengineering* 88(4): 520-527.

GEA, V.; LÓPEZ, M.; HUERTA, O.; SOLIVA, M. 2006. *Caracterització del compost a l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona: paràmetres de procés i paràmetres agronòmics*. III Jornada de Doctorat del Departament de Biotecnologia Agroalimentària i Sostenibilitat. UPC.

Generalitat de Catalunya. Llei 6/1993, de 15 de juliol, reguladora de residus. DOGC 1776, 28/7/1993. p. 5249-5261.

Generalitat de Catalunya. Resolució de 17 de maig de 2002 per la qual s'estableixen els criteris mediambientals per a l'otorgament del distintiu de garantia de qualitat ambiental als productes de material compostable. DOGC 3651, 06/06/02. Departament de Medi Ambient.

GIL, E.; BERNAT, C. 2005. *Distribución de fertilizantes orgánicos. Necesidad de incrementar la calidad de las aplicaciones*. Informe final conveni ESAB - Ministeri d'Agricultura.

GIOVANNOZZI-SERMANNI, C. 1986. «Lignin Metabolism in the Soil Amended with Compost». A: *Compost: Production, Quality, and Use: Proc. Symp. Udine*. p. 190-197.

GIRÓ, F. 1987. *Estudi d'alguns mètodes de determinació de fòsfor assimilable en diversos composts utilitzables com a substrats*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 282 p.

GIRÓ, F.; ARBIOL, M.; BENITO, P.; MOLINA, N.; SOLIVA, M. 1994. *Estudi de viabilitat del compostatge de residus municipals utilitzant tecnologia de túnel*. Informe treball conjunt Junta de Residus, Jarfels, SA i Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. 40 p.

GODDEN, B.; PENNINGCKX, M.J. 1986. «On the use of Biological and Chemical Indexes for determining agricultural compost maturity: Extension to the field scale». *Agricultural Wastes* 15: 169-178.

GOLDSTEIN, N. 2008. «Process Control». *BioCycle*, 49(8): 41-44.

GOLUEKE, C.G. 1976. *Composting. A Study of the Process and its Principles*. Rodale Press. 110 p.

GOTAAS, H.B. 1956. *Composting sanitary disposal and reclamation of organic wastes*. Organització Mundial de la Salut.

GRÀCIA, J.X.; BRU, J.; SAÑA, J. 1985. «Un índex de maduresa o estabilitat de la matèria orgànica dels adobs». *Quaderns Agraris-ICEA*, 6: 79-86.

Guide to Solvita® Testing for Compost Maturity Index. Woods End Research Laboratory, Inc.

HAN J.; KO, H.J.; KIM, K.Y.; KIM, H.T.; KIM, CH.N.; UMEDA, M. 2008. «Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure». *Waste Manage.* 28: 813-820.

HARADA, Y.; INOKO, A. 1980a. «The measurement of the cation-exchange capacity of compost for the estimation of the degree of maturity». *Soil Sci. Plant Nutr.* 26: 127-134.

HARADA, Y.; INOKO, A. 1980b. «Relationship between cation-exchange capacity and degree of maturity of city refuse composts». *Soil Sci. Plant Nutr.* 26: 353-362.

HARADA, Y.; INOKO, A.; TADAKI, M.; LZAWA, T. 1981. «Maturing process of city refuse compost during piling». *Soil Sci. Plant Nutr.* 27: 357-364.

HARTLIEBA, N.; MARSCHNER, B.; KLEINA, W. 2001. «Transformation of dissolved organic matter DOM and ¹⁴C-labelled organic contaminants during composting of municipal biowaste». *Science Total Environ.* 278: 1-10.

HAUG, R.T. 1993. *The practical handbook of compost engineering*. EUA: Lewis Publishers.

HE, P.J.; LÜ, F.; SHAO, L.M.; LEE, D.J. 2006. «Oxygen limitation in static respiration activity index test». *J. Chem Technol. Biotechnol.* 81: 1177-1184.

HIGGINS, A.J.; KAPOVSKY, A.J.; HUNTES, J.V. 1982. «Organic composition of aerobic, anaerobic and compost stabilized sludges». *J. Water Poll. Control. Fed.* 54(5): 466-473.

HOEKSMAN, P.; HENDRIKS, M.M.W.B. 2002. «Sampling of animal manure in the dutch mineral accounting system». Actes de la 10a International Conference of the Ramiran Network. ISBN 80-88985-68-4. 6 p.

HOEKSTRA, N.J.; BOSKER, T.; LANTINGA, E.A. 2002. «Effects of cattle dung from farms with different feeding strategies on germination and initial root growth of cress (*Lepidium sativum* L.)». *Agr. Ecosyst. Environ.* 93: 189-196.

HOLLENDER, J.; ALTHOFF, K.; MUNDT, M.; DOTT, W. 2003. «Assessing the microbial activity of soil samples, its nutrient limitation and toxic effects of contaminants using a simple respiration test». *Chemosphere* 53: 269-275.

HORWITZ, W. 1988. «Sampling and preparation of sample for chemical examination». *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 71(2): 241-245.

HOTSMA, P.H.; BREUER, J.; EVANS, T. 2003. «Sampling protocols for ensuring legal compliance and standardisation; the case of The Netherlands». A: Langenkamp, H.; Marmo, L. (eds). *Biological Treatment of Biodegradable Wastes. Technical Aspects*. p. 71-100.

HSEU, Z.Y.; CHEN, Z.S.; TSAI, C.C.; TSUI, C.C.; CHENG, S.F.; LIU, C.L.; LIN, H.T. 2002. «Digestion methods for total heavy metals in sediments and soils». *Water Air Soil Pollut.* 141: 189-205.

HSEU, Z.Y. 2004. «Evaluating heavy metals contents in nine composts using four digestion methods». *Bioresource Technol.* 95: 53-59.

HUE, N. V.; LIU, J. (1995). «Predicting compost stability». *Compost Sci. Util.* 3: 8-15.

HUERTA, O.; LÓPEZ, M.; SOLIVA, M. 2003. «Base de Dades de Compost». Workshop Internacional de l'ECN amb l'exposició «El Futur de la Recollida Selectiva dels Residus Orgànics a Europa». European Compost Network. 15 i 16 de desembre, Barcelona.

HUERTA, O. 2005. *Origen, flux i dinàmica dels metalls pesants en el compostatge de residus urbans*. Projecte de tesi. ESAB-DEAB-UPC.

HUERTA, O.; LÓPEZ, M.; PIJOAN, J.; CÀCERES, A.; ALCOLEA, M.; GARCÍA, A.; SOLIVA, M. 2005. *Valoración agronómica de composts de distintas procedencias*. II Congreso sobre residuos biodegradables y compost. Instituto para la Sostenibilidad de los Residuos. Sevilla, 20-21 d'octubre de 2005.

HUERTA, O.; LÓPEZ, M.; SOLIVA, M. 2006a. *Caracterización y diagnosis de muestras de diferentes tipos de materiales procedentes de plantas de compostaje de la empresa CESPÀ-FERROVIAL*. Proyecto Bioauditorías.

HUERTA, O.; LÓPEZ, M.; SOLIVA, M. 2006b. *Informe final del Proyecto de caracterización y tipificación de la calidad del compost producido en España*. ESAB-IGME-MIMAM.

HUERTA, O.; LÓPEZ, M.; SOLIVA, M. 2006c. «Caracterización del compost producido en España. Parte 2». *Vida Rural* 233: 43-45.

HUERTA, O.; LOPEZ, M.; GALLART, M. 2007. *Efecte del pretractament de la mostra so-*

bre el contingut final de metalls pesants en el compost. IV Jornada de Doctorat del Departament de Biotecnologia Agroalimentària i Sostenibilitat. UPC.

HUERTA, O.; LÓPEZ, M.; MOLINA, N.; SOLIVA, M.; MARTÍNEZ, X. 2008a. «Planta de co-compostaje de la fracción orgánica de RSU y restos vegetales». *Residuos* 102: 36-46.

HUERTA, O.; MARTÍNEZ, F.X.; SOLIVA, M.; LÓPEZ, M. 2008b. «Aplicación de compost en agricultura». Manual presentado como parte del informe final del proyecto *Evaluación y mejora de las tecnologías de tratamiento de residuos municipales en Catalunya*. Exp. A291/2007/1-02.03.

HUERTA, O.; LÓPEZ, M. 2009. *Guia de l'usuari. El compostatge casolà*. Diputació de Barcelona, 27 p.

HUERTA, O. 2010. Dinàmica dels metalls pesants i dels nutrients minerals en el compostatge de residus sòlids municipals. Tesi Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya.

HUERTA-PUJOL, O.; SOLIVA, M.; GIRÓ, F.; LÓPEZ, M. 2010a. «Heavy metal content in rubbish bags used for separate collection of biowaste». *Waste Management*, 30 (8-9): 1450-1456.

HUERTA-PUJOL, O.; SOLIVA, M.; MARTÍNEZ-FARRÉ, F.X.; VALERO, J.; LÓPEZ, M. 2010b. «Bulk density determination as a simple and complementary tool in composting process control». *Bioresource Technology*, 101(3): 995-1001.

HUERTA, O.; LÓPEZ, M.; SOLIVA, M.; ZALOÑA, M. 2010c. *Compostatge de residus municipals: Control del procés, rendiment i qualitat del producte*. Barcelona: Agència de Residus de Catalunya. 328 p. Disponible a: <<http://hdl.handle.net/2117/9087>> (versió catalana) i <<http://hdl.handle.net/2117/9086>> (versió castellana).

HUSSAIN, M.A.; HUQ, M.E.; RAHMAN, S.M.; AHMED, Z. 2002. «Estimation of lignin in jute by titration method». *Pakistan Journal of Biological Sciences* 5(5): 521-522.

IANNOTTI, D.; TOTH, B.L.; HOITINK, H.A. 1992. «Compost stability». *BioCycle*, novembre: 62-66.

IANNOTTI, D.A.; PANG, T.; TOTH, B.L.; ELWELL, D.L.; KEENER, H.M.; HOITINK, H.A.J. 1993. «A Quantitative Respirometric Method for Monitoring Compost Stability». *Compost Sci. Util.* 1: 52-65.

IANNOTTI, D.A.; GREBUS, M.E.; TOTH, B.L.; MADDEN, L.V.; HOITINK, H.A.J. 1994. «Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste». *J. Environ. Qual.* 23: 1177-1183.

IGLESIAS, E.; PÉREZ, V. 1992. «Determination of maturity indices for city refuse composts». *Agr. Ecosyst. Environ.* 38: 331-343.

IGLESIAS, E.; PÉREZ, V. 1992. «Relationships between organic carbon and total organic matter in municipal solid wastes and city refuse composts». *Bioresource Technol.* 41: 265-272.

INBAR, Y.; CHEN, Y.; HADAR, Y.; HOITINK, H.A.J. 1990. «New approaches to compost maturity». *BioCycle* 31(12): 64-69.

Informes dels convenis entre l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona i el Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona entre els anys 1987 i 2005.

INHAT, M.; FERNANDES, L. 1996. «Trace element characterization of composted poultry manure». *Bioresource Technol.* 57: 143-156.

INOKO, A.; MIYAMATSU, K.; SUGAHARA, K.; HARADA, Y. 1979. «Some organic constituents of city refuse compost produced in Japan». *Soil Sci. Plant Nutri.* 25(2): 225-234.

IOWA STATE UNIVERSITY. University extension. 2003. *How to Sample Manure for Nutrient Analysis*. PM 1558.

JACAS, J.A. 1985. *Intent de qualificació de diferents tipus d'adob orgànic basat en la determinació de la capacitat de bescanvi cationic i les característiques de l'extracte aquós*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

JACAS, J.; MARZÀ, J.; FLORENSA, P.; SOLIVA, M. 1986. «Cation exchange capacity variation during the composting of different materials». A: de Bertoldi, M.; Ferranti, M.P.; l'Hermite, P.; Zucconi, F. (eds). «Compost: production, quality and use». *Elsevier Applied Science*. p. 297-309.

JACAS, J.; SOLIVA, M. 1986. «Recull de diferents paràmetres emprats en la qualificació del compost». *Arxius de l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona*. 4a sèrie, 9: 25-29.

JENKINSON, D.S.; POWLSON, D.S. 1976. «The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. A method for measuring soil biomass». *Soil Biol. Biochem.* 8: 203-208.

- JORDÀ, C. 1982. *Estudi de les característiques agronòmiques dels composts d'escombraries fabricats a Catalunya*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.
- JOURAIPHYA, A.; AMIRB, S.; EL GHAROUSA, M.; REVELC, J.C.; HAFIDIB, M. 2005. «Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of sewage sludge and green plant waste». *Int. Biodeter. Biodegr.* 56: 101-108.
- KEELING, A.A.; PATON, I.K.; MULLETT, J.A.J. 1994. «Germination and growth of plants in media containing unstable refuse-derived compost». *Soil Biol. Biochem.* 26: 767-772.
- KEENER, H.M, WICKS, M.H, SKORA, J.A. 2008. «Measurement of volumes at Ohio class IV composting facilities». *BioCycle* 49(6): 38-40.
- KEENER, H.M, WICKS, M.H.; SKORA, J.A. 2008. «Measuring material volumes at composting sites». *BioCycle* 49(7): 42-45.
- KIRCHMANN, H.; LUNDWALL, A. 1991. «Relationship between nitrogen immobilization and volatile fatty acids in soil after application of pig and cattle slurry». *Biol. Fertil. Soils*, 15: 161-164.
- KIRCHMANN, H.; WIDEN, P. 1994. «Fatty acid formation during composting of separately collected organic household waste». *Compost Sci.Util.* 2: 17-19.
- KLASON, P. 1908. «Ber. Hauptversammlung des Vereins der Zellstoff-und Papierchemiker». Núm. 53. A: Hussain, M.A.; Huq, M.E.; Rahman, S.M.; Ahmed, Z. 2002. «Estimation of lignin in jute by titration method». *Pakistan Journal of Biological Sciences* 5(5): 521-522.
- KLASON, P. 1908. «Chemical Composition of deal (Fir wood)». *Ark. Kemi. Mineral. Geol.* 3: 1-10». A: Hussain, M.A.; Huq, M.E.; Rahman, S.M.; Ahmed, Z. 2002. «Estimation of lignin in jute by titration method». *Pakistan Journal of Biological Sciences* 5(5): 521-522.
- KLASON, P. 1910. «Determining of lignin in sulphite wood pulp». *Papierfabr.* 8: 1285-1286. A: Hussain, M.A.; Huq, M.E.; Rahman, S.M.; Ahmed, Z. 2002. «Estimation of lignin in jute by titration method». *Pakistan Journal of Biological Sciences* 5(5): 521-522.
- LA COUR JANSEN, J.; SPLIID, H.; LUND HANSEN, T.; SVÄRD, A.; CHRISTENSEN, T.H. 2004. «Assessment of sampling and chemical analysis of source-separated organic household waste». *Waste Manage.* 24: 541-549.

LAGA. 1985. LAGA-Merkblatt M10. Qualitätskriterien und Anwendungsempfehlungen für Kompost. 59 p.

LAMBKIN, D.C.; EVANS, T.D.; NORTCLIFF, S.; WHITE, T.C. 2004. *Horizontal WP2: Towards producing harmonised methods, with quantified precision, for sampling sludges, treated biowastes and soils in the landscape*. 143 p.

LASASIDI, K.E.; STENTIFORD, E.I. 1998. «A Simple Respirometric Technique for Assessing Compost Stability». *Water Res.* 32(12): 3717-3723.

LECHNER, P.; ERWIN, B. 1995. *Experimental determination of "Odour potential" during biogenic waste composting*. ISWA.

LEVI-MINZI, R.; SARTORI, F.; RIFFALDI, R. 1980. «Characterisation de la fraction organique et de la fraction cristalline des boues d'épuration. Characterization, treatment and use of sewage sludge». Actes del 2n Europe Symposium. Viena. p. 291-298.

LEVI-MINZI, R.; SAVIOZZI, A.; RIFFALDI, R. 1994. «Organic acids as seed germination inhibitors». *J. Environ. Sci. Health Part A*, 29: 2203-2217.

LOPERA, J.A. 1998. *Aplicación de lodo de depuradora, compost de RSU y estiércol de vacuno en un cultivo de maíz: efectos sobre metales pesados*. Proyecto final de carrera. Lleida: ETSEA.

LÓPEZ, M. 2002. *Continguts en metalls pesants dels fangs de depuradora: raons per a establir límits en els continguts i en les dosis d'aplicació*. Informe. AGBAR-ESAB.

LÓPEZ, M.; HUERTA, O.; VALERO, J.; SOLIVA, M. 2004. «Raw organic materials origin and compost heavy metal contents». A: Bernal, M.P.; Moral, R.; Clemente, R.; Paredes, C. (eds.). «Sustainable Organic Waste Management for Environmental Protection and Food Safety». *Actes de la 11a International Conference of the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN)*. Múrcia, Espanya. Vol. II. p. 113-114.

LÓPEZ, M. 2005. *Estabilitat i maduresa del compost de residus urbans: determinació, interpretació i aplicabilitat*. Proyecto de tesi. ESAB-DEAB-UPC. 50 p.

LÓPEZ, M.; HUERTA, O.; ALMANSA, M.; SOLIVA, M.; MARTÍNEZ, F.X. 2009a. «Empresa, investigación y docencia: como aprovechar las sinergias en un caso concreto». A: López, M.; Huerta, O.; Martínez, F.X. (eds). *Proceso y destino del compost, formación, información e interrelaciones entre los agentes del sector*. p. 429-432.

LÓPEZ, M.; LÓPEZ, S.; SOLIVA, M.; VALERO, J.; FERNÁNDEZ, M. 2009b. «Determinación de la estabilidad de residuos orgánicos. Pruebas respirométricas utilizando un soporte inerte». *Residuos* 109: 32-37.

LÓPEZ, M.; SOLIVA, M.; MARTÍNEZ-FARRÉ, F.X.; FERNÁNDEZ, M. HUERTA-PUJOL, O. 2010a. «Evaluation of MSW organic fraction for composting: Separate collection or mechanical sorting». *Resources, Conservation and Recycling*, 54(4): 222-228.

LÓPEZ, M.; SOLIVA, M.; MARTÍNEZ-FARRÉ, F.X.; BONMATÍ, A.; HUERTA-PUJOL, O. 2010b. «An assessment of the characteristics of yard trimmings and recirculated yard trimmings used in biowaste composting». *Bioresource Technology*, 101(4): 1399-1405.

LÓPEZ, M. 2010. Determinació i avaluació de l'estabilitat i maduresa de materials orgànics i del compost. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya.

LÓPEZ, M.; HUERTA-PUJOL, O.; MARTÍNEZ-FARRÉ, F.X.; SOLIVA, M. 2010c «Approaching compost stability from Klason lignin modified method: Chemical stability degree for OM and N quality assessment». *Resources, Conservation and Recycling*, In Press, Corrected Proof, DOI: 10.1016/j.resconrec.2010.09.005

LÓPEZ, S. 2001. *Comportament de materials orgànics de diferents orígens en incubacions de curta durada*. Treball final de carrera. Barcelona: AGBAR-ESAB. 236 p.

LORENZO, L. 1998. *Generación de lixiviados en una planta de compostaje de fracción orgánica procedente de recogida selectiva*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

MAGETTE, W.L. 2002. *Controlling losses of pollutants to water and air. Are we helping the farmer enough?*. 9th Workshop of the network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture. (RAMIRAN). 14-18 de maig de 2002. Eslovàquia.

MANCHESTER, S.; BARDOS, P. 2004. «Fire hazards from self-heating at composting and waste processing sites». *Wastes Management*. Juny 2004. p. 20-22. <<http://www.r3environmental.co.uk>> [Consulta: 23/04/2009].

MANIOS, V.I.; TSIKALAS, P.E.; SIMINIS, H.I.; VERDONCK, O. 1989. «Phytotoxicity of olive tree leaf compost, in relation to the organic acid concentration». *Biol. Waste*. 27: 307-317.

MANZANO, S. 1993. *Estudi sobre la qualitat del compost produït en dues plantes de Catalunya amb pre-descomposició accelerada en biodigestor*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

MARÍN, M.; MARTÍNEZ, M.J. 1998. *Estudi del contingut en metalls pesants totals i assimilables en compost de residus sòlids urbans*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 252 p.

MARTENS, R. 1995. «Current methods for measuring microbial biomass C in soil: potentials and limitations». *Biol. Fert. Soils* 19: 87-99.

MARTÍ, S. 2007. *Origen dels carbonats en mostres de compost de residus municipals*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

MARTÍNEZ, J. 1998. *Proves biològiques: respirometria i creixement per a la determinació de la qualitat del compost*. Projecte final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 50 p.

MARTORELL, C.; MUNS, G. 1995. *Efecte de l'aplicació de residus urbans i de fems, en un conreu d'ordi de primavera*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

MAS, J.; MORAGREGA, J. 1991. *Quantificació del fenomen de bescanvi catiònic en substrats. Comparació dels mètodes harada-Inoko i USDA per a la determinació de la CBC*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 160 p.

MATHUR, S.P.; DINEL, H.; OWEN, G.; SCHNITZER, M.; DUGAN, J. 1993. «Determination of compost biomaturity. II. Optical density of water extracts of composts as a reflection of their maturity». *Biological Agriculture and Horticulture* 10: 87-108.

McENTEE, K. 2005. «Changes proposed to make stability test more reliable». *Composting News* 13 (11) (gener 2008).

McENTEE, K. 2005. «Maturity tests give conflicting results». *Composting News* 14(4) (juny 2008).

MERCKOQUANT. *Test Nitratos (1.10020.0001 - 1.10020.0002)*. Prospecte.

MICHEL, F.C.; KEENER, H.M.; RIGOT, J.; WILKINSON, T.; PECCHIA, J. *Effects of straw, sawdust and sand bedding on dairy manure composting*. Department of Food, Agricultural, and Biological Engineering, Ohio Agricultural Research and Development Center, Ohio State University. Wooster. Ohio. <http://www.cals.ncsu.edu/waste_mgt/natlcenter/sanantonio/Michel.pdf> [Consulta: 15/04/2009].

MILES, R.A.; DOUCETTE, W.J. 2001. «Assessing the aerobic biodegradability of 14 hydrocarbons in two soils using a simple microcosm/respiration method». *Chemosphere* 45: 1085-1090.

MIMAM-ESAB-ARC. 2007. *Evaluación y mejora de las tecnologías de tratamiento biológico de residuos municipales en Catalunya*. Informe del projecte. Exp. A291/2007/1-02.03.

Ministère de l'Agriculture de Belgique. 1971. *Convention pour l'analyses des engrais et des amendements du sol*. Div. B. Ad. Services Economiques d'Inspection de matières Premières. Part II. p. 202-203.

Ministeri d'Agricultura, Pesca i Alimentació. 1994. *Métodos oficiales de análisis*. Tomo III. Madrid: Secretaria General d'Alimentació, Direcció General de Política Alimentària (MAPA).

MIRÓ, E. 2001. *Estabilitat del compost de RSU: influència en la mineralització del nitrogen orgànic*. Projecte final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 152 p.

MOHEE, R.; MUDHOO, A. 2005. «Analysis of the physical properties of an in-vessel composting matrix». *Powder Technol.* 155: 92-99.

MOLINA, N.; ALMANSA, M.; SOLIVA, M. 1996. *Informe final Conveni gremi de curtidors d'Igualada*. ESAB.

MOLINA, N. 1997. *Control de la calidad del compost producido en la planta de Torrellas de Llobregat*. Informe final Conveni ESAB - Junta de Residus.

MONTSERRAT, G. 2000. *Efectes de l'aportació de residus als sòl sobre la mineralització del carboni i del nitrogen*. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona. 358 p.

MORAGAS, R. 1987. *Estudi de cinètiques de mineralització de fangs de depuradora al sòl, segons el sistema de tractament de la depuradora*. Projecte final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 84 p.

MORAL, R.; PEDRENO, J.N.; GOMEZ, I.; MATAIX, J. 1996. «Quantitative analysis of organic wastes: effects of sample preparation in the determination of metals». *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 27: 753-761.

MORÉ, J.C. 1983. *Control analític de la qualitat del compost i estudi de la seva maduració*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 75 p.

MORÉ, J.C.; SAÑA, J.; COHÍ, A. 1987a. «Control analític de la qualitat del compost i

estudi de la seva maduració». A: *Experiències amb el compost*. Estudis i monografies, 12. p. 33-92.

MORÉ, J.C.; SAÑA, J. 1987b. «Criteria of quality of city refuse compost base don the stability of its organic fraction». A: de Bertoldi, M.; Ferranti, M.P.; L'Hermite, P.; Zucconi, F. (eds). «Compost: Production, Quality and Use». *Elsevier Applied Science*. Londres. p. 309-320.

MOREL, J.L. 1977. *Contribution a l'étude de l'évolution des Bones Residuairees dans le sol*. Tesi doctoral. Universitat de Nancy.

MOREL, J.L.; JACQUIN, F.; GUCKERT, A. 1979. *Test de la deteminatio de la maturité de compost urbaine*. Informe de fi de contracte. Convenció. 75124-77137.

MOREL, J.L.; COLIN, F.; GERMON, J.C.; GODIN, P.; JUSTE, C. 1983. *Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost. Composting of agricultural and other wastes*. Elsevier Publ. Eds.

MOREL, J.L.; GUKERT.; A.; NICOLARDOT, B.; BENISTANT, D.; CATROUX, G.; GERMON, J.C. 1986. «Étude de l'évolution des caractéristiques physicochimiques et de la stabilité biologique des ordures ménagères au cours du compostage». *Agronomie* 6(8): 693-701.

National Renewable Energy Laboratory (NREL). *TAPPI Test Method T222 om-88. 2002. Acid-Insoluble Lignin in Wood and Pulp*. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. 13 p.

NAVARRO, M. 1989. *Estudi del procés de mineralització en el sòl del compost de deixalles*. Projecte final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 146 p.

NAVARRO, M.; PUJOLÀ, M.; SOLIVA, M.; GARAU, M.A. 1989. «Nitrogen mineralization study in compost». *Acta Horticulturae* 302.

NELSON, D.W; SOMMERS, L.E. 1975. «A rapid and accurate procedure for estimation of organic carbon in soil». *Proc. Indiana Acad. Science* 84: 465-462.

NICOLARDOT, B.; CHAUSSOD, R.; MOREL, J.L.; CUCKERT, A.; BENISTANT, D.; CATROUX, G.; GERMON, J.C. 1986. «Appréciation simple de la maturité des composts urbains en relation avec leurs effects sur la production végétale». *Agronomie*, 6(9): 819-827.

NICOLARDOT, B. 1988. «Évolution du niveau de biomasse microbienne du sol au curs d'une incubation de longue durée: relations avec la mineralisation du carbone et de l'azote organique». *Rev. Écol. Biol. Sol*, 25(3): 287-304.

NOMDEDEU, C. 1990. *La capacitat de bescanvi catiònic com a indicador de la maduresa per a un compost de RSU*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 81 p.

OLTRA, B. 2006. *Aprofundiment en la interpretació del test d'autoescalfament aplicat a mostres de compost*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 80 p.

ORCA. 1994. *Guidelines for the evaluation of feedstock for source separated bio-waste composting and biogasification*. 42 p.

OZORES-HAMPTON, M.; OBREZA, T.A.; STOFFELLA, P.J.; FITZPATRICK, G. 2002. «Immature compost suppresses weed growth under greenhouse conditions». *Compost Sci. Util.* 10(2): 105-113.

PARÉ, T.; GREGORICH, E.G.; DINEL, H. 1997. «Effects of stockpiled and composted manures on germination and initial growth of cress (*Lepidium sativum*)». *Biol. Agric. Horticulture* 17: 3-11.

PAULET, S. 1999. *Composició de l'ordi i de la colza segons tipus d'adobament (mineral i/o orgànic)*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

PÉREZ, L.C.; MANZANO, S.; SOLIVA, M.; 1995. «Estudio de las variaciones de temperatura y de nivel de oxígeno durante el compostaje de residuos sólidos urbanos». *Riegos y Drenajes XXI*(81): 26-32.

PÉREZ, S.; SANZ, N. 2004. *Aplicació continuada de compost de residus sòlids urbans en un cultiu farratger: influència en la composició*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 177 p.

Phytotoxicity Tests for Soil Amendments. I - Plant Biomass Tests <<http://www.wo-odsensend.org/aaa/phytox.html>>.

PLANA, R. 2008. *El compostaje de residuos orgánicos: investigación del proceso a escala industrial y desarrollo de equipos experimentales para la determinación del sistema de tratamiento y el protocolo de trabajo preciso para un desarrollo eficiente del proceso biológico*. Tesis doctoral. Universidad de Vigo. 373 p.

PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M. Y RODRÍGUEZ, R. 1986. *Técnicas y experimentos en edafología*. Col·legi Oficial d'Enginyers Agrònoms de Catalunya. 282 p.

PUNTSJARVI, V.; ROBERTSON, R.D. 1975 «Peat in horticulture». *Academic Press*. p. 27-29.

RANNEKLEV, S.B.; BAATH, E. 2003. «Use of phospholipid fatty acids to detect previous self-heating events in stored peat». *Appl. Environ. Microb.* 69: 3532-3539.

RASNAKE, M.; OVERHULTS, D.; CASE, V. 2008. *Livestock waste sampling and testing*. Cooperative Extensions Service. College of Agriculture. Kentucky University.

RD 824/2005, sobre productes fertilitzants. Ministeri de la Presidència.

RECHIGL, J.E. 1992. «Comparison of various soil drying techniques on extractable nutrients». *Commun. Soil. Sci. Plan.*, 23: 17-20.

REDONDO, J. 1991. *La capacitat d'intercanvi catiònic com a indicador de la maduresa d'un compost*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 85 p.

RIBALTA, R.; MORÉ, J.C.; SAÑA, J. 1987. «The priming effect and the respiratory rate/compost dose ratio as compost ripeness index». A: de Bertoldi, M.; Ferranti, M.P.; L'Hermite, P.; Zucconi, F. (eds). «Compost: Production, Quality and Use». *Elsevier Applied Science*. Londres. p. 321-328.

RIVA, A. de la. 1980. *Comparación de técnicas analíticas de determinación del grado de humificación en un fango de depuración usado como abono*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

RODRÍGUEZ, J.; REBOLLO, X. 2002. *Estudi sobre la composició i producció de farratge a diferents dosis d'adobats orgànics i/o minerals*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 118 p.

ROIG, A.; LAX, A.; CEGARRA, J.; COSTA, F.; HERMINDEZ, M.T. 1988. «Cation exchange capacity as a parameter for measuring the humification degree of manures». *Soil Sci.*, 146: 311-316.

ROMERA, A. 1988. *Estudio del extracto acuoso de muestras de compost*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

ROMERA, F.J. 1991. *Determinació del contingut en fòsfor assimilable de mostres de compost de deixalles*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 118 p.

ROSA, J.A. de la. 1999. *Estudio de las características ácido-base y de la composición del extracto acuoso de muestras de compost de fracción orgánica de RSU*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 125 p.

ROSA, J.A. de la; CENTELLES, E.; ECHEVARRIA, S.; PAULET, S.; SOLIVA, M. 2000. *Utilització de l'extracte aquós de mostres de sòls i de compost per caracteritzar-los*. IV Congrés de la ICEA. Tarragona, octubre 2000. 7 p.

ROVIRA, S. 1997. *Seguiment de la composició aniònica de l'extracte aquós d'un sòl adobat amb residus orgànics*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

RULL, J. 1997. *Influència de diferents residus orgànics sobre la producció i composició de les diferents fraccions de la planta de blat de moro*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

RYNK, R. 2000. «Fires at composting facilities: causes and conditions». *BioCycle* 41(1): 58-61.

SAID-PULLICINO, D.; GIGLIOTTI, G. 2007. «Oxidative biodegradation of dissolved organic matter during composting». *Chemosphere* 68: 1030-1040.

SAID-PULLICINO, D.; ERRIQUENS, F.G.; GIGLIOTTI, G. 2007. «Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity». *Bioresource Technol.* 98: 1822-1831.

SAKAI, K.; MURATA, Y.; YAMAZUMI, H.; TAU, Y.; MORI, M.; MORIGUCHI, M.; SHIRAI, Y. 2000. «Selective proliferation of lactic acid bacteria and accumulation of lactic acid during open fermentation of kitchen refuse with intermittent pH adjustment». *Food Sci. Technol. Res.* 6(2): 140-145.

SALVADÓ, A. 1995. *Determinació del contingut en àcids grassos volàtils de mostres de compost de RSU*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 110 p.

SAÑA, J. 1985. *La utilització dels fangs de depuradores d'aigües residuals urbanes com a adobs: caracterització de la seva fracció orgànica*. Tesi doctoral. Facultat de Farmàcia, Universitat de Barcelona. 396 p.

SAÑA, J.; SOLIVA, M. 1985. «Necessitat d'una caracterització dels adobs orgànics». *Quaderns Agraris de l'ICEA* 6: 7-22.

SAÑA, J.; SOLIVA, M. 1987. «El compostatge: procés, sistemes i aplicacions». Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. *Quaderns d'Ecologia Aplicada*, 11. 97 p.

SAÑA, J.; F. GIRÓ, F.; SOLIVA, M.; FLORENSA, P. 1989. «Methodology used for evaluating the quality of compost produced in Catalonia». A: *Simposio internazionale produzione ed impiego del compost*, 20-23 juny 1989. S. Michele All'Adige, Itàlia. p. 343-362.

SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A.; ROIG, A.; CEGARRA, J.; BERNAL, M.P. 1999. «Relationships between water-soluble carbohydrate and phenol fractions and the humification indices of different organic wastes during composting». *Bioresour Technol.* 70: 193-201.

SANTAMARIA, N. 1993. *Estudi sobre el procés de mineralització del nitrogen d'un compost madur de residus sòlids en condicions de cultiu*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

SAVIOZZI, A.; RIFFALDI, R.; LEVI-MINZI, R. 1986. «Compost maturity by water extract analyses». A: de Bertoldi, M.; Ferranti, M.P.; L'Hermite, P.; Zucconi, F. (eds). «Compost: Production, quality and use». *Elsevier Applied Science*. p. 359-367.

SAVIOZZI, A.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALDI, R. 1988. «Maturity evaluation of organic waste». *BioCycle* 29: 54-56.

SAVIOZZI, A.; LEVI-MINZI, R.; BENETTI, A. 1992. «Evaluating garbage compost». *BioCycle* 33(2): 72-75.

SAVIOZZI, A.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALDI, R.; BENETTI, A. 1993. «Mineralization parameters from organic materials added to soil as a function of their chemical composition». *Bioresource Technol.* 45: 131-135.

SCAGLIA, B.; TAMBONE, F.; GENEVINI, P.L.; ADANI, F. 2000. «Respiration Index Determination: Dynamic and Static Approaches». *Compost Sci. Util.* 8(2): 90-98.

SCHUMACHER, B.A. 2002. *Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments*. United States Environmental Protection Agency Environmental Sciences Division National. NCEA-C- 1282 EMASC-001. 25 p.

SEEKINS, B. 1996. «Field test for compost maturity». *BioCycle* 37(8): 72-75.

SEKITO, T.; TANAKA, N.; MATSUTO, T. 2000. «Leachability and content of heavy metals in incombustible residues from resource recovery facilities». *Waste Manage. Res.* 18: 151-159.

SERRA, X. 1988. *Paràmetres químics que informen sobre la maduresa dels adobs orgànics*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.

SIERRA, J.; MARTÍ, E.; MONTSERRAT, G.; CRUAÑAS, R. GARAU, M.A.; 2001. «Characterization and evolution of a soil affected by olive oil mill wastewater disposal». *Sci. Total Environ.* 279: 207-214.

SMARS, S.; GUSTAFSSON, L.; BEEK-FRIIS, B.; JONSSON, H. 2002. «Improvement of the composting time for household waste during an initial low pH phase by mesophilic temperature control». *Bioresource Technol.* 84: 237-241.

SMIDT, E.; BINNER, E.; LECHNER, P. 2004. «Humic acid formation in composts — the role of microbial activity». A: Verstraete, W. (ed.). *Actes de l'European Symposium on Environmental Biotechnology (ESEB)*. Oostende, Bèlgica. p. 143-146.

SMIDT, E.; MEISLA, K.; SCHMUTZERC, M.; HINTERSTOISSER, B. 2008. «Co-composting of lignin to build up humic substances — Strategies in waste management to improve compost quality». *Ind. Crop. Prod.* 27: 196-201.

SMITH, A.; BROWN, K.; OGILVIE, S.; RUSHTON, K.; BATES, J. 2001. *Waste management options and climate change. Final report to the European Commission, DG Environment*. ISBN 92-894-1733-1. 224 p. <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/climate_change.pdf> [Consulta: octubre 2008].

SOLIVA, M.; BONILLA, M.J.; PUJOLÀ, M. 1985. «Influence of sampling in the control of the composting of sewage sludges and city refuse». *Acta Hort.* 172: 223-230.

SOLIVA, M. 1992. *La gestió municipal dels residus sòlids urbans. Vol. I: Control de la qualitat del compost*. Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. *Estudis i monografies*, 16.

SOLIVA, M.; GIRÓ, F.; VALERO, J.; CUCURULL, D.; LUMBRERAS, F.; BARBERÀ, R.; 1992. «Siete años de estudio de la calidad del compost en Catalunya: criterios para su valoración». *Actes del Congrés de l'ISWA*. Madrid. 35 p.

SOLIVA, M.; MANZANO, S.; GIRÓ, F. 1993. «Nitrogen loss during composting». *Compost Sci. Util.* 1(4): 23-26.

SOLIVA, M. 1994. *L'Agricultura com a productora i receptora de residus*. Arxius de l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona 5: 3-16.

SOLIVA, M. 1998. «Residus Orgànics per a l'Agricultura: un tema de recerca a l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona». *Arxius de l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona*, sèrie V(1): 29-54.

SOLIVA, M. 1999. *Efectos de la aplicación de residuos orgánicos en dos tipos de rotaciones (cultivos hortícolas y cultivos extensivos)*. Informe CICYT. Projecte AGF96-0966.

SOLIVA, M. 2001. «Compostatge i gestió de residus orgànics. Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona». *Estudis i Monografies*, 21.

SOLIVA, M.; LÓPEZ, M.; HUERTA, O.; VALERO, J.; FELIPÓ, M.T. 2004a. «Waste organic matter quality versus soil amendment effects». A: Bernal, M.P.; Moral, R.; Clemente, R.; Paredes, C. (eds). «Sustainable Organic Waste Management for Environmental Protection and Food Safety». *Actes de la 11a International Conference of the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture (RAMIRAN)*. Vol. I: p 201-204.

SOLIVA, M. 2004b. «Organic waste in Spain: a problem that should be a resource. Sustainable Organic Waste Management for Environmental Protection and Food Safety». *Proceedings of 11th International Conference of the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture. (RAMIRAN)*. Vol 1: 15-24.

SOLIVA, M.; BERNAT, C.; GIL, E.; MARTÍNEZ, X.; PUJOL, M.; SABATÉ, J.; VALERO, J. 2004c. «Organic waste management in education and research in agricultural engineering schools». *International Journal of Sustainability in Higher Education* 8(2): 224-233.

SOLIVA, M. 2006a. *Generació i gestió de residus orgànics: paper de l'agricultura com a generadora i receptora*. 1er Congrés sobre agricultura, alimentació i medi ambient. 2-3 febrer, ESAB-UPC, Campus de Castelldefels.

SOLIVA, M.; LÓPEZ, M.; HUERTA, O. 2006b. «Influencia de los materiales y la tipología de las plantas en la calidad del compost». A: Moral, R.; Boluda, R.; Abad, M.; Mormeneo, S. (eds). *Aspectos normativos, tecnológicos y mediambientales del compostaje*. Ponències convidades a la 2a Reunió Nacional de la Red Española de Compostaje (REC). València, 25-27 d'octubre. p. 109-121.

SOLIVA, M.; LÓPEZ, M.; HUERTA, O. 2008. *Pasado, presente y futuro del compost*. II International Conference on soil and compost eco-biology. SOIL-ACE, 2008. 20 p. Disponible a: <<http://hdl.handle.net/2117/9557>>.

SOMMER, S.G. 2001. «Effect of composting on nutrient loss and nitrogen availability of cattle deep litter». *Eur. J. Agron.* 14: 123-133.

STEEVENS, B.J.; BELYEA, R.; CRAWFORD, R. 1993. *Using a microwave oven to determine moisture in forages*. Department of Animal Sciences. University of Missouri - Columbia Extension Division. <<http://extension.missouri.edu/>> [Consulta: 23/04/2009].

STENTIFORD, E.I. 2003. «The Specific Oxygen Update Rate (SOUR)». A: Langenkamp, H.; Marmo, L. (eds). *Biological treatment of biodegradable waste. Technical aspects*. Brussel-les, Bèlgica. p. 145-155.

STOFFELLA, P.J.; KAHN, B.A. (eds.). 2001. *Compost Utilisation in Horticultural Cropping Systems*, Lewis Publishers, Boca Raton, FL. [Citat per Mohee i Mudhoo, 2005].

STOFFELLA, P.J.; LI, Y.; ROE, N.E.; OZORES-HAMPTON, M.; GRAETZ, D.A. 2009. *Utilization of composted organic wastes in vegetable production systems*. Food & Fertilizer Technology Center. <<http://www.agnet.org/library/tb/147/>> [Consulta: 2/04/2009].

SUGIMOTO, T.; HOSOYA, S.; OOSAWA, S.; TANAKA, A.; YAKUSHIDO, K. 2008. *Ozonated wood meal reduces ammonia odor during the composting process*. <<http://www.biomass-asia-workshop.jp/biomassws/03workshop/material/P10.pdf>> (04/02/2009).

SUNDBERG, C.; SMARS, S.; JONSSON, H. 2004. «Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting». *Bioresource Technol.* 95: 145-150.

TAPPI Test Method T222 om-88. 2002. *Acid-Insoluble Lignin in Wood and Pulp*. Technical Association of the pulp and paper industry. National Renewable Energy Laboratory (NREL). 13 p.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry. *Test Methods. The Association of Analytical Chemistry* 50: 50-55. Atlanta, GA.

TEMPLETON, D.; EHRMAN, T. 1995. *Determination of acid-insoluble lignin in biomass*. LAP-003. National Renewable Energy Laboratory (NREL). 14 p.

TERASHIMA, Y.; URABE, S, YOSHIKAWA, K. 1984. «Optimum sampling of municipal wastes». *Conserv. Recycling* 7(2-4): 295-308.

TERRY, R.E.; NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. 1979. «Carbon Cycling during sewage sludge decomposition in soils». *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 494-499.

TERRY, R.E.; NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. 1981. «Nitrogen transformations in sewage sludge amended soils as affected by soil environmental factors». *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 506-512.

- THOMSON, K.; BAKER, J.P.; BEKKER, R.M. 1997. *The Soil Seed Banks of North West Europe: Methodology, Density and Longevity*. Cambridge University Press, U.K.
- TOMATI, U.; GALLI, E.; PASETTI, L.; VOLTERRA, E. 1995. «Bioremediation of olive-mill wastewaters by composting». *Waste Manage. Res.* 13: 509-518.
- TOMPKINS, D.K.; CHAW, D.; ABIOLA, A.T. 1997. «Effect of windrow composting on weed seed germination and viability». *Compost Sci. Util.* 6(1): 30-34.
- TORRAS, M.C. 1996. *Comportament de diferents residus orgànics procedents d'indústries agroalimentàries: la mineralització de la matèria orgànica*. Projecte final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.
- TORRENTÓ, D. 1980. *Contingut en macronutrients fertilitzants dels fangs residuals de depuradores urbanes*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC.
- TREMIER, A.; DE GUARDIA, A.; MASSIANI, C.; PAUL, E.; MARTEL, J.L. 2005. «A respirometric method for characterising the organic composition and biodegradation kinetics and the temperature influence on the biodegradation kinetics, for a mixture of sludge and bulking agent to be co-composted». *Bioresource Technol.* 96: 169-180.
- TROMBETTA, A.; BELFIORE, G.; PICCONE, G.; NAPPI, P.; BARBERIS, R. 1992. *Metodi di Analisi dei Compost. Determinazioni chimiche, fisiche, biologiche e microbiologiche. Analisi merceologiche dei rifiuti*. Collana Ambiente. 170 p.
- TUOMELA, M.; VIKMAN, M.; HATAKKA, A.; ITAVAARA, M. 2000. «Biodegradation of lignin in a compost environment: a review». *Bioresour. Technol.* 72: 169-183.
- TURU, F. 2000. *Estudi sobre l'aplicació de compost a cultius farratgers a l'illa de Menorca*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 97 p.
- TYLER, M.; DIDDY, S.; GERMAIN, J.S.; LOMBARD, S.; NIGHTINGALE, D.; WESCOTT, H. 1994. *Interim guidelines for compost quality*. Publication 94-38, Solid Waste Services Program. Washington State Department Ecology. 74 p.
- TYSON, T.W.; MITCHELL, C.C. 1998. *Sampling animal waste for nutrient management*. Alabama Cooperative Extension System. ANR-1102.
- UE. 2004. «Heavy metals and organic compounds from wastes used as organic fertilisers. Final report - july 2004». Núm. ref.: tend/aml/2001/07/20. *Heavy metals and organic compounds from wastes used as organic fertilisers*. ENV.A.2./ETU/2001/0024. Juliol 2004.

US Composting Council. 2002. *Test methods for the examination of composting and compost (TMECC)*. Organic and Biological Properties.

VAN SOEST, P.J. 1963. «Use of detergents in the analysis of fibrous feeds a rapid method for the determination of cell-wall constituents». *Journal of the Association of Analytical Chemistry* 50: 50-55.

VIDAL, M. 1995. *Mineralització del Nitrogen orgànic dels fangs procedents de la depuració d'aigües residuals urbanes: efectes del tipus de sòl i del contingut en Cr del fang*. Projecte final de carrera. Lleida: ETSEA. 205 p.

VILLALBA, D. 1992. *Compostatge conjunt de residus vegetals i fangs de depuradora*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 110 p.

VIVES, R. 1991. *Diferències en les característiques del compost de RSU: Estudi de les causes*. Treball final de carrera. Barcelona: ESAB-UPC. 165 p.

VON POST, L. 1924. *Das Genetische System der Organogenen Bildungen Schwedens (Genetic Classification for the Organic Soils of Sweden)*. Comité International de Pédologie IV. Communication 22. p. 287-304. [En alemany].

WAGLAND, S.T.; TYRREL, S.F.; GODLEY, A.R.; SMITH, R. 2009. «Test methods to aid in the evaluation of the diversion of biodegradable municipal waste (BMW) from landfill». *Waste Manage.* 29: 1218-1226.

WALKLEY, A.; BLACK, I.A. 1934. «An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents». *Soil Sci.* 63: 251-263.

WALKLEY, A. 1947. «A critical examination of a rapid method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents». *Soil Sci.* 63: 251-263.

WANG, Q.; YAMABE, K.; NARITA, J.; MORISHITA, M.; OHSUMI, Y.; KUSANO, K.; SHIRAI, Y.; OGAWA, H.I. 2001. «Suppression of growth of putrefactive and food poisoning bacteria by lactic acid fermentation of kitchen waste». *Process Biochem.* 37: 351-357.

WEAST, R.C. 1974. *Handbook of chemistry and physics*. Cleveland, OH: CRC Press.

WEPPEN, P. 2001. «Process calorimetry on composting of municipal organic wastes». *Biomass Bioenerg.* 21: 289-299.

WEPPEN, P. 2002. «Determining compost maturity using Dewar vessels». *Compost Sci. Util.* 10: 6-15.

WIESE, A.F.; SWEETEN, J.M.; BEAN, B.W.; SALISBURY, C.D.; CHENAULT, E.W.; 1998. «High temperature composting of cattle feedlot manure kills weed seed». *App. Eng. Agric.* 14: 377-380. CSA.

WILEN, Ch. 1997. *Weed Seed Germination as Affected by the Composting Process. Workshop on Compost use for pest management in agriculture*. University of California. <<http://esce.ucr.edu/wasteman/1997/cmcher1.html>> [Consulta: 01/03/2009].

WILLSON, G.B; DALMAT, D. 1986. «Measuring composting stability». *BioCycle* 27(7).

WOOD, C.W.; Hall, B.M. 1991. «Impact of drying method on broiler litter analysis. Commun». *Soil Sci. Plan.* 22: 15-16.

Woods End Research Laboratory. *Principles and practice: compost sampling for lab analysis*. <<http://woodsend.org/pdf-files/sampli-1.pdf>>.

Wu, L.; MA, L.Q. 2001. «Effects of sample storage on biosolids compost stability and maturity evaluation». *J. Environ. Qual.* 30: 222-228.

YANG, H.H.; EFFLAND, M.J.; KIRK, T.K. 1980. «Factors influencing fungal degradation of lignin in a representative lignocellulosic, thermomechanical pulp». *Biotechnol. Bioeng.* 22(1): 65-77.

ZARCINAS, B.A.; CARTWRIGHT, B.; SPOUNCER, L.R. 1987. «Nitric acid digestion and multi-element analysis of plant material by inductively coupled plasma spectrometry. Commun». *Soil Sci. Plant Anal.* 18: 131-146.

ZMORA-NAHUMA, S.; MARKOVITCHA, O.; TARCHITZKYB, J.; CHENA, Y. 2005. «Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity». *Soil Biol. Biochem.* 37: 2109-2116.

ZUCCONI, F.; PERA, A.; FORTE, M.; DE BERTOLDI, M. 1981. «Evaluating toxicity of immature compost». *BioCycle*, 22(2): 54-57.

ZUCCONI, F.; DE BERTOLDI, M. 1987. «Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste». A: de Bertoldi, M.; Ferranti, M.P.; L'Hermite, P.; Zucconi, F. (eds). «Compost: Production, Quality and Use». *Elsevier Applied Science*. Londres. p. 30-50.

ZUCCONI, F.; DE BERTOLDI, M. 1987. Specifications for solid waste compost. *BioCycle* 28(5): 56-61.

Webs

<<http://www.microbiotests.be/>> [Consulta: gener 09].

<http://uk.vwr.com/app/Header?tmpl=/product_range/environmental_analysis/nitracheck.htm>

<<http://www.eijkelkamp.com/Portals/2/Eijkelkamp/Files/M1-1840e%20Nitracheck%20reflectometer.pdf>>

<<http://cwmi.css.cornell.edu/compostfs4.pdf>>

<<http://www.carolinascompostingcouncil.org/>> [Consulta: 23/04/2009].

<http://www.solvita.co.uk/downloads/solvita_man3.5.pdf> [Consulta: 23/04/2009].

<<http://www.ciwmb.ca.gov/publications/Organics/44207009.pdf>>

<http://www.valleyair.org/Workshops/postings/2008/07-15-08/R4566_Emission-FactorReport.pdf>

<<http://www.respirometryplus.com/9.html>>

<<http://photos.innersource.com/group/8567/Arthur-Automatic-Respirometer>>

<<http://monitoring.environmental-expert.com/resultEachArticle.aspx?cid=2398&odi=3655&idproducttype=6&level=0>>

<http://monitoring.environmental-expert.com/STSE_resulteach_product.aspx?cid=2398&idprofile=164&idproduct=3686>

<http://www.compost-info-guide.com/test_maturity.htm>


<<http://www.compostinfo.com/tutorial/MaturityTests.htm>>

Annexos

Annex 1. Models de recollida d'informació

MOSTRA 10- _ _ _	PLANTA _____ TIPUS MOSTRA _____ DATA _____																																																																
<input type="checkbox"/> Aspecte bo <input type="checkbox"/> Aspecte regular <input type="checkbox"/> Aspecte dolent <input type="checkbox"/> Aixeca pols <input type="checkbox"/> Forma agregats																																																																	
Coloració Extracte _____ Sòlid _____																																																																	
Humitat	Molt humit <input type="checkbox"/> Humit <input type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Sec <input type="checkbox"/> Molt sec <input type="checkbox"/>																																																																
En composició En tamany																																																																	
Molt homogeni Homogeni Heterogeni Molt heterogeni	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																																
Molt alta Alta Regular Baixa Molt baixa	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																																
Fibres vegetals Presència (aspecte fibrós)	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																																																																
Fibres vegetals Mida	Molt gran <input type="checkbox"/> Gran <input type="checkbox"/> Mixt <input type="checkbox"/> Petit <input type="checkbox"/> Molt petit <input type="checkbox"/>																																																																
<input type="checkbox"/> Inodor <input type="checkbox"/> Olor a terra de bosc <input type="checkbox"/> Olor a terra de bosc més amoníac Altres _____	Olor a amoníac <input type="checkbox"/> Suau <input type="checkbox"/> Intensa Olor a putrefacció <input type="checkbox"/> Suau <input type="checkbox"/> Intensa																																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">Absent</th> <th style="text-align: center;">+</th> <th style="text-align: center;">++</th> <th style="text-align: center;">+++</th> <th style="text-align: center;">Gran</th> <th style="text-align: center;">Petit</th> <th style="text-align: center;">Mixt</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Plàstics lleugers</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Plàstics durs</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Metalls</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Vidres</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Tèxtil</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Paper</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>_____</td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> </tr> </tbody> </table>		Absent	+	++	+++	Gran	Petit	Mixt	Plàstics lleugers	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Plàstics durs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Metalls	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vidres	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tèxtil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Paper	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	Absent	+	++	+++	Gran	Petit	Mixt																																																										
Plàstics lleugers	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																										
Plàstics durs	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																										
Metalls	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																										
Vidres	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																										
Tèxtil	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																										
Paper	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																										
_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																										
Observacions																																																																	

Pala gran							
Pala petita							
Bosses negres (grans) de plàstic							
Bosses blanques de plàstic							
Bosses petites							
Cordills - brides							
Pots per recollir aigua							
Pots per recollir lixivitas							
Xeringues							
Llapis marcador							
Registres i carpeta							
Bidó densitats							
Balança (15 Kg) densitats							
Càmera de fotos							
Bateries carregades							
Targes formatades							
Sondes de temperatura							
Lector temperatures							
Guants de protecció							
Guants de làtex							
Mascaretes							
Botes protecció							
Granota de treball							
Informe planta							

	HISTÒRIC DE LA MOSTRA	
	REG-002 Pag.1/2 Edició 3 Revisió 100308	Aprovat Redactat

Nom de planta	
Persona de contacte	
Tlf. contacte	
A/e	
Data	

Tipus de mostra	
Nre. de mostra	


MATERIALS I PROPORCIONS DE BARREJA (Volum)

TEMPERATURES

En descomposició	
En maduració	
En compost final	
Material mostra	

EDAT DE LA MOSTRA

En descomposició	
En maduració	

	HISTÒRIC DE LA MOSTRA		
	REG-002	Pag.2/2	Aprovat
	Edició	3	Redactat
	Revisió	100308	

PROCESSAT

DESCOMPOSICIÓ


Instal·lació	
Freqüència de volteig	
Freqüència de reg	
Tipus d'aigua reg	

MADURACIÓ

Instal·lació	
Freqüència de volteig	
Freqüència de reg	
Tipus d'aigua reg	


SELECCIÓ

<input type="checkbox"/>	Inici descomposició:
<input type="checkbox"/>	Final descomposició - Inici maduració:
<input type="checkbox"/>	Final maduració:
<input type="checkbox"/>	Afinat:

	ESTAT DE LA PLANTA		
REG-003	Pag.1/2	Aprovat	
Edició	3	Redactat	
Revisió	100308		


Nom de planta	
Persona de contacte	
Tlf. contacte	
A/e	
Població	
Data visita	

IMPRESIÓ INICIAL DE LA PLANTA	Alt	Mig	Baix
Facilitat per establir la data de visita	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Control d'entrada a planta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Atenció en la visita			
Guiada por:			
<input type="checkbox"/> Operari	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Encarregat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Responsable de gestió	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Facilitat per mostrar la planta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Facilitat per triar el material	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	ESTAT DE LA PLANTA		
REG-003	Pag.2/2	Aprovat	
Edició	3	Redactat	
Revisió	100308		

VALORACIÓ DE L'ESTAT DE PLANTA

	Alt	Mig	Baix
Ordre i neteja de la planta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lixiviats			
Nivell de les basses (alt: molt plenes; baix: buides)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Presència en el sòl de la planta			
Descomposició <input type="checkbox"/> Absent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maduració <input type="checkbox"/> Absent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Final <input type="checkbox"/> Absent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Obturació de les canaletes recol·lectores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Estat de la maquinària			
Funcionalitat en general	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Funcionalitat sondes			
Funcionen:			
No Funcionen:			
Funcionalitat túnels	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Funcionalitat altres _____			
Funcionen:			
No Funcionen:			
Presència de pols			
En general <input type="checkbox"/> Absent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Descomposició <input type="checkbox"/> Absent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maduració <input type="checkbox"/> Absent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Final <input type="checkbox"/> Absent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Humitat de les piles			
Descomposició (alt: humides, baix: seques)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maduració	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Final	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Olor			
General	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Descomposició	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Maduració	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Final	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	ENQUESTA DE PLANTA	
REG-004	Pag.1/4	Aprovat
Edició	3	Redactat
Revisió	100308	

Nom de planta	
Persona de contacte	
Tlf. contacte	
A/e	
Població	
Data visita	

Superfície total de la planta		Superfície biofiltre	
Superfície coberta		Volum biofiltre	


Capacitat de disseny de tractament, T material/any: _____

Poblacions que tracta:

MATERIALS D'ENTRADA

	T/dia	T/any
<input type="checkbox"/> Restes vegetals		
<input type="checkbox"/> FORM		
<input type="checkbox"/> RSU		
<input type="checkbox"/> Fangs EDAR		
<input type="checkbox"/> Fangs indústria alimentària		
<input type="checkbox"/> Altres		

Total de materials tractats a l'any:

	ENQUESTA DE PLANTA	
	REG-004	Pag.3/4
	Edició	3
Revisió	100308	Aprovat
		Redactat

PROCÉS DE DESCOMPOSICIÓ

Fet en: Túnels

Ample	Llarg	Alt
-------	-------	-----

 Piles metros Sistema: Aspiració Impulsió

Duració de l'etapa de descomposició, en dies.
Mínim període: dies Màxim període: dies

Freqüència de reg. Cada quant es rega el material, en dies.
Mínim període: dies Màxim període: dies

Freqüència de volteig. Cada quant es volteja el material, en dies
Mínim període: dies Màxim període: dies

PROCÉS DE MADURACIÓ

Fet en: Túnels

Ample	Llarg	Alt
-------	-------	-----

 Piles metros Sistema: Aspiració Impulsió

Duració de l'etapa de descomposició, en dies.
Mínim període: dies Màxim període: dies

Freqüència de reg. Cada quant es rega el material, en dies.
Mínim període: dies Màxim període: dies


Freqüència de volteig. Cada quant es volteja el material, en dies
Mínim període: dies Màxim període: dies

LIXIVIATS

<u>On s'emmagatzemen?</u>	<u>Recirculació:</u>	<u>Període utilització de lixiviat:</u>
<input type="checkbox"/> Bassa oberta <input type="checkbox"/> Dipòsit tancat	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Durant tota la descomposició <input type="checkbox"/> Durant tota la maduració <input type="checkbox"/> Inici descomposició <input type="checkbox"/> Inici maduració <input type="checkbox"/> Final maduració

Recollida d'aigua pluvial:

<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No	Observacions:
--	---------------

	ENQUESTA DE PLANTA		
REG-004	Pag. 4/4	Aprovat	
Edició	3	Redactat	
Revisió	100308		

IMPROPIIS

Quantitat anual de impropis retirats (T/any)

Impropi majoritari: _____

Destí dels impropis: _____

SEPARACIÓ

Es fa a:		Tn/any	Mecanisme utilitzat	Impropi majoritari
<input type="checkbox"/> Inici	<input type="checkbox"/> Manual			
	<input type="checkbox"/> Mecànica			
<input type="checkbox"/> Final descomposició	<input type="checkbox"/> Manual			
	<input type="checkbox"/> Mecànica			
<input type="checkbox"/> Final maduració	<input type="checkbox"/> Manual			
	<input type="checkbox"/> Mecànica			
<input type="checkbox"/> Afinat	<input type="checkbox"/> Manual			
	<input type="checkbox"/> Mecànica			

Annex 2. Models d'informe comparatiu

Planta de compostatge XX



Escola Superior d'Agricultura de Barcelona
Universitat Politècnica de Catalunya

Setembre 2007

1. INTRODUCCIÓ

Per treballs anteriors realitzats en col·laboració amb el Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona (SMADB), el Instituto Geológico Minero (IGME) i la mateixa Agència de Residus de Catalunya (ARC) es coneix la importància de la recollida selectiva (Figura 1) en la qualitat del compost (Figura 2).

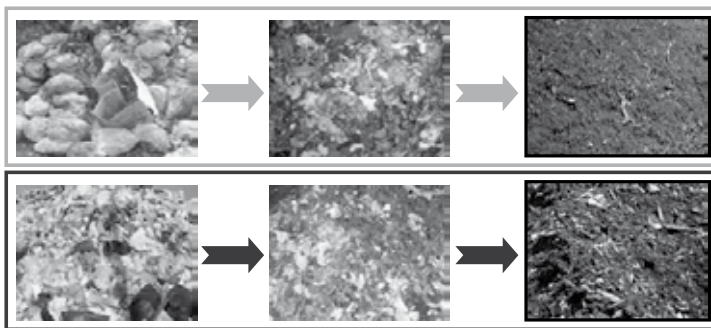


Figura 1. Materials inicials i compost final

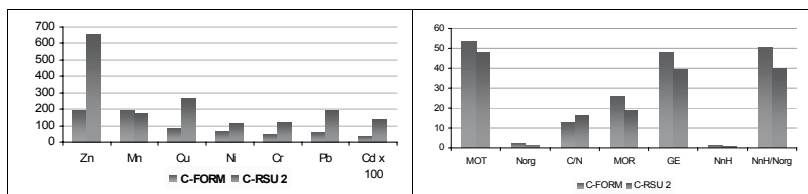


Figura 2. Comparació del contingut en metalls i dels valors de paràmetres agronòmics de COMPOST de FORM i de RSU sense recollida selectiva de la FORM . (Dades diferents projectes ESAB-IGME-MIMAM-SMADB-ARC)

Però el tipus de material que arriba a les plantes, influeix també en el rendiment, en l'ocupació d'espai (figura 3) i en el desgast de maquinària.

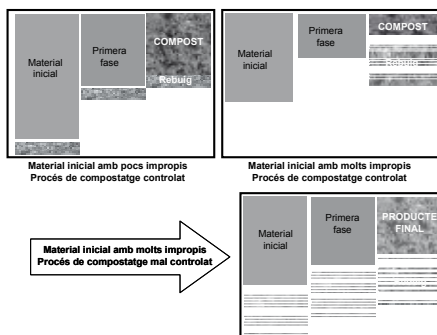


Figura 3. Aproximació de la influència dels contingut en impropis i de l'eficàcia del procés en els rendiments

2. TIPUS DE MOSTRES I DETERMINACIONS REALITZADES

Les mostres es van agafar per a les finalitats indicades a la taula 1 i fent les determinacions que s'indiquen a la taula 2.

Tipus de mostra	Finalitat	
FORM entrada	Qualitat de la separació en origen i detectar diferències entre plantes	
FORM separació mecànica	Efectivitat de la maquinària utilitzada	
RVT (restes vegetals triturats)	Característiques i diferències entre plantes	
RCV (recirculat vegetal)	Característiques i contingut en impropis	
Barreja inicial	Característiques i adequació al procés	
Final descomposició	Característiques i grau de transformació	
Final maduració	Característiques i grau de transformació	
Compost	Característiques, possibles usos i compliment normativa	
Rebuigs	Característiques	Impropis
		Pesat
		Lleuger
Lixiviats	Característiques	
Aigua	Característiques	

Taula 1. Finalitats del mostreig

	Densitat	Impropis	Granulometria	Test Autoescalfament	%H ₂ O	%MS	pH i CE	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	MOT	Norg	Ca, Mg	K, Na	P	Metalls pesants	MOR i GE	NnH i Nr
FORM	X	X			X	X	X			X	X		X	X	X		
RVT	X	X	X		X	X	X			X	X		X	X	X	X	X
RCV	X	X	X		X	X	X			X	X		X	X	X	X	X
Barreja inicial/Inici descomposició	X	X			X	X	X			X	X				X		
Final descomposició/Inici maduració	X	X			X	X	X			X	X				X		
Rebuig trommel	X	X															
Final maduració	X	X			X	X	X			X	X				X		
Compost	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Rebuig TDM	X				X	X	X			X							
Aigua reg					X	X						X			X		
Lixiviats	X				X	X	X			X	X				X		

Taula 2. Determinacions a fer per a cada mostra

Abans de prendre les mostres es va elaborar un esquema del procés en la planta, que es va contrastar amb els responsables, per assegurar la seva representativitat i determinar els punts de presa de mostres.

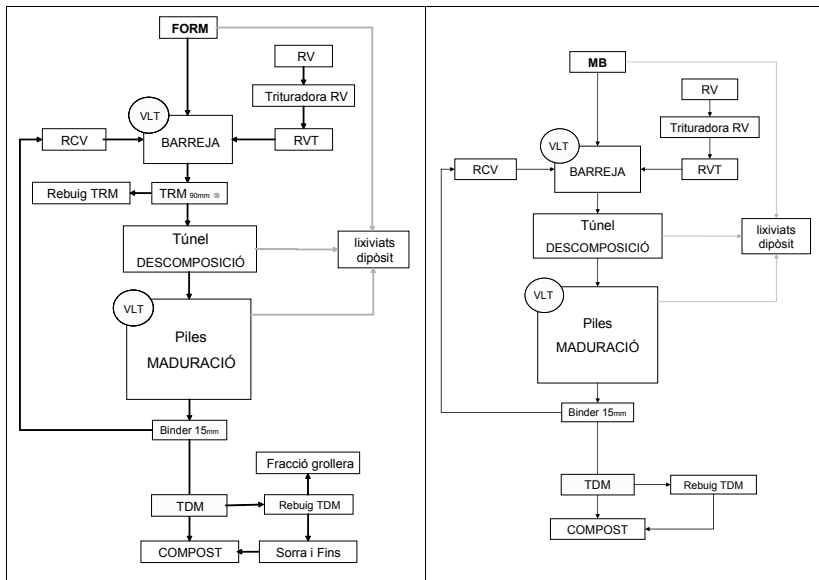


Figura 4. Esquema de la planta corresponent a aquest informe. A l'esquerra la línia de residu municipal i a la dreta la de mercats

3. MATERIALS INICIALS

Es consideren materials inicials aquells que utilitza cada planta per a iniciar el procés de compostatge. És a dir, la fracció orgànica procedent de recollida selectiva (FORM), les restes vegetals triturades (RVT) i el reciclat vegetal (RCV).

La FORM és millor en quant a presència de contaminants que la fracció orgànica procedent de la separació mecànica en planta, però no s'ha d'oblidar que presenta uns continguts en humitat, matèria orgànica degradable i nitrogen que cal complementar, i d'aquí la necessitat de fer-ho amb RVT (figures 5 i 6).

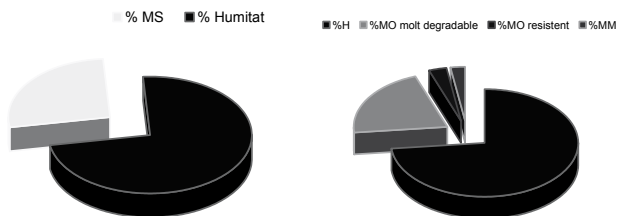


Figura 5. Composició genèrica de la fracció orgànica. Mitjana de diverses plantes

La FORM requereix de restes vegetals triturats per aconseguir l'equilibri necessari per a iniciar el procés de compostatge. No només perquè donen porositat i afavoreixen la retenció del líquids produïts, abans i un cop iniciat el procés, sinó perquè a mes a mes incorpora carboni necessari per el desenvolupament dels microorganismes, ajudant a disminuir les pèrdues de nitrogen i a obtenir un compost amb una matèria orgànica i nitrogen més resistents a la mineralització. La figura 7 mostra las característiques de la FORM, RV i RCV de la planta estudiada.

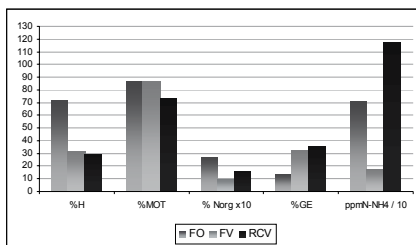


Figura 6. Complementarietat dels materials.

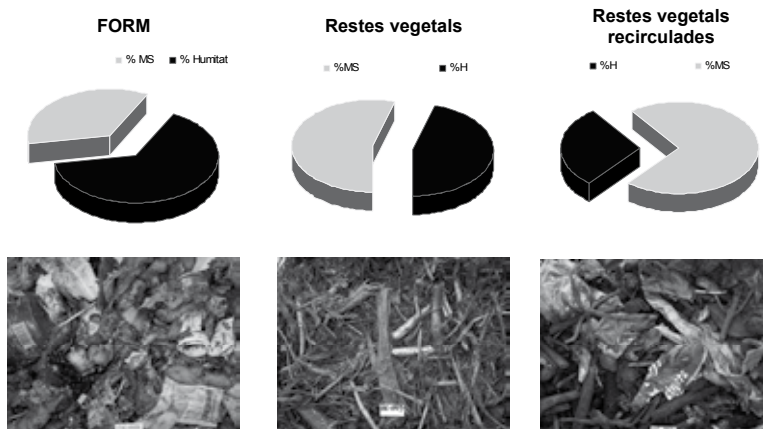
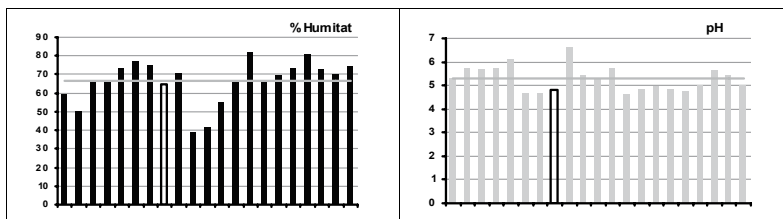


Figura 7. Materials de barreja inicial de la planta

Les següents figures mostren característiques de la FORM recollida a les diferents plantes, senyalant amb coloració diferent els valors corresponents a la planta referenciada en aquest informe.



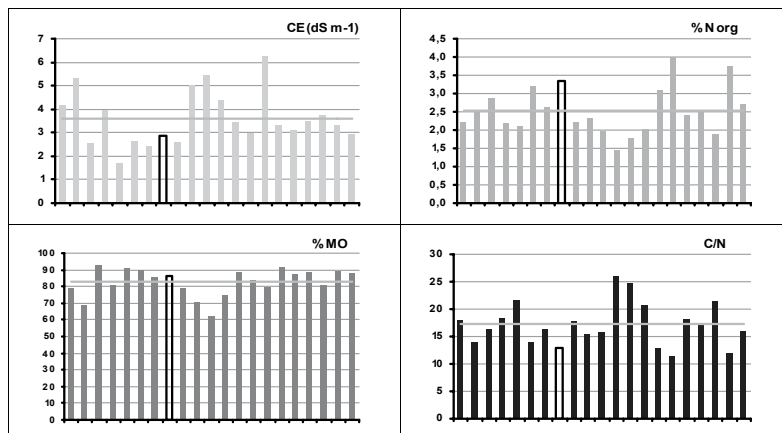


Figura 8. Característiques de la FORM. Assenyalat, el valor de la planta i representada la mitjana amb línia verda

4. EVOLUCIÓ DEL MATERIAL

Els materials inicials, la seva composició i la proporció en que es barregin, pot condicionar molt el desenvolupament del procés i per tant el funcionament de la planta. Malgrat que a totes les plantes arriben en teoria materials semblants i es fan barreges similars, apareixen diferències importants en la densitat aparent de les mescles a compostar que van més enllà de les simples variacions d'humitat i que indiquen que pot tenir interès la determinació d'aquest paràmetre en planta per el control del inici del procés. En la figura 9 es mostren els valors de la humitat i de la densitat aparent (expressada sobre mostra humida i seca) de les mescles inicials de les instal·lacions visitades, indicant amb coloració diferent els valors corresponents a la planta d'aquest informe. Tot i que aquestes dades són representatives només del dia de la presa de mostres, poden ser un toc d'atenció per les instal·lacions que presenten densitats de barreja molt elevada ja que poden tenir problemes pel manteniment de les condicions aeròbiques.

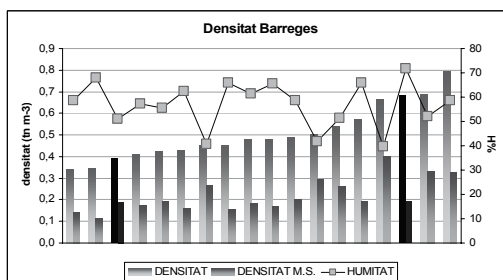


Figura 9. Densitat de les barreges sobre matèria seca i humida i humitat. Assenyalat, el valor de la planta corresponen a aquest informe

En la composició de les barreges inicials indicades a la figura 10 s'observa que la majoria de les plantes presenten humitats properes al 60%, però algunes presenten valors propers al 40%, molt baix per al correcte desenvolupament del procés. Aquests valors tant baixos estan relacionats amb

plantes amb gran quantitat d'impropis en el material d'entrada, aspecte que també es posa de manifest en els continguts mes baixos en MO .

En els materials de final de maduració, abans de l'afinat, destaquen alguns valors d'humitat excessivament baixos i valors molt elevats de MO en algunes plantes que indiquen poca transformació.

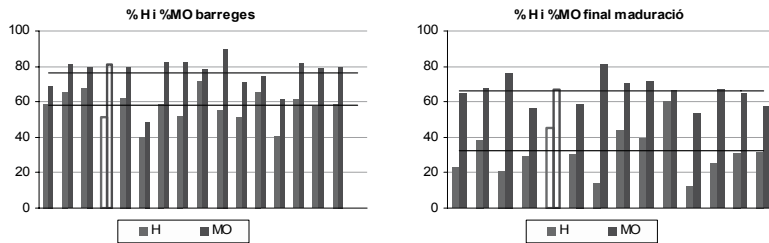


Figura 10. Contingut en H i MO de les barreges i dels materials de final maduració. Assenyalat, els valors de la planta corresponen a aquest informe.

La densitat és un paràmetre que evoluciona al llarg del procés. Teòricament, amb un procés ben portat, la densitat hauria d'anar augmentant amb el temps, tant pel canvi de composició dels materials com per la reducció de la mida de partícula. En la figura 11 s'exposa la variació de la densitat aparent sobre mostra humida al llarg del procés de la instal.lació, mentre que la figura 12 correspon a un model de planta ben controlada i la figura 13 una mal controlada; com la humitat influeix en aquesta densitat aparent, es representa també la densitat expressada sobre mostra seca, que, clarament, té una evolució inversa al contingut en matèria orgànica quan el procés funciona correctament.

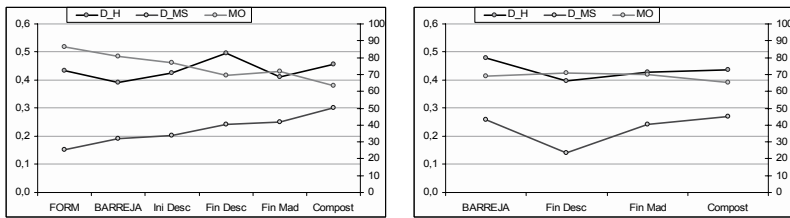


Figura 11. Evolució de la densitat del material sobre matèria humida ($\text{tn mh/m}^3 \text{ D}_H$), sobre matèria seca ($\text{tn ms/m}^3 \text{ D}_MS$) i matèria orgànica (%MO) al llarg del procés del material de la planta. A l'esquerra la línia de residu municipal i a la dreta la de mercats

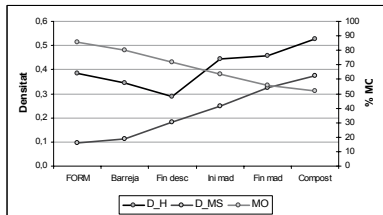


Figura 12. Evolució de la densitat del material sobre matèria humida ($\text{tn mh/m}^3 \text{ D}_H$), sobre matèria seca ($\text{tn ms/m}^3 \text{ D}_MS$) i matèria orgànica (%MO) al llarg del procés d'una planta amb funcionament correcte.

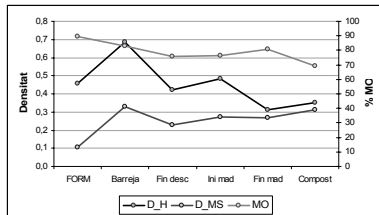


Figura 13. Evolució de la densitat del material sobre matèria humida ($\text{tn mh/m}^3 \text{ D}_H$), sobre matèria seca ($\text{tn ms/m}^3 \text{ D}_MS$) i matèria orgànica (%MO) al llarg del procés d'una planta amb problemes de funcionament

5. COMPOST

El RD 824/2005 sobre productes fertilitzants estableix els següents requisits per al compost (Annex I, Grup 6 Esmenes Orgàniques, nº2).

	Classe A	Classe B	Classe C
% H : 30%-40%			
C/N < 20			
% MOT > 35% smh			
% Impureses < 3% smh			
Granulometria:			
Pedres i graves Ø > 5mm menys del 5%			
Impureses Ø > 2mm menys del 3%			
90% partícules Ø < 25mm			
Cd (mg/kg s.m.s.)	0,7	2	3
Cr total (mg/kg s.m.s.)	70	250	300
Cu (mg/kg s.m.s.)	70	300	400
Hg (mg/kg s.m.s.)	0,5	1,5	2,5
Ni (mg/kg s.m.s.)	25	90	100
Pb (mg/kg s.m.s.)	45	150	200
Zn (mg/kg s.m.s.)	200	500	1000

Taula 3. Requisits del RD824/2005 sobre productes fertilitzants

Referència	06-066	06-210	06-211
Planta			
Material	Compost Mercats + FORM	Compost Mercats	Compost FORM
Data mostreig	17-feb-2006	6-jun-2006	6-jun-2006
pH (1/5)	8,48	8,54	8,26
CE (dS m⁻¹) (1/5)	4,59	3,92	6,24
% Humitat	36,94	37,63	34,09
mg kg⁻¹ N-NH₄⁺ soluble (1/5) s.m.s.	819	561	1320
mg kg⁻¹ N-NO₃ soluble (1/5) s.m.s.	25	17	15
% MO s.m.s.	63,11	65,34	63,40
% N org s.m.s.	1,98	1,94	1,86
C/N s.m.s.	16	17	17
% MOR s.m.s.	28,35	29,50	27,84
% GE s.m.s.	44,92	45,15	43,91
% NnH s.m.s.	1,22	1,10	0,99
% NnH/Norg s.m.s.	61,32	56,94	53,26
% P s.m.s.	0,53	0,40	0,63
% K s.m.s.	1,35	1,27	1,19
% Na s.m.s.	0,45	0,26	0,57
% Ca s.m.s.	5,53	4,75	6,20
% Mg s.m.s.	0,50	0,43	0,46
% Fe s.m.s.	0,66	0,62	0,67
mg kg⁻¹ Zn s.m.s.	172	144	163
mg kg⁻¹ Mn s.m.s.	128	125	117
mg kg⁻¹ Cu s.m.s.	49	39	53
mg kg⁻¹ Ni s.m.s.	9	7	8
mg kg⁻¹ Cr s.m.s.	9	8	8
mg kg⁻¹ Pb s.m.s.	39	26	33
mg kg⁻¹ Cd s.m.s.	0,30	0,27	0,19

Taula 4. Resultats de les anàlisis de la mostra de compost

Les figures 14 i 15 mostren els paràmetres que es requereixen en el RD 824/2005 i, a més a més, d'altres que en l'ESAB es consideren d'interès agronòmic; sempre es senyala amb coloració diferent la mostra corresponen a la planta estudiada i s'indica la mitjana de totes les plantes amb una línia.

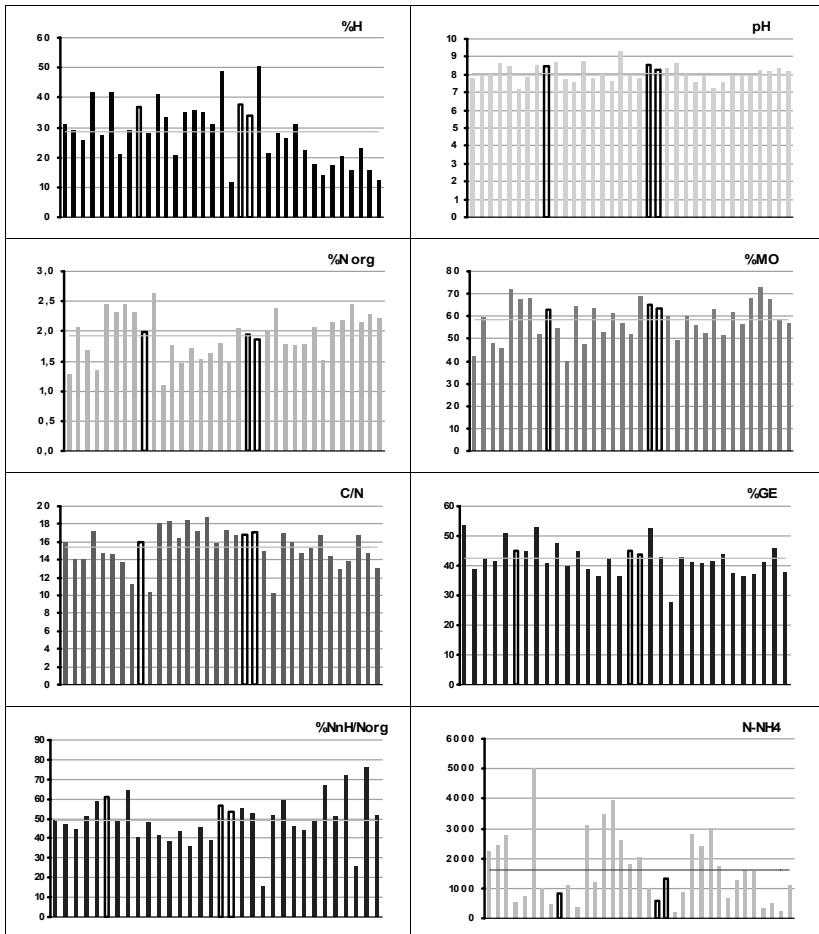


Figura 14. Alguns paràmetres de l'anàlisi de compost. Assenyalat, el valor de la planta estudiada i la línia de la mitjana

Cal que cada planta es fixi en la figura 14 per veure com els seus resultats s'acosten o no a la mitjana i el significat que pot tenir. Recordar que:

- materials molt secs poden complicar el maneig i amagar materials poc estabilitzats que al rehumitejar-se poden donar problemes.
- continguts elevats de MO poden indicar processos incomplets i mal controlats, el que es pot traduir en males olors a la planta i ocupació d'espais per sobre de les previsions.
- recordar que el grau d'estabilitat ($\%GE = MOR \times 100 / MOT$) i la relació entre el nitrogen orgànic no hidrolitzable (NnH) i el N orgànic estan molt relacionats amb el control del procés i amb el comportament del compost quan sigui utilitzat. Es aconsellable que tots dos estiguin a prop del 50%.

- Cal valorar si els continguts de nitrogen orgànic inferiors a la mitjana són deguts a barreges inicials amb una major proporció de RV o a pèrdues durant el procés.
- tots els valors de nitrogen amoniacal superiors a 1500 ppm han de ser un toc d'atenció perquè les plantes prestin més atenció al seus processos.

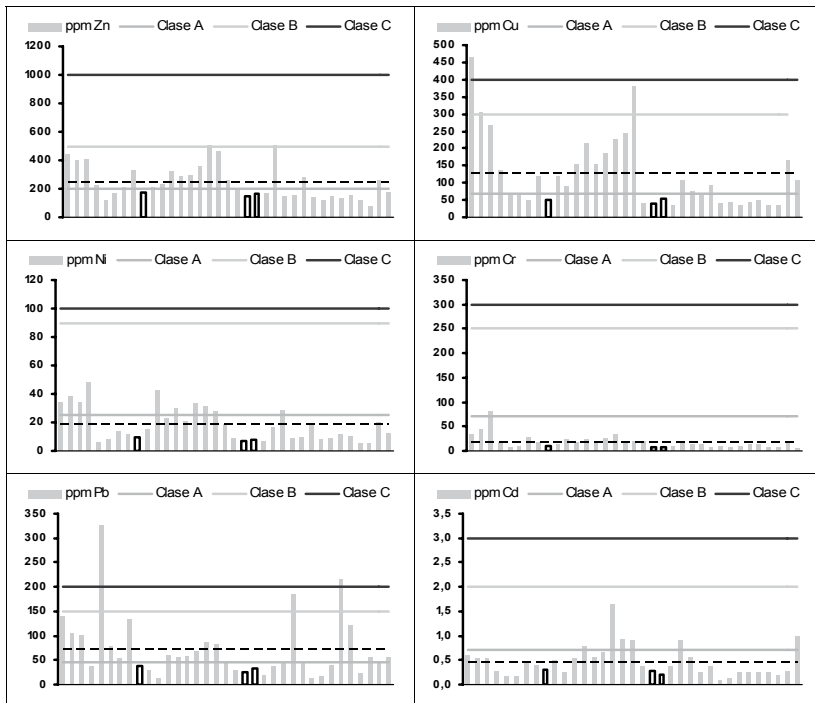


Figura 15. Metalls pesants de l'anàlisi de compost. Assenyalat, el valor de la planta estudiada, els valors límit que apareixen en el RD 824/2005 i en línia discontinua la mitjana

La figura 15 amb els continguts en metalls de les mostres de compost permet que les diferents instal·lacions vegin com els seus valors s'acosten o no a la mitjana i en quina classe es podria classificar.

La figura 16 presenta l'aspecte de la mostra de compost presa en aquesta planta

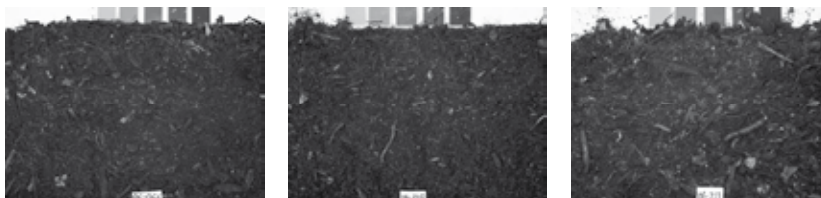
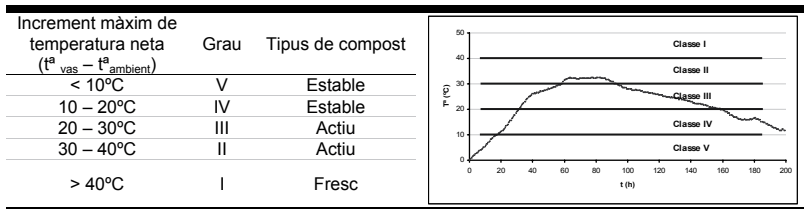


Figura 16. Aspecte del compost analitzat

En totes les mostres de compost s'ha realitzat la determinació del test d'autoescalfament, que pot donar una idea de l'estabilitat del material sempre i quan es faci sota condicions controlades i reproduïbles per tal de poder comparar resultats. La taula 5 indica la classificació i el tipus de corbes teòriques i la figura 18 el resultat obtingut per a aquesta planta.



Taula 5. Classificació de l'estabilitat (TMECC, 2002)

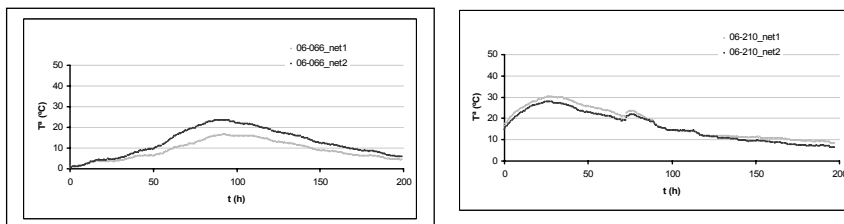


Figura 18. Resultat del Test d'Autoescalfament de les mostres de compost

Informe realitzat per:
Marga López
Oscar Huerta

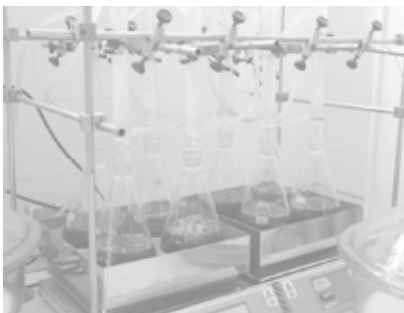


UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

ESCOLA SUPERIOR D'AGRICULTURA DE
BARCELONA



Escola Superior d'Agricultura de Barcelona
Campus del Baix Llobregat
Avda. Canal Olímpic s/n
08860 Castelldefels
marga.lopez@upc.edu 935521098
oscar.huerta@upc.edu 935521060



Altres publicacions de la sèrie Medi Ambient

Documents de Treball

- 1 Gestió de fangs de les estacions depuradores d'aigües residuals
- 2 Mitigació i adaptació local al canvi climàtic: Catàleg de propostes
- 3 El codi tècnic de l'edificació: Una visió pluridisciplinària
- 4 El sistema litoral: Un equilibri feble amenaçat pel canvi climàtic

Estudis

- 1 Una mobilitat per al segle XXI