

# ESTIMACIÓ DE L'ESTABILITAT O LA QUALITAT DEL COMPOST OBTINGUT PER UN SISTEMA D'AUTOCOMPOSTATGE

Tema prioritari B: Compostatge domèstic o comercial

## Investigadors:

Patricia Susial Martín, Enginyera industrial, ([patricia.e.susial@gmail.com](mailto:patricia.e.susial@gmail.com))

Miquel Bonet Alomar, Enginyer químic, ([miquelbonet@gmail.com](mailto:miquelbonet@gmail.com))

*Estudiants del Màster en Enginyeria Ambiental de la Universitat de Barcelona*

## Directors:

Dra. Elisabet Rudé i Payró ([elisabet.rude@ub.edu](mailto:elisabet.rude@ub.edu))

Dr. Ricard Torres Castillo ([rtorres@ub.edu](mailto:rtorres@ub.edu))

*Professors Titulars del Departament d'Enginyeria Química de la Universitat de Barcelona*

## Resum executiu

### Índex

1.	Introducció .....	2
2.	Objectius .....	2
3.	Metodologies emprades .....	3
4.	Resultats i discussió .....	3
4.1.	Cromatografia de sòls .....	3
4.1.1.	Influència de la llum de malla en el tamisat inicial .....	4
4.1.2.	Influència d'un segon tamisat més fi .....	4
4.1.3.	Influència del grau d'estabilitat en l'aparença del cromatograma .....	5
4.1.4.	Metodologia d'asseccament de la mostra .....	5
4.1.5.	Influència de la quantitat de mostra seca i tamisada a emprar .....	5
4.1.6.	Metodologia d'addició del dissolvent .....	6
4.1.7.	Metodologia d'agitació .....	6
4.1.8.	Minimització del consum de nitrat de plata .....	7
4.1.9.	Influència de la geometria del paper de suport per al cromatograma .....	7
4.2.	Test d'autoescalfament .....	8
4.2.1.	Influència de la llum de malla del tamisat i les variacions de temperatura ambiental amb material fresc .....	8
4.2.2.	Influència de la llum de malla del tamisat i les variacions de temperatura ambiental amb material estable .....	8
4.2.3.	Influència de la llum de malla del tamisat i les variacions de temperatura ambiental en la reproductibilitat dels experiments .....	9
4.2.4.	Influència dels cicles de temperatura ambiental en la reproductibilitat dels experiments .....	9
4.2.5.	Influència de la compactació del compost .....	9
4.2.6.	Efecte del nivell d'humitat en l'anàlisi .....	10
4.3.	Test de germinació .....	10
4.3.1.	Influència de l'estabilitat del compost, de la qualitat del dissolvent i del recipient emprats .....	10
4.3.2.	Influència del medi filtrant i reproductibilitat del sistema casolà .....	10
4.3.3.	Influència de l'edat de les llavors .....	11
5.	Conclusions .....	11
5.1.	Cromatografia de sòls .....	11
5.2.	Test d'autoescalfament .....	11
5.3.	Test de germinació .....	12
6.	Recomanacions .....	12
7.	Bibliografia .....	12

## 1. Introducció

*El compostatge és la descomposició biològica i l'estabilització de substrats orgànics, sota condicions que permeten el desenvolupament de temperatures termòfiles com a resultat de la calor produïda biològicament, per generar un producte final que és estable, lliure de patògens i llavors de males herbes, i és profitós per al sòl (Haug, 1993).*

L'autocompostatge (procés de compostatge efectuat en un domicili, establiment o comunitat), estalvia el tractament, en planta, de la fracció orgànica del residu municipal (FORM), però, a més, evita el transport del residu i la contaminació associada, disminueix la necessitat de contenidors en la via pública, facilita les operacions de triatge en les plantes, estalvia l'energia que es deriva d'aquestes operacions i, finalment, proporciona un material útil per a qui el du a terme. Per tant, el compostatge a petita escala constitueix un sistema de gestió més sostenible dels residus orgànics, per la seva acció preventiva, de gran valor ambiental per als municipis, i contribueix a assolir les fites de la Directiva 1999/31/CE, relativa al seu abocament.

Tal i com es pretén en el Programa de Gestió de Residus Municipals de Catalunya (PROGEMIC), l'autocompostatge com a mesura de prevenció s'ha vist incrementat de forma notable en els darrers anys. Així, l'any 2011, l'administració catalana tenia registrats uns 17.500 compostadors repartits en 383 municipis del territori català.

Una de les dificultats amb què es troba el compostaire és no disposar d'instruments per a saber quan pot utilitzar el compost, atès que no hi ha mètodes estandarditzats per a l'obtenció d'aquesta informació i, menys encara, mètodes senzills i de baix cost.

## 2. Objectius

En aquest estudi s'adaptaran metodologies àmpliament utilitzades en la caracterització del compost produït a mitjana i gran escala, com són el test d'autoescalfament i el test de germinació, així com la cromatografia de sòls aplicada al compost.

L'objectiu principal d'aquest projecte és desenvolupar metodologies senzilles, econòmiques i eficients per donar al compostaire unes eines que li permetin determinar quan el compost pot ser aplicat al sòl.

En el cas de la cromatografia de sòls es plantegen els següents objectius específics:

1. Recerca de fonts de referència fiables sobre cromatografia aplicada als sòls o compost.
2. Anàlisi i interpretació dels cromatogrames de compost.
  - Identificar els anells,
  - Identificar quin tipus d'informació proporciona cada anell,
  - Identificar com el cromatograma es relaciona amb els paràmetres de compostatge.
3. En cas d'existir un mètode de cromatografia aplicable al compost, plantejar-ne possibles millores o modificacions (incloent el desenvolupament d'un nou mètode) per tal de:
  - Aconseguir un mètode tan reproduïble com sigui possible,
  - Conèixer com afecten al cromatograma les diferents variables del mètode,
  - Optimitzar els recursos del mètode: reactius, materials, temps, etc.,
  - Minimitzar la generació de residus.

En el cas del test d'autoescalfament es plantegen els següents objectius específics:

1. Determinar si els materials utilitzats són aptes per a desenvolupar aquesta metodologia a nivell casolà.
2. Comprovar que el muntatge experimental dóna resultats reproduïbles.
3. Determinar quines són les condicions òptimes per a realitzar el test d'autoescalfament.
4. Determinar els intervals de temperatura corresponents a cada grau d'estabilitat del compost.

En el cas del test de germinació es plantegen els següents objectius específics:

1. Determinar si els materials utilitzats són aptes per a desenvolupar aquesta metodologia a nivell casolà.
2. Determinar si l'edat de la llavor afecta al procés de germinació.
3. Determinar si l'aigua de l'aixeta es comporta igual que l'aigua destil·lada.

### 3. Metodologies emprades

Com s'ha indicat prèviament, les metodologies adaptades al nivell domèstic han estat les següents:

- **Cromatografia de sòls.** Consisteix en la separació i "identificació" de substàncies químiques a partir del diferent desplaçament que tenen quan són arrossegades per un dissolvent (aigua) a través d'un suport (paper).

El compost, prèviament preparat, es dissol en aigua bàsica i es posa en contacte amb un extrem (o el centre) d'un paper suspès i que haurà estat impregnat prèviament amb una solució reveladora. Es deixa que la dissolució vagi impregnant el paper. És en aquest procés quan els diferents components de la solució de compost es desplacen a velocitats diferents, el que provoca la seva separació. Després d'assecar el paper, cal interpretar el dibuix que ha anat formant aquesta separació.

- **Test d'autoescalfament.** Consisteix en relacionar l'augment de temperatura degut a la descomposició de la matèria orgànica fàcilment biodegradable amb l'activitat microbiana del material. Lògicament, quanta més matèria orgànica fàcilment biodegradable tingui el compost, més activitat microbiana produirà aquest material i, per tant, més augmentarà la seva temperatura.

Per dur a la pràctica aquest test, el compost, prèviament preparat, es col·loca en un recipient ben aïllat de l'entorn i es va observant l'evolució de la temperatura a l'interior del material.

Quant més pugui la temperatura, més matèria orgànica fàcilment biodegradable tindrà el material i més problemes podria provocar en els vegetals als quals s'apliqui. Quant menys pugui aquesta temperatura, menys matèria orgànica fàcilment biodegradable restarà en el compost i, per tant, més estable serà. En aquest cas, es diu que el compost és madur.

- **Índex de germinació.** Consisteix en relacionar el percentatge de llavors que germinen, i com ho fan, en una solució lixiviada del compost a avaluar, amb la qualitat d'aquest.

L'assaig consisteix en fer un seguiment de les llavors que germinen en l'extracte del compost i comparar-lo amb la germinació en aigua.

### 4. Resultats i discussió

A continuació es presenten breument els resultats obtinguts amb cada metodologia i es discuteixen breument.

#### 4.1. Cromatografia de sòls

S'ha efectuat un total de 66 experiments en els quals s'ha analitzat la influència de les següents variables: 1) llum de malla en el primer tamisat de la mostra; 2) influència d'un segon tamisat, més fi; 3) influència del grau d'estabilitat en l'aparença del cromatograma, 4) metodologia d'assecat de la mostra; 5) influència de la quantitat de mostra seca i tamisada a emprar; 6) metodologia d'addició del dissolvent; 7) metodologia d'agitació; 8) minimització del consum de nitrat de plata, i 8) influència de la geometria del paper de suport per al cromatograma.

En tots els casos, l'anàlisi dels cromatogrames s'ha dut a terme mitjançant l'observació visual i amb la quantificació de variables com ara el radi de les diferents zones (Restrepo Rivera, J. i Pinhero, S., 2011).

Finalment, s'han realitzat alguns experiments amb la finalitat d'avaluar la possibilitat d'optimitzar el volum de nitrat de plata i de reduir la generació de residus, especialment de paper assecant, i, també, reduir el cost del procediment analític.

#### 4.1.1. Influència de la llum de malla en el tamisat inicial

Per a experimentar amb aquest primer tamisat s'han considerat tres llums de malla (0,6, 1,1 i 1,8 cm). La tria s'ha realitzat en funció dels materials que es poden trobar, fàcilment, en una ferreteria. Igualment, s'ha treballat amb composts de dos graus d'estabilitat (GE) diferents per si les dues variables interaccionessin. En la Figura 1 es presenten els cromatogrames del compost menys estable, mentre que la Figura 2 presenta els del compost més estable.

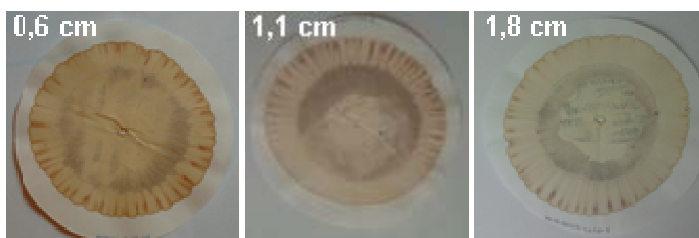


Figura 1. Cromatogrames del compost de baix GE.

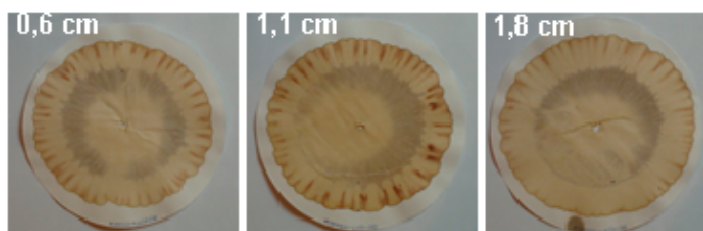


Figura 2. Cromatogrames d'un compost d'elevat GE.

La comparació entre els cromatogrames obtinguts amb el compost de baix GE, presentats en la Figura 1, permet apreciar una definició més pobre quan aquest tamisat s'efectua a 1,8 cm; en canvi, comparant els cromatogrames obtinguts a partir del compost més estable (Figura 2) no s'observen diferències importants en aquesta qüestió. Aquest aspecte, unit a les dificultats operacionals experimentades en tamisar amb la llum de malla menor, fan que la resta del treball es desenvolupi només amb un primer tamisat amb malla d'1,1 cm.

#### 4.1.2. Influència d'un segon tamisat més fi

Per a esbrinar la necessitat, o no, d'aquest segon tamisat, més fi, s'ha obtingut una sèrie de cromatogrames a partir d'una mostra passada per un colador domèstic amb una llum de malla d'1 a 2 mm. Aquest mateix experiment s'ha realitzat amb paper de filtre circular i amb paper de filtre en tires. La Figura 3 mostra alguns dels cromatogrames obtinguts en aquest experiment. Tant si s'utilitza el clàssic paper de filtre circular, com si s'utilitza paper de filtre en tires, els cromatogrames obtinguts a partir de la mostra passada pel colador (esquerra de la Figura 3), ofereixen una imatge més nítida i més desenvolupada; és a dir que presenta menys interferències entre les diferents zones observades. Per això, els posteriors cromatogrames s'obtidran a partir de les mostres amb els dos tamisats; el primer permetrà separar fàcilment l'estructurant i el segon millorarà l'aparença del cromatograma.

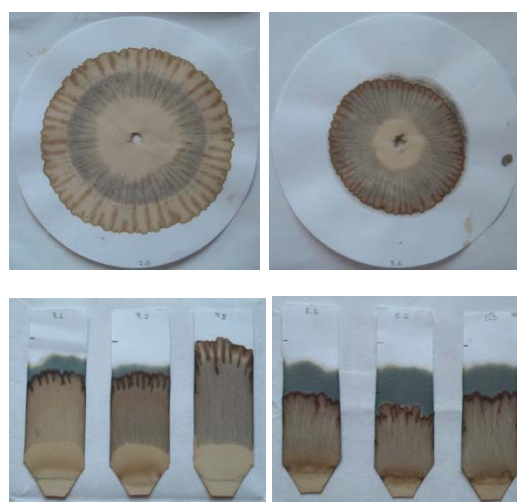


Figura 3. Cromatogrames d'un mateix compost amb tamisat fi (esquerra) i sense (dreta), i en paper circular (superior) i en tira (inferior).

#### 4.1.3. Influència del grau d'estabilitat en l'aparença del cromatograma

Arribat aquest punt, s'ha tornat a assajar l'estabilitat del compost per a conèixer si el mètode permet discernir-la fàcilment. Per això, s'han considerat mostres amb dos graus d'estabilitat (GE) diferent. Aquestes mostres s'han sotmès a un tamisat previ, a 1,1 cm, i després a un tamisat fi amb un colador casolà. A continuació, s'han preparat els cromatogrames.

Sense entrar en massa detall, s'observa que en les mostres de baix grau d'estabilitat, l'anell més exterior del cromatograma presenta unes entrades en forma de "grans de blat de moro" (Figura 4, esquerra), mentre que, en les mostres de compost més estable, aquestes entrades tenen una forma més semblant a unes "dents de cavall" (Figura 4, dreta). Aquestes primeres diferències fan pensar que la tècnica serà capaç de distingir, com a mínim, l'estabilitat del material. En un treball posterior, s'assajarà la informació sobre la composició química del compost.



**Figura 4.** Cromatogrames d'un compost de baix GE (esquerra) i elevat GE (dreta).

#### 4.1.4. Metodologia d'asseccament de la mostra

Amb el propòsit d'analitzar la importància de la metodologia emprada per assecar la mostra, s'han assajat dos tipus d'asseccament: 1) en estufa de laboratori, i 2) a l'ambient. Atès que en un domicili difícilment es trobarà un aparell capaç d'operar en les condicions d'una estufa de laboratori, les condicions triades per a operar en estufa, amb renovació d'aire, van ser de 35 – 36 °C, el que permet simular la calor ambiental fort de l'estiu. Això es va decidir així, perquè en el moment de realitzar l'experimentació, les condicions ambientals a Barcelona (per tant, les condicions de l'asseccament a l'ambient) eren d'humitat elevada i temperatures oscil·lant al llarg del dia entre els 24 °C, de màxima, i els 18 °C, de mínima.

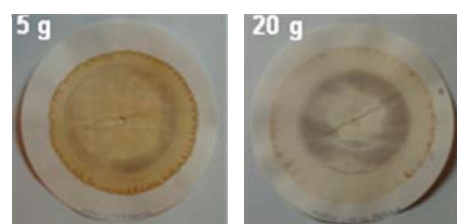
Per tal d'assegurar el nivell d'assecat de la mostra, es va anar mesurant la pèrdua d'humitat, a intervals regulars, fins arribar a pes constant.

En aquest assaig no es van observar diferències significatives en la definició i forma dels cromatogrames, la diferència només rau en el temps d'asseccament, provocat per la diferent temperatura de cada cas. Caldrà, doncs, desenvolupar, més endavant, aquesta qüestió abans de donar una pauta del temps d'asseccament en funció de la temperatura ambiental.

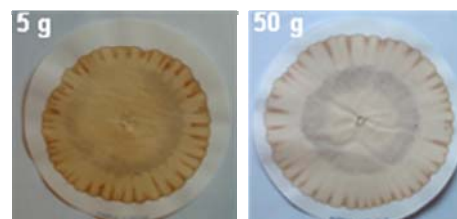
#### 4.1.5. Influència de la quantitat de mostra seca i tamisada a emprar

Per a realitzar aquest assaig s'han obtingut els cromatogrames a partir de diferents quantitats de mostra, ja tamisada segons els resultats obtinguts en els dos apartats anteriors. La mínima quantitat de mostra que s'ha triat ha estat de 5 g, atès que resulta difícil pensar en una balança casolana que mesuri menys quantitat amb una precisió acceptable. L'experiment s'ha efectuat amb composts de dos nivells d'estabilitat diferents, els cromatogrames dels quals es presenten en la Figura 5, per al compost menys estable, i en la Figura 6, per al més estable.

En les figures s'observa que l'increment en la quantitat de mostra i, per tant, del dissolvent associat (sempre es troba en la mateixa proporció), no millora substancialment l'aparença del cromatograma. Atès que un dels objectius d'aquest projecte és disminuir el cost del mètode i minimitzar la producció de residus, la informació obtinguda indica que una quantitat de 5 g de mostra seca i



**Figura 5.** Cromatogrames del compost de baix GE.

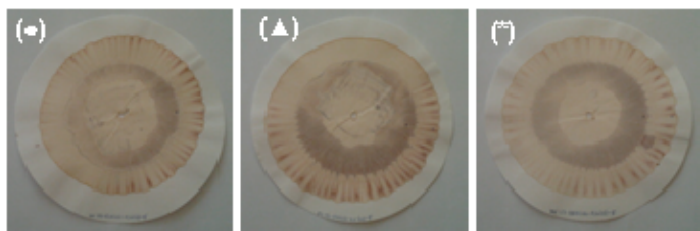


**Figura 6.** Cromatogrames del compost més estable.

tamizada resulta suficient per a l'assaig. Això no elimina la possibilitat que, posteriorment, es cregui convenient augmentar la quantitat per a determinar algun component específic del compost.

#### 4.1.6. Metodologia d'addició del dissolvent

S'han assajat tres mètodes per a afegir el dissolvent (aigua) a la mostra. De més agressivitat a menys: 1) addició directa sense cap mena de precaució (●), 2) addició amb inclinació del got per tal que el dissolvent caigui per les parets del got provocant el moviment de la mostra (\*), i 3) addició amb inclinació del got per tal que el dissolvent llisqui prou suaument per les parets del got com per a què la mostra no es mogui (▲).



**Figura 7.** Cromatogrames obtinguts amb diferent forma d'addicionar el dissolvent (com s'explica al text).

La Figura 7 mostra un dels cromatogrames obtinguts per a cada metodologia d'addició del dissolvent. S'observen mínimes diferències que podrien ser estudiades més endavant amb detall; però, no s'observen diferències prou significatives en els cromatogrames com per a descartar-ne alguna de les formes d'addició i, per tant, la consegüent agitació provocada.

#### 4.1.7. Metodologia d'agitació

Una vegada s'ha afegit el dissolvent, cal agitar la mostra amb el dissolvent. Per a efectuar aquesta operació s'ha experimentat amb tres sistemes d'agitació diferents: 1) manual discontinua, 2) mecànica contínua circular, i 3) mecànica contínua orbital. Val a dir que l'agitació manual es duu a terme amb estones de moviment circular del got combinades amb estones de descans; l'agitació contínua circular s'efectua amb un agitador de pales, com ho podria fer una batedora domèstica; i l'agitació orbital simula l'agitació manual amb l'avantatge que resulta més reproducible que l'agitació manual.

Aquesta part experimental s'ha aprofitat per a corroborar altres resultats; així, la Figura 8 mostra els cromatogrames corresponents a l'agitació manual



**Figura 8.** Cromatogrames obtinguts amb agitació manual (esquerra), contínua circular (dues centrals), i contínua orbital (dreta).

(esquerra), contínua circular (les dues centrals), i contínua orbital (dreta). Cal observar que el cromatograma més desenvolupat, que gairebé ocupa tota la superfície del filtre, correspon a l'obtingut amb agitació contínua orbital (dreta de la figura). El segueix el cromatograma obtingut amb agitació manual discontinua (esquerra de la figura), que ha tingut un notable desenvolupament. En canvi, els dos cromatogrames centrals, corresponents a l'agitació contínua circular, presenten un desenvolupament significativament menor. Tot i que el de l'esquerra d'aquest parell sembla interpretable, aquest menor desenvolupament fa que es descarti l'agitació contínua circular.

D'aquests dos cromatogrames centrals, el de la dreta ha estat obtingut amb una mostra tamizada només a 1,1 cm; en canvi, el de l'esquerra prové d'una mostra que també s'ha passat pel tamís més fi. El doble tamisat, tal i com ja s'havia vist en la secció 4.1.2., proporciona un millor desenvolupament del cromatograma i facilita la separació de les diferents zones del cromatograma. Pel contrari, s'ha observat que en el cas d'utilitzar

l'agitació contínua orbital el cromatograma es desenvolupa de forma molt similar tant si el compost s'ha sotmès a un tamisat com si no. Atès que aquest tipus d'agitació és molt similar al manual, els resultats semblen indicar que es podria trobar un procediment manual per a assolir els mateixos resultats tant si es cola el compost com si no; ara bé, caldria tenir en compte que el colat assegura l'eliminació pràcticament total del material estructurant.

Com en la secció 4.1.2. aquesta també s'ha complementat amb un suport format per una tira de paper de filtre enlloc del clàssic filtre circular. Així, la Figura 9 presenta els cromatogrames en tira obtinguts amb agitació contínua circular (esquerra) i amb agitació contínua orbital (dreta). El resultat obtingut és el mateix que amb el suport circular: el cromatograma és més nítid i més desenvolupat en el cas de l'agitació orbital. S'ha mesurat les distàncies a les quals es produeixen els diferents canvis de zona, mesurats des del centre del cromatograma circular i des de la part inferior del cromatograma en tira, i no s'han apreciat diferències significatives.



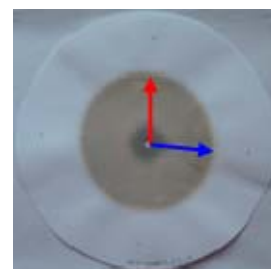
**Figura 9.** Cromatogrames obtinguts amb agitació contínua circular (esquerra) i contínua orbital (dreta).

#### 4.1.8. Minimització del consum de nitrat de plata

Abans de realitzar el cromatograma, el paper de filtre s'ha d'impregnar amb una solució de nitrat de plata al 0,5 %. Aquest compost és la substància més cara del procés d'anàlisi; per tant, és clau en l'economia del mètode.

Per tal d'optimitzar el volum de nitrat de plata s'han considerat diferents volums d'aquesta dissolució per a impregnar el paper. Simultàniament, s'han assajat dos mètodes d'assecat del paper de filtre: 1) deixar el paper de filtre enmig de diferents capes de paper assecant (sistema tradicional), i 2) assecat el paper de filtre a l'aire.

Els experiments realitzats han donat com a millor combinació, l'ús d'1 mL de solució de nitrat de plata. Aquesta quantitat impregnarà el paper de filtre, inicialment, fins a 3,5 cm de radi (fletxa blava de la Figura 10); a partir d'aquest moment, es deixa assecat el paper de filtre a l'aire i la solució encara continuarà avançant fins arribar a un radi de 4 cm (fletxa vermella de la Figura 10). El radi de 4 cm és l'adequat per a la posterior interpretació del cromatograma. Amb aquest mètode d'assecat s'elimina la necessitat de paper assecant i, per tant, la generació del seu corresponent residu especial, per la impregnació amb nitrat de plata.



**Figura 10.** Mides mínimes (inicial i final) per l'assecat a l'aire.

#### 4.1.9. Influència de la geometria del paper de suport per al cromatograma

Com ja s'ha vist en les seccions 4.1.2. i 4.1.7. d'aquest resum, s'han assajat dues geometries per al paper de suport del cromatograma. La circular, amb la qual tots els autors treballen (Haßold-Piezunka, N., 2003) i en tira, que permetria minimitzar la generació de residus i reduir el cost de l'assaig.

L'experiment ha consistit en obtenir cromatogrames amb els dos formats de paper, a partir d'una mateixa mostra i seguint la mateixa metodologia. A falta de determinar les característiques més adequades (mida, qualitat, ..., previst per a un futur treball) que permetin obtenir una millor definició del cromatograma, aquestes proves preliminars (veure Figura 3) indiquen que la informació que es pot obtenir amb els dos formats de paper és la mateixa; és a dir, que la geometria del suport no és determinant en la tècnica analítica. D'aquesta manera, l'ús del paper en tira permetrà disminuir el consum de paper (la tira és significativament més petita), el consum de reactius (hi ha menys superfície de paper a

impregnar) i, consegüentment, la quantitat de residus generats.

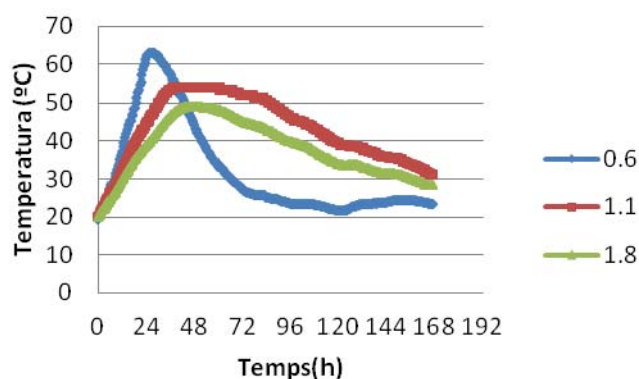
## 4.2. Test d'autoescalfament

S'ha efectuat un conjunt d'experiments encaminats a dissenyar un assaig econòmic i capaç d'indicar l'estabilitat del compost. La base d'aquest disseny és el mètode d'autoescalfament tradicional (California Compost Quality Council, 2001), que implica mantenir algunes variables dins d'uns marges massa estrets com per a controlar-les a nivell domèstic. Per això, a més del propi mètode, s'ha treballat amb una amplitud important de les variables relacionades. Així, per exemple, s'ha considerat inviable, a nivell casolà, analitzar el compost i assolir el 50 % d'humitat necessari per a continuar amb l'anàlisi d'estabilitat. Tot i que s'ha calculat analíticament la humitat del compost que s'analitza, s'ha utilitzat el mètode descrit en un treball anterior (Rudé, E. i Torres, R., 2008) per aproximar el valor de la humitat al que requereix el mètode.

En tots els experiments, l'anàlisi de les dades s'ha dut a terme a través de les temperatures assolides pel compost sotmès a l'anàlisi.

### 4.2.1. Influència de la llum de malla del tamisat i les variacions de temperatura ambiental amb material fresc

Com en el cas de la secció 4.1.1. s'han considerat tres llums de malla (0,6, 1,1 i 1,8 cm). S'ha tamisat compost amb aquestes tres llums de malla. Una fracció de cada tamisat s'ha col·locat en vasos Dewar en un recinte de temperatura relativament constant (laboratori) per a conèixer l'estabilitat del material i la influència del tamisat en l'anàlisi. La resta del compost tamisat s'ha utilitzat en els sistemes domèstics aïllats, que s'han repartit entre l'exterior i l'interior del laboratori. El compost que s'utilitzà per a aquest experiment tenia una humitat del 58,5 %.



**Figura 11.** Variació de la temperatura del material en els vasos Dewar.

Tal i com s'observa en la Figura 11, el compost triat per aquest primer experiment és un material fresc que, aparentment, és més estable quant més gran és la llum de malla. En realitat, en augmentar la llum de malla, augmenta el percentatge d'estructurant en el material i, per tant, augmenta el percentatge de material de molt baixa biodegradabilitat.

En el cas dels sistemes domèstics, la temperatura del compost puja de forma important quan els dispositius estan ubicats al laboratori: entre 20 i 32 °C; donant a entendre que aquest sistema domèstic permetrà distingir alguns nivells d'estabilitat amb un termòmetre casolà. Quan els sistemes domèstics es deixen a la intempèrie, la pèrdua de calor a l'ambient és significativa i l'augment de temperatura del material es queda en uns 14 °C, indicant que, a l'exterior, el sistema presenta dificultats per a una classificació fiable del compost.

En el cas dels sistemes domèstics, la temperatura del compost puja de forma important quan els dispositius estan ubicats al laboratori: entre 20 i 32 °C; donant a entendre que aquest sistema domèstic permetrà distingir alguns nivells d'estabilitat amb un termòmetre casolà. Quan els sistemes domèstics es deixen a la intempèrie, la pèrdua de calor a l'ambient és significativa i l'augment de temperatura del material es queda en uns 14 °C, indicant que, a l'exterior, el sistema presenta dificultats per a una classificació fiable del compost.

### 4.2.2. Influència de la llum de malla del tamisat i les variacions de temperatura ambiental amb material estable

S'han repetit els mateixos experiments que en la secció 4.2.1. amb un compost estable, de manera que l'increment de temperatura experimentat en el material dels vasos Dewar anava entre els 6 °C i els 12 °C, segons la llum de malla emprada en el tamisat. Per a aquest assaig, la humitat del material va ser del 54 %.

Els sistemes casolans ubicats al laboratori, com els vasos Dewar, han proporcionat

increments de temperatura lleugerament inferiors als assolits en els vasos Dewar: d'entre 6 i 9 °C. En canvi, els sistemes ubicats a l'exterior han proporcionat increments de temperatura massa baixos com per a ser fàcilment discernits amb un termòmetre casolà senzill.

#### 4.2.3. Influència de la llum de malla del tamisat i les variacions de temperatura ambiental en la reproductibilitat dels experiments

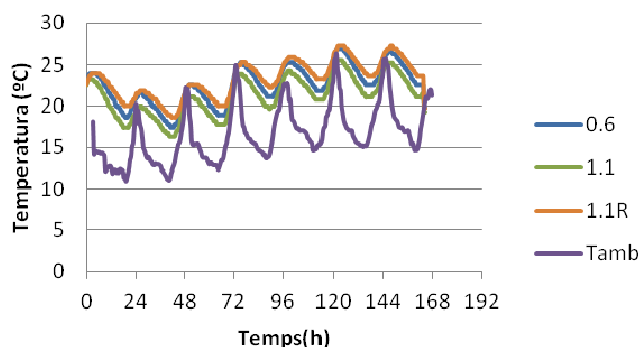
Novament, s'han repetit els experiments a l'exterior de les dues darreres seccions per tal d'observar la reproductibilitat en els diferents tamisats. Pel mateix compost (en aquest cas d'un 48 % d'humitat), els dos tamisos més fins han proporcionat increments de temperatura, respecte de l'ambiental, de 6 a 7 °C; en canvi, la malla de mida superior ha donat increments de temperatura de 4 a 8 °C, pel que es descarta la malla d'1,8 cm per als propers experiments.

Tots els experiments realitzats a l'exterior han evidenciat un paral·lelisme entre els cicles de la temperatura ambiental (baixa de nit i puja de dia) i la temperatura del material. Atès que la fuga de calor en el sistema casolà ubicat a l'exterior és força més elevada per la nit, cal esperar l'existència d'un horari òptim per dur a terme l'experiment.

#### 4.2.4. Influència dels cicles de temperatura ambiental en la reproductibilitat dels experiments

Novament, s'han repetit els experiments, a l'interior i a l'exterior, per tal d'observar les zones horàries de millor reproductibilitat. Per al mateix compost inestable, ara amb un 50 % d'humitat, a l'exterior, s'han obtingut les evolucions de temperatura que es mostren en la Figura 12. En el cas dels sistemes casolans ubicats a l'interior del laboratori, si bé la forma del gràfic és similar, l'amplitud tèrmica és molt menor. L'anàlisi detallada dels cicles de temperatura obtinguts mostra que en els sistemes casolans existeix un desfasament en l'evolució del cicle de 2 - 4 hores, per als experiments realitzats a l'exterior, i de 6 - 7 hores, per als realitzats a l'interior.

De la Figura 12 es desprèn que, si es té en compte el desfasament horari pertinent, en les zones vall es produeix una millor correlació amb la temperatura ambiental. Aquesta mateixa figura sembla indicar que les primeres 24 h d'incubació ja podrien donar una aproximació del tipus de compost que s'està analitzant.



**Figura 12.** Evolució de la temperatura del material en els sistemes casolans ubicats a l'exterior.

#### 4.2.5. Influència de la compactació del compost

S'han tornat a realitzar els experiments de l'apartat anterior afegint una nova variable: la compressió, de la qual s'espera que proporcioni diferències de temperatura més elevades en els sistemes casolans. Per al mateix compost, portat a un 50 % d'humitat, una part dels sistemes casolans han estat pressionats amb la força d'1 kg al damunt i una altra part no.

Com en la secció anterior, no s'aprecien diferències significatives entre les dues llums de malla emprades; per tant, a partir d'ara només es treballarà amb la malla d'1,1 cm de llum perquè l'operació de tamisat resulta molt més senzilla. Els desfasaments observats en la secció anterior, també es mantenen, tant a l'interior com a l'exterior.

Els vasos de Dewar i els sistemes casolans ubicats dins del laboratori han proporcionat les mateixes temperatures, tant si s'ha compactat el material com si no. En canvi, els sistemes casolans amb compressió que s'han ubicat a l'exterior han evidenciat una pèrdua de calor

significativament menor que els que operaven sense compressió. Així, la compressió del material ha proporcionat diferències de temperatura mesurables a nivell casolà encara que l'assaig es realitzés a l'exterior.

#### 4.2.6. Efecte del nivell d'humitat en l'anàlisi

Atès que assolir, amb precisió, el nivell d'humitat necessari per a realitzar l'anàlisi és inviable a nivell domèstic, s'ha realitzat un experiment per tal d'avaluar la influència de la humitat en l'assaig. Per això, s'ha tamisat un compost a 1,1 cm i s'ha dut a tres valors d'humitat diferents: 30, 50 i 70 %. Després s'ha deixat evolucionar en els sistemes casolans i en els vasos Dewar.

L'evolució de les temperatures no ha resultat afectada per la humitat fins al tercer dia d'experiment. Si es té en compte que abans ja s'han produït dos cicles de temperatura de 24 h, i que els valors triats són fàcilment identificables per un compostaire amb experiència o mitjançant el mètode de la broqueta descrit anteriorment (Rudé, E. i Torres, R., 2008), s'arriba a la conclusió que la variable humitat no ha de ser un problema important per a l'assaig en qüestió.

### 4.3. Test de germinació

Com en les dues metodologies prèviament tractades, en aquesta secció s'intenta acostar un assaig científic, com és el test de germinació (Zucconi et al, 1981), al nivell domèstic. Per això, s'ha dissenyat una sèrie d'experiments que indiquin si és possible la substitució de reactius o materials de l'assaig pels que es poden trobar normalment en una llar i abaratir els costos.

#### 4.3.1. Influència de l'estabilitat del compost, de la qualitat del dissolvent i del recipient emprats

S'ha dissenyat una sèrie experimental en la que s'ha utilitzat compost fresc i compost madur per a preparar dues solucions nutrients per a fer-hi créixer llavors de créixens. S'han preparat, en paral·lel, dissolucions amb aigua destil·lada (com indica el mètode) i aigua de l'aixeta, que després s'han col·locat en plaques de Petri (com indica el mètode) i en els recipients domèstics mostrats en la Figura 13.

Lògicament, s'han observat importants diferències entre els dos tipus de compost. El percentatge de llavors germinades en el compost madur és 30 - 40 unitats superior al del compost fresc per a totes les combinacions de variables degut a la fitotoxicitat que encara presenta aquest darrer.

S'ha observat que l'aigua de l'aixeta presenta índexs de germinació lleugerament superiors als de l'aigua destil·lada. Pel què fa als recipients emprats, els resultats en placa de Petri i en carmanyola no han presentat diferències significatives.



**Figura 13.** Recipients domèstics emprats en l'assaig.

#### 4.3.2. Influència del medi filtrant i reproductibilitat del sistema casolà

S'han dissenyat nous experiments amb compost fresc per a preparar dues solucions nutrients. Una ha estat filtrada amb paper de filtre (com indica el mètode) i l'altra amb paper adsorbent de cuina. S'han preparat, en paral·lel, dissolucions amb aigua destil·lada i aigua de l'aixeta, que després s'han col·locat en plaques de Petri o en recipients domèstics.

No s'han detectat diferències significatives entre les solucions obtingudes mitjançant els dos

medis filtrants diferents. D'altra banda, s'ha observat que la combinació domèstica (aigua de l'aixeta, paper adsorbent per al filtrat i carmanyola) ofereix resultats amb elevada reproductibilitat.

#### 4.3.3. Influència de l'edat de les llavors

S'ha dissenyat un experiment amb compost madur per a preparar una solució sobre la qual fer-hi créixer llavors de créixens de dues edats diferents. En un recipient s'hi ha fet créixer llavors recent comprades i en un altre recipient s'hi ha fet créixer llavors comprades 6 mesos abans. Atès que les llavors noves han presentat més d'un 80 % de germinació en tots els sistemes experimentals i les llavors amb 6 mesos d'antiguitat han presentat menys d'un 50 % de germinació en tots els sistemes, l'edat de les llavors es converteix en una variable crítica d'aquest assaig.

El mateix assaig s'ha repetit un mes després d'obrir el sobre de llavors noves i s'han obtingut els mateixos resultats que quan s'acabava de comprar. Cal determinar, doncs, fins quan es podrà continuar utilitzant aquesta llavor.

## 5. Conclusions

La conclusió general d'aquest treball és que es pot aconseguir elaborar una metodologia simple i econòmica per tal que el compostaire conegui l'estat evolutiu del seu compost. A continuació, es detallen les conclusions assolides per a cada metodologia treballada.

### 5.1. Cromatografia de sòls

- Existeix poca bibliografia relacionada amb aquest assaig, però la referència bibliogràfica Restrepo Rivera, J. i Pinhero, S., 2011, ha resultat força útil.
- El procediment requereix d'un primer tamisat, que es pot efectuar amb una malla d'1,1 cm, que es pot aconseguir en les ferreteries, i un de posterior a nivell de colador domèstic amb uns 2 mm de llum de malla.
- El procediment facilita cromatogrames sensiblement diferents a partir de composts de diferent grau d'estabilitat.
- L'assecat a l'aire de la mostra de compost no impedeix el desenvolupament normal del cromatograma, únicament allarga el temps necessari per a la seva obtenció.
- La quantitat de mostra seca de material necessària per a efectuar l'anàlisi es situa al voltant dels 5 g.
- La metodologia d'addició del dissolvent no ha estat una variable important en l'obtenció del cromatograma; en canvi, la forma en què s'ha agitat posteriorment la dissolució sí que ho ha estat. En aquest sentit, els millors resultats s'obtenen amb agitació manual suau o emprant agitadors orbitals.
- La forma del paper de suport per a la cromatografia no sembla una variable decisiva.
- La quantitat mínima de solució de nitrat de plata al 0,5% que es pot emprar és d'1 mL.

### 5.2. Test d'autoescalfament

- El tamisat requerit per al procediment casolà es pot efectuar amb una malla comercial d'1,1 cm d'orifici, que es pot trobar en la majoria de ferreteries. Amb aquesta malla, el mètode proporciona una excel·lent reproductibilitat.
- La ubicació del muntatge experimental és clau i té influència sobre el càlcul de la variació de la temperatura. La temperatura ambiental s'haurà de prendre unes 3 hores abans de prendre la temperatura del compost, en el cas d'estar ubicat a l'exterior, i unes 6 hores si és a l'interior.

- Les hores de menor temperatura del material són més adients per a prendre com a referència.
- Ajustant les condicions del mètode, es podria arribar a tenir una aproximació a l'estabilitat del material poc abans de les 24 h d'experiment.
- La compactació del material en el recipient casolà no afecta els resultats quan l'experiment es realitza a l'interior, però els millora substancialment quan s'efectua a l'exterior.

### 5.3. Test de germinació

- El test de germinació a nivell casolà proporciona informació sobre la idoneïtat d'aplicació del compost assajat. En augmentar el percentatge de llavors germinades, menys fitotoxicitat presentarà el material.
- Aquest test es pot efectuar amb medis casolans com aigua de l'aixeta, paper de cuina adsorbent i recipients plàstics, amb una bona reproductibilitat.
- L'edat de les llavors afecta de manera important els resultats de l'assaig.

## 6. Recomanacions

- Caracteritzar el cromatograma pel que fa a la tipologia de compostos químics presents en cada compost.
- Determinar el marge de temps que cal per assecar la mostra que després s'utilitzarà en la tècnica cromatogràfica.
- Construir una taula d'horaris, incloent diferents èpoques de l'any, per a l'obtenció dels resultats en el test d'autoescalfament.
- En el test de germinació cal estudiar diferents tipus de llavor i el seu període d'utilització.

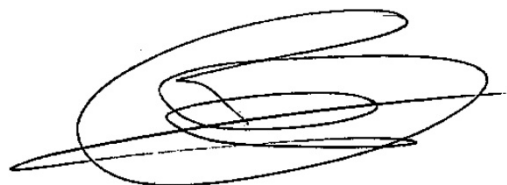
## 7. Bibliografia

- California Compost Quality Council (CCQC), 2001. *Compost Maturity Index*. Technical Report, Juny 2001. [www.ccqc.org](http://www.ccqc.org)
- Haßold-Piezunka, N. Eignung des Chroma-Boden-Tests zur Bestimmung von Kompostqualität und Rottegrad. Fakultät V - Mathematik und Naturwissenschaften, 2003.
- Haug, R.T. The practical handbook of compost engineering. BocaRaton [Fla.] Lewis Publishers Inc. 1993.
- Restrepo Rivera, J. i Pinhero, S., 2011. Cromatografía: Imágenes de vida y destrucción del suelo.
- Rudé, E. i Torres, R., 2008. Avaluació de diferents models de compostadors domèstics. Exp. 255/07. Doc. 1552/07. Entitat Metropolitana de Serveis Hidràulics i de Tractament de Residus (EMSHTR). Disponible en: <http://www.amb.cat/web/emma/publicacions/tecnic>
- Zucconi, F., Pera, A., Forte, M. i de Bertoldi, M., 1981. Evaluating toxicity of immature compost BioCycle, 22, 54-57.

A Barcelona, el 15 de setembre de 2012, els directors del treball hi donen el seu vist-i-plau



Dra. Elisabet Rudé i Payró



Dr. Ricard Torres Castillo

Profs. Titulars del Departament d'Enginyeria Química