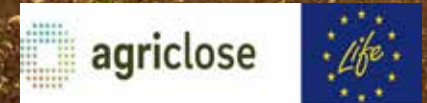


Guia per al compostatge en granja de dejeccions ramaderes

Rafaela Cáceres
Joan Parera



Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica,
Alimentació i Agenda Rural



Autors dels continguts:

Rafaela Cáceres Reyes – IRTA (Rafaela.caceres@irta.cat)

Joan Parera Pous – DACC (jparera@gencat.cat)

Aquest treball s'ha de citar com:

Caceres, R. i Parera, J. (2022) Guia per al compostatge en granja de dejeccions ramaderes. Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural (DACC), Barcelona, 108 pàgines.

Finançament:

Aquesta guia ha estat cofinançada pel DACC i pel projecte LIFE AGRICLOSE (LIFE17 ENV/ES/000439). Les dades que apareixen en aquesta guia s'han obtingut gràcies al projecte LIFE AGRICLOSE, al DACC i a l'IRTA.

© 2022, Generalitat de Catalunya

Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural

Edita: Servei de Sòls i Gestió Mediambiental de la Producció Agrària (DACC)

1a edició: Desembre de 2022

Fotografies: DACC, IRTA, Shutterstock, PhotoDisc i col·laboradors

Disseny: grafic.info



CC BY NC ND

Aquesta obra és d'ús lliure, però està sotmesa a les condicions de llicència pública Creative Commons. Es pot reproduir, distribuir i comunicar l'obra sempre que se'n reconegui l'autoria i l'entitat que la publica i no se'n faci un ús comercial ni cap obra derivada. Es pot trobar una còpia completa dels termes d'aquesta llicència a l'adreça: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/>

RESUM EXECUTIU

En un context actual en què els governs, les empreses, el sector agrari i la societat en general posen cada cop més atenció a la sostenibilitat, sembla rellevant posar èmfasi en aquelles actuacions que redueixin els residus, facin un millor ús dels recursos i que vetllin sobre una economia circular. En aquest sentit, el compostatge és considerat com un sistema de tractament aplicable a les dejeccions ramaderes que resulta senzill d'implementar i amb el qual s'obtenen productes de bona qualitat i alt valor per a l'agricultura. Aquesta guia recull informació pràctica sobre la implementació de compostatge a les explotacions ramaderes, amb exemples sobre cosubstrats que es poden utilitzar, característiques de les instal·lacions, així com experiències de compostatge en granja que ja es troben en funcionament.

EXECUTIVE SUMMARY

In a current context where governments, enterprises, the agrarian sector and the society are more interested to sustainability, it seems relevant to pay special attention to emphasize on actions that reduce waste generation, improve the resources efficiency and implement the circular economy. In that sense, composting is considered as a feasible manure treatment easy to implement and which offers a final product with high quality and value to the agriculture. This guide provides with practical information to install composting treatments at livestock farms, by including examples of co-substrates materials, installations characteristics, as well as real experiences of farm composting which are already operative.

Presentació

En els darrers anys, el sector agrícola i ramader català ha fet grans passos en la seva reestructuració i modernització, millorant la seva eficiència, producció i competitivitat, fins a esdevenir un element clau per la vertebració del territori. Alhora, s'ha apostat per adaptar les explotacions a les exigències de la societat actual, que passen per la protecció del medi ambient i la reducció de l'empremta ecològica.

Aquesta major consciència social envers la sostenibilitat obliga a establir un model de gestió de la fertilització més eficient, de base circular, on cobra especial importància la recuperació de nutrients provinents de les dejeccions ramaderes, amb l'objectiu de donar-los una sortida comercial com a fertilitzants orgànics d'alt valor afegit.

D'altra banda, els preus de referència internacionals dels fertilitzants han augmentat molt darrerament, fins arribar als seus màxims històrics. Davant d'un context d'emergència climàtica i d'escassetat i competència per les matèries primeres, cal preparar-se perquè en el futur aquesta tendència a l'alça no comprometi la producció estable d'aliments.

En aquest escenari, el compost és una alternativa excel·lent per fertilitzar els camps i substituir en gran part l'ús dels adobs de síntesi. S'ha de tenir en compte que el compost no solament té la funció de proporcionar nutrients a les plantes, sinó que també millora, a diferència dels fertilitzants minerals, les propietats i característiques físiques, químiques o biològiques del sòl. En altres paraules, actua com una esmena orgànica.

D'altra banda, una característica important que s'obté amb el sistema de compostatge és la higienització i estabilització del material compostat, afavorint la reducció de problemes sanitaris i de males herbes en la gestió de les dejeccions com a fertilitzant. En el procés de compostatge també es produeix una important reducció del volum i per tant, es concentren els nutrients, afavorint la seva exportació des de zones d'alta concentració ramadera.

Pels motius anteriors, cal fomentar l'obtenció d'aquest compost a les mateixes granges: una estratègia dins del marc agrari que comporta l'ús de productes de proximitat, i que suposa a més a més una reducció important de les emissions.

Tot i que es tracta d'un sistema encara poc estès en el sector ramader, des del punt de vista científic a Catalunya s'hi ha treballat força, havent-se desenvolupat des de fa molts anys nombrosos estudis i assajos i, en conseqüència, s'ha adquirit un ampli coneixement sobre aquest sistema de tractament. Aquesta guia pretén ser una eina per a transmetre aquest coneixement i posar-lo a disposició del personal tècnic, dels titulars de les granges i de la resta de persones interessades en el sistema de compostatge de dejeccions en origen.

Per això, hi trobareu informació sobre els materials que es poden utilitzar, les característiques de les instal·lacions, la descripció de les accions i etapes del procés els requisits a nivell normatiu i, inclús, detalls de diverses experiències de compostatge en granja que ja es troben en funcionament a Catalunya,

Es tracta doncs, d'una guia molt completa que desitjo que pugui ser útil per la coneixença d'aquest model de tractament, però també per incentivar la seva implantació i continuar avançant cap a una agricultura i una ramaderia encara més sostenible i respectuosa envers els recursos naturals.



Elisenda Guillaumes Cullell

Directora general d'Agricultura i Ramaderia



Plantació de fruiters

Índex

1 Propòsit d'aquesta guia	7		
Context	7		
2 Materials per a ser compostats en granja i les seves barreges	10		
2.1 Dejeccions ramaderes	10		
2.1.1 Definició	10		
2.1.2 Classificació	10		
2.1.3 Característiques físiques i químiques	14		
2.1.3.1 Paràmetres per a la caracterització	14		
2.1.3.2 Característiques químiques, fisicoquímiques i físiques de les dejeccions	17		
2.1.4 Característiques de les dejeccions sòlides respecte d'altres materials orgànics	19		
2.2 Materials estructurants complementaris	20		
2.2.1 Definició	20		
2.2.2 Tipus	20		
2.2.3 Característiques físiques i químiques	22		
2.3 Complementarietat i homogeneïtat: barreges	25		
2.3.1 Barreges amb materials estructurants	25		
2.3.2 Barreges entre materials principals	27		
3 Teoria i pràctica del compostatge	28		
3.1 Concepte de compostatge	28		
3.1.1 Definició general	28		
3.1.2 El compostatge com a "procés de processos"	30		
3.2 Avantatges del compostatge	31		
3.3 El control del procés: temperatura, humitat i nivell d'oxigen	33		
3.3.1 Temperatura	33		
3.3.2 Humitat	34		
3.3.3 Oxigen	35		
3.4 Les accions a realitzar	36		
3.4.1 L'aireig: passiu, volteig i ventilació	36		
3.4.2 La humectació	37		
3.4.3 Instal·lacions, maquinària i dispositius	38		
3.5 Sistemes de compostatge	43		
3.6 De la teoria a la pràctica	45		
3.6.1 Lloc	45		
3.6.2 Dimensions de les piles i el seu maneig	45		
3.6.3 Barreja: condicionament de les dejeccions, complementarietat de característiques i homogeneïtat	46		
3.6.4 Etapes del procés	47		
3.6.5 Gestió del procés	48		
3.6.5.1 Controls	48		
3.6.5.2 Accions de conducció del procés	49		
3.6.5.3 Monitorització del procés	50		
3.6.5.4 Gestió de problemes en el maneig del compostatge	51		



3.7	Com es va transformant el compost: exemple de la fracció sòlida del purí de vaquí	53	5	Requisits normatius per a realitzar compostatge en el marc agrari	88
3.7.1	Gestió (paràmetres de control, accions) i reducció de volum	54	5.1	Instal·lacions: condicions mínimes	88
3.7.2	Característiques fisicoquímiques	57	5.2	Rendiments mínims acceptables	89
3.7.3	La matèria orgànica i la seva estabilitat	60	5.3	Seguiment del procés	90
3.8	Emissions generades durant el compostatge	63	6	Comercialització del compost	92
3.8.1	Origen i tipus	63	6.1	Destí del compost	92
3.8.2	Evitació i gestió de les emissions	66	6.2	Comercialització del compost com a producte fertilitzant	93
3.9	Mesures de seguretat i higiene	70	7	Documentació citada i/o complementària	97
4	Experiències de compostatge en granja a Catalunya	71	7.1	Documents preexistents sobre dejeccions sòlides i/o compostatge	97
4.1	Experiència a)	71	7.2	Altres referències	98
4.2	Experiència b)	75		Glossari d'acrònims i abreviacions	100
4.3	Experiència c)	78		Índex de fotografies	102
4.4	Experiència d)	82		Índex de taules	103
4.5	Promoció del compostatge en cooperativa	86		Índex d'esquemes	105
				Índex de figures	105
				Agraïments	106

1 Propòsit d'aquesta guia

Context

Catalunya produeix anualment més de dos milions de tones de carn (entre porcí, boví, oví, caprí, equí, aviram i conill) i cent milions de dotzenes d'ous, essent una de les zones de producció més importants d'Europa (la segona el 2017), i del món en el cas del porcí, on se situa en el 10è lloc (PRODECA, 2021). En conseqüència, l'activitat productiva genera una gran quantitat de dejeccions ramaderes.

Una part d'aquestes dejeccions són potencials matèries primeres per ser compostades. De fet, considerant un 60% dels fems, de les gallinasses i de la fracció sòlida dels purins, la quantitat de dejeccions a compostar a Catalunya se situaria al voltant de 2,8 milions de tones.

Les dades anteriors prenen especial rellevància en el context actual, d'emergència pel canvi climàtic (CC), en el qual cal vetllar per minimitzar la dependència de matèries primeres externes i promoure una ramaderia i agricultura circulars, amb alternatives com el tractament dels materials orgànics i de les dejeccions ramaderes. Així és que el Parlament de Catalunya va aprovar la Llei 16/2017, de l'1 d'agost, del canvi climàtic, amb l'objectiu, entre d'altres, d'afavorir la transició cap a una economia baixa en carboni i esdevenir un país capdavanter en la investigació i aplicació de noves tecnologies.



Apilament temporal de compost a camp

D'altra banda, en condicions mediterrànies, el CC pot accelerar el deteriorament d'un recurs essencial com és el sòl fèrtil, tal i com alerten informes d'experts (EIP-AGRI, 2015). En aquest sentit, una de les mesures que cal promoure és l'aplicació al sòl dels materials orgànics agrícoles un cop transformats. La necessitat de tractament dels subproductes orgànics serà funció del cas particular i també de l'aplicació final del producte tractat.

Tipus de materials orgànics i altres tractaments

Les dejeccions ramaderes, a part de la seva disponibilitat en bona part del territori per a ser emprades com a fertilitzant i com a esmena orgànica, tenen més avantatges. En primer lloc, són un producte conegut i proper als agricultors. D'altra banda, es tracta d'un material normalment lliure d'impropis i amb un nivell de contaminació intrínseca baix o relativament baix.

En funció de les necessitats del territori i les particulars segons tipus de cultiu i estat del sòl, les dejeccions s'haurien de tractar convenientment. A Catalunya, cal tindre en compte el Decret 153/2019, de gestió de la fertilització del sòl i de les dejeccions ramaderes. En paral·lel, recentment, s'ha publicat una Guia per al tractament de les dejeccions ramaderes (Prenafeta i Parera, 2020).

El compostatge és el tipus de tractament de les dejeccions

ramaderes que requereix menys inversions i, probablement, el més estès. Amb aquesta guia es pretén facilitar informació teòrica i pràctica al personal tècnic de granges o cooperatives, associacions, ramaders o agricultors que vulguin dur a terme aquesta pràctica.

Compostatge en origen, en granja o descentralitzat

Les instal·lacions de compostatge en forma de plantes mitjanes o grans distribuïdes arreu de territori només es justifiquen, des d'un punt de vista tècnic i econòmic, quan el volum de material a tractar és molt gran. Altrament, cal promoure el compostatge de les dejeccions ramaderes en origen: a la pròpia granja o de manera adjacent, també anomenat en aquesta guia compostatge descentralitzat o compostatge en granja (en origen). Aquesta modalitat, en la qual es treballa normalment amb volums de producte relativament petits, s'ha implementat abastament en països com Àustria, i permet reduir el volum i el pes dels materials en origen, així com facilitar la gestió posterior com a fertilitzant. La centralització de plantes en territoris extensos obliga al transport per carretera de grans volums de dejeccions, fet que implicar incrementar l'emissió de gasos d'efecte hivernacle (GEH). La descentralització dels tractaments de compostatge pot suposar una reducció en origen d'aproximadament el 50% del volum de les dejeccions, contribuint, per tant, a disminuir tant les emissions d'aquests

gasos com els costos de transport a les zones d'aplicació final o comercialització. A més a més, el compostatge en origen en el món rural té l'avantatge que les instal·lacions no són gaires costoses (es tracta d'una superfície pavimentada amb recollida de lixiviats), i la maquinària necessària per a implementar-lo ja està disponible en la pròpia granja o bé en el entorn proper (tractor amb pala i remolc escampador de fems).

El compostatge de dejeccions descentralitzat en l'àmbit agrari permet la incorporació de co-substrats o "materials estructurants", com s'anomenen en aquest document. Aquest fet suposa una bona alternativa a l'actual gestió de determinats materials orgànics de naturalesa lignocel·lulòsica, com les restes de poda, tenint en compte que sovint es cremen i aquesta pràctica contribueix a incrementar els nivells de CO₂ a l'atmosfera; per contra, si s'incorporen al compostatge de dejeccions, millora el procés i, a més, la qualitat del



Pila de compost emmagatzemada en granja

compost. La incorporació d'aquesta co-substrats en piles de compostatge millora les condicions del procés, però també té altres avantatges, com la higienització de determinats patògens vegetals que puguin estar presents en les restes vegetals. A més a més, l'aplicació de compost amb restes d'esporga triturades suposa una incorporació de biomassa al sòl que en millora les seves condicions a llarg termini, en incrementar la matèria orgànica estable del mateix.

D'altra banda, cal indicar que la Comunitat Autònoma de València regula el compostatge descentralitzat (Agrocompostatge de proximitat) a través de l'Ordre 4/2022, de 24 de març de 2022 (Generalitat Valenciana, 2022). I el Ministeri està treballant en la regulació de sistemes de compostatge d'origen agrari. En concret, està tramitant el Projecte d'Ordre Ministerial sobre normes generals de valorització de bioresidus i altres residus biodegradables pel seu tractament mitjançant compostatge domèstic, comunitari i agrari.



Vista aèria de les piles de compostatge

2 Materials per a ser compostats en granja i les seves barreges

El compostatge parteix, sempre, de materials orgànics sòlids per a ser transformats. Els materials són “orgànics” perquè contenen una proporció molt alta del que anomenem “matèria orgànica” (MO).

Es parla de “materials sòlids” perquè, per a ser compostats han de poder ser disposats en piles, que és la configuració bàsica.

2.1 Dejeccions ramaderes

2.1.1 Definició

Es coneix com a dejeccions ramaderes els excrements i l'orina que produeixen els animals de granges estabulats. Per extensió, també es considera dejecció el purí que, a part de l'orina i la femta, conté l'aigua de neteja de les naus, així com també es consideren dejeccions ramaderes els fems i les gallinasses barrejades amb el material sobre el qual jeuen els animals, que acostuma a ser palla o serradures.

2.1.2 Classificació

En funció del contingut hídric

Les dejeccions ramaderes es poden classificar en funció del contingut d'aigua que tenen. Aquestes poden ser líquides, quan la humitat és superior al 85% sobre matèria fresca (smf), i en aquest cas s'anomenen purins, o sòlides (menys del 85% d'humitat). Les sòlides es poden classificar en pastoses (80-85% d'humitat) o sòlides estrictament (menys del 80% d'humitat). Aquesta classificació primària permet descriure, en general, la consistència del material, que és clau per a preveure l'aptitud d'unes dejeccions ramaderes concretes per a ser apilades i compostades per elles mateixes (és a dir, sense cap altre material o additiu).

Així doncs, el material principal objecte de compostatge ha de ser de naturalesa sòlida, tot i que els materials orgànics pastosos es poden compostar afegint-hi materials de característiques complementàries, com es veurà més endavant.

En funció de l'espècie ramadera

Normalment, però, les dejeccions ramaderes es classifiquen directament pel tipus de bestiar del qual provenen.

Porcí

A Catalunya, la major part de les dejeccions ramaderes són purins provinents de les granges de porcí. Es tracta de dejeccions normalment líquides, ja que es formen amb l'aigua de la neteja dels compartiments on es troben els animals (normalment en *eslats*). D'aquesta manera, l'orina, els excrements dels porcs i l'aigua de neteja cauen a una fossa on s'acumulen els purins. Des de la fossa, els purins es condueixen a basses on s'emmagatzemen temporalment. Els purins no es poden compostar directament: cal sotmetre'ls a una separació sòlid-líquid per tal d'obtenir la **fracció sòlida**, que reté la major part de la matèria orgànica i nutrients per als cultius, com ara el nitrogen (N) orgànic i el fòsfor (P).

En ramaderia ecològica, en canvi, els animals disposen de material de jaç per a jeure, habitualment palla. En conseqüència, el compostatge d'aquests materials pot fer-se directament, sense haver de realitzar la separació sòlid-líquid, com sí que passaria a la gran majoria d'explotacions del país.



Vaquí

L'orientació productiva de les granges de vaquí és la producció de carn o de llet. Les granges de producció de llet poden generar diferents tipus de dejeccions: fems, purins, fems pre-compostats (al propi estable calent) i també fracció líquida (FL) i fracció sòlida (FS), quan es tracten els purins amb un separador.

Les instal·lacions que tenen configuració de cubicles generen, majoritàriament, purins. Tot i així, aquestes granges també empen material de jaç per a millorar la confortabilitat dels animals. Els separadors sòlid-líquid permeten dividir l'efluent en dues fraccions. En altres tipus d'instal·lacions, quan al terra

de l'estable hi ha jaç (normalment palla o bé serradures) es generen fems, que s'emmagatzemen en femers exteriors a les naus. En algunes granges les dejeccions s'acumulen a la zona de repòs i se'n fa un maneig per a ser compostades in situ, batent-les diàriament per airejar-les amb un arreu motoritzat (normalment una grada rotativa o bé un cultivador).

Per contra, les granges de vaquí per a producció de carn solen generar fems que, com s'ha avançat anteriorment, comprenen els excrements i orina conjuntament amb el material del jaç (palla de cereal, per exemple). Actualment, molt poques explotacions de vaquí de carn generen purins.

Aviram

Les dejeccions de les aus s'anomenen, genèricament, gallinassa. Les gallinasses poden ser una barreja entre les dejeccions i el jaç (gallinassa de broilers, de gallines reposició o de gallines ponedores) o únicament dejeccions de les aus (en cas de gallines ponedores amb gàbies o part de la gallinassa de granges de reproductores). S'ha de tindre present que la gallinassa provinent de ponedores pot contenir restes de closques d'ous; en cas que les gallines tinguin salmonel·losi, pot implicar que en els ous hi hagi presència d'aquest microorganisme que s'hauria de poder eliminar durant el compostatge. Una altra característica que se'n deriva és la major proporció de calci que pot contenir.

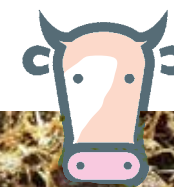
Oví i cabrum

Es tracta d'espècies quantitativament menys importants a Catalunya, i generen dejeccions normalment en forma de fems, ja que els animals estabulats disposen d'un llit de jaç, normalment palla.

Altres espècies

Amb menor importància, hi ha una llarga llista d'altres dejeccions que es generen a Catalunya (de conills, d'èquids, d'oques...). En qualsevol cas, la conducció del procés de compostatge i els paràmetres a controlar són els mateixos que per a les dejeccions majoritàries.





Fotografia 1: Fems de vaquí (jaç de palla)



Síntesi de terminologia habitual

Independentment de la classificació en funció de l'espècie de bestiar que genera les dejeccions, els termes que s'empren per a referir-se a aquelles que es poden compostar són:

- ▶ **Fems** (Fotografia 1): Excrements i orina de bestiar, normalment barrejada amb el material del jaç. Terme aplicat normalment a les dejeccions de vaquí de carn o de llet i de les ovelles. En el cas de les dejeccions de porcí produït en sistema ecològic també es tractaria de fems, ja que s'hi addiciona normalment el jaç.
- ▶ **Fracció sòlida de purí** (Fotografia 2): Material sòlid resultant d'un tractament de separació de purí de porcí o de vaquí de llet.
- ▶ **Gallinassa** (Fotografia 3): Excrements d'aviram, amb o sense jaç.

A més a més, hi ha dejeccions ramaderes estabilitzades que també poden ser compostades, com per exemple les fraccions sòlides dels digestats provinents de la digestió anaeròbica dels purins. A través del compostatge, l'objectiu en aquest cas seria acabar d'estabilitzar els materials i acabar d'higienitzar-los (si al digestor no s'haguessin assolit temperatures termòfiles). També s'hi produïrien altres processos d'humificació i de transformació de formes nitrogenades.



Fotografia 2: Fracció sòlida de purí de porcí



Fotografia 3: Gallinassa (amb jaç)



2.1.3 Característiques físiques i químiques

L'objectiu d'aquest apartat és descriure les característiques principals de les dejeccions ramaderes sòlides. En primer lloc, es defineixen els paràmetres que s'utilitzen per a diferenciar-les. En segon lloc, es mostren unes taules elaborades a partir d'un recull de dades de diverses fonts, on s'inclou informació sobre la caracterització química i física de diferents tipologies de dejeccions, en funció de l'espècie i el tipus de maneig de la granja, entre d'altres.

2.1.3.1 Paràmetres per a la caracterització

La majoria d'aquests mètodes van ser sistematitzats, adaptats i aplicats (per a nombrosos treballs de finals de carrera o de grau, durant varies dècades) per al compostatge de qualsevol tipus de subproducte a l'Escola Superior d'Agricultura de Barcelona (ESAB) (Huerta i col., 2010).

Característiques químiques

Matèria orgànica (MO) i el seu grau d'estabilitat (GE)

Des del punt de vista de l'anàlisi química, la MO és la fracció d'una mostra seca que es volatilitza a una temperatura de 470°C durant, com a mínim, 4 hores (o a 560°C durant 3 hores, si és que no cal determinar més elements sobre les cendres) (Huerta i col., 2010).

Les dejeccions ramaderes sòlides fresques, o acumulades en el

femer, bassa o fossa recentment, es caracteritzen per contenir un elevat contingut de matèria orgànica (MO), normalment superior al 85 % (sobre matèria seca).

De fet, la matèria seca dels excrements conté les restes, digerides o no, dels aliments ingerits pel bestiar (pinso, farratges, ensitjats...), que tenen un elevat contingut de fibres, especialment en el cas dels remugants. Per això, una part important de la MO de les dejeccions està constituïda per fibres (cel·lulosa, hemicel·lulosa i lignina). La matèria orgànica també comprèn altres tipus de compostos orgànics com ara proteïnes i polisacàrids no estructurals.

En compostatge, és habitual identificar la part de la matèria orgànica més recalcitrant a través del grau d'estabilitat de la matèria orgànica (GE). Per a fer-ho, se sotmet una mostra del material a un àcid fort, relativament diluït, en fred i, posteriorment, en calent. La part de la matèria orgànica resistent a aquests tractaments amb àcid determina el GE. Les dejeccions fresques tenen, en general, un grau d'estabilitat intermedi, ja que bona part de la matèria orgànica està constituïda per compostos lignocel·lulòsics que són recalcitrants.

Matèria mineral

Des del punt de vista de l'anàlisi química, la matèria mineral és la fracció que resta després d'incinerar una mostra seca a 470°C durant poques hores. De cara a la fertilització dels cultius, en aquesta fracció s'hi trobaran els macronutrients P,

K, Ca, Mg, S, i els micronutrients Fe, Zn, Cu, Mn. També hi haurà els metalls pesants Hg, Pb, Cr i Ni.

Nitrogen

A les dejeccions ramaderes, el nitrogen es troba en forma orgànica o mineral.

La forma nitrogenada predominant en les dejeccions sòlides és l'orgànica (Norg) i normalment es determina mitjançant una digestió Kjeldahl i una destil·lació (o elèctrode selectiu d'amoníac). Dintre de les formes de Norg, també hi ha el nitrogen no hidrolitzable (Nnh), que és la part del N més recalcitrant i que es determina, en part, a partir de l'anàlisi del GE.

En relació amb les formes nitrogenades minerals, el N pot trobar-se en forma totalment reduïda (N-amoniacal, és a dir, $N-NH_4^+$), parcialment oxidada (N-nitrit, és a dir, $N-NO_2^-$) i totalment oxidada (N-nítric, és a dir, $N-NO_3^-$). Cal realitzar un extracte aquós de la mostra fresca del producte per a determinar aquestes formes minerals (excepte pel N-amoniacal total). El N amoniacal soluble en aigua es pot determinar sobre el mateix extracte aquós. Els mètodes habituals per a analitzar-les són: cromatografia iònica (N-Nitrit i N-Nitrat), elèctrodes selectius (N-nitrat i N-amoniacal soluble) o destil·lació (N-amoniacal total).

Relació C/N

Aquesta relació s'ha emprat de manera habitual per a la caracterització de les dejeccions ramaderes. Indica la relació entre la matèria orgànica del material i el seu contingut de N. El C es pot determinar en laboratori o bé es pot calcular emprant l'expressió $C = 0,58 * MO$ (% sobre matèria seca). Normalment, les dejeccions ramaderes sòlides presenten una relació C/N relativament baixa per a ser compostada; però pot augmentar sensiblement amb l'addició de materials estructurants.

Propietats fisicoquímiques (pH i salinitat)

El pH i la salinitat (mesurada en termes de conductivitat elèctrica-CE) es determinen amb un pH-metre i un conductímetre, respectivament, sobre un extracte aquós. Es pot utilitzar el mateix que s'ha fet servir per a determinar les diferents formes solubles i minerals del nitrogen. Els fems, i les dejeccions en general, acostumen a tenir un pH neutre o relativament bàsic. La salinitat, en canvi, és força elevada.

Propietats físiques

Humitat

Com s'ha esmentat anteriorment, la humitat és una característica fonamental de les dejeccions i és clau per a determinar la seva aptitud per a compostar-se. Una humitat molt elevada d'una dejecció sòlida pot ser indicatiu d'una consistència pastosa del producte que impediria el seu apilament, i per tant, que es pogués compostar.

Actualment, la manera estandarditzada de conèixer la humitat del material és a través de l'asseccament d'una mostra en una estufa de laboratori a 105°C. Aquest mètode té l'inconvenient que té un temps de resposta relativament alt (més de 24 hores).

A les taules del següent apartat es mostren exemples del contingut d'humitat de diferents tipus de dejeccions.

Altres propietats físiques

Les propietats físiques densitat aparent (Dap), densitat real (Dr), porositat (EPT), capacitat d'aireig (CA) i capacitat de retenció d'aigua (CAIG) es poden determinar amb diversos mètodes. Un d'ells és el desenvolupat per Inbar (1989) a per dejeccions ramaderes, i que també s'ha aplicat per a materials estructurants (Cáceres, 2003). La determinació de l'espai porós total, la capacitat d'aireig i la capacitat de retenció d'aigua contribueixen a determinar si els materials amb els quals es treballa són més aviat retentius d'aigua o proporcionen aireig al material. La densitat aparent i la real també ajuden a caracteritzar els productes des d'un punt de vista físic (Cáceres, 2003), particularment, permeten calcular les relacions de volum-pes o pes-volum dels materials, necessàries per exemple, de cara la venda del compost.

2.1.3.2 Característiques químiques, fisicoquímiques i físiques de les dejeccions

A la Taula 1 es mostren dades de característiques químiques de diferents tipus de dejeccions ramaderes sòlides. Tal i com s'ha exposat anteriorment, es pot comprovar que el contingut de matèria orgànica és elevat, pràcticament sempre per sobre del 80%. El grau d'estabilitat de la matèria orgànica és més variable, i en general, moderat.

Específicament, la gallinassa (amb o sense jaç), conté una major proporció de N orgànic. Pel que fa a les dejeccions sotmeses a un tractament de separació, cal dir que les fraccions sòlides

presenten concentracions més altes de N, i en general de nutrients, tot i que la distribució de major part dels nutrients és més elevat a les fraccions líquides. Aquesta distribució dependrà de la tecnologia i maneig del separador i de l'estat del purí. (a la Taula 1 es comprova en el cas del vaquí, ja que les dejeccions de porcí són pràcticament sempre purins).

El N orgànic no hidrolitzable acostuma a ser menor de 0,8 (sobre matèria seca).

Per últim, cal destacar que la relació C/N de les dejeccions és baixa, en general, especialment en el cas de la gallinassa.

Taula 1. Composició de diferents dejeccions ramaderes sòlides en relació a la matèria orgànica, el seu grau d'estabilitat, formes nitrogenades orgàniques (N orgànic total i N no hidrolitzable) i relació C/Norg

Llegenda:

nd: no determinat
Norg: nitrogen orgànic
Nnh: nitrogen no hidrolitzable
smf: sobre matèria fresca
sms: sobre matèria seca
smo: sobre matèria orgànica

Font:

1. Cáceres, 2003; Cáceres i col., 2006
 2. Cáceres i col., 2021
 3. mitjana de 42 mostres de fems de vaquí amb jaç de palla Base de dades analítiques del DACC, 2021
 4. Resultat de les mostres del seguiment del Centre de Sanitat Avícola de Catalunya i Aragó - CESAC (239 mostres)

	Matèria orgànica (MO)	Grau d'estabilitat (GE)	Norg	Nnh	C/Norg
	%, sms	%, smo	%, sms	%, sms	-
Fems de vaquí, jaç de palla ³	74,71	nd	2,82	nd	15,66
Fems de vaquí, d'engreix, jaç de palla ¹	81,10	nd	2,10	nd	22
Fracció sòlida de purí de vaquí ¹	92,40	27,20	1,40	0,50	39
Fracció sòlida de purí de porcí-1 ²	87,20	23,72	1,55	0,54	32,70
Fracció sòlida de purí de porcí-2 ²	84,09	40,60	2,00	0,70	25,90
Gallinassa sense jaç ⁴	64,31	nd	4,58	nd	9,55
Gallinassa de pollastres amb jaç ⁴	82,01	nd	3,33	nd	14,27

Pel que fa a les mesures de laboratori realitzades sobre extracte aquós (Taula 2), es pot comprovar que normalment el pH de les dejeccions sòlides és lleugerament alcalí. La conductivitat elèctrica acostuma ser elevada, excepte en les fraccions sòlides (especialment de vaquí) on és relativament baixa degut a l'efecte de dilució que comporta la separació, en la qual moltes sals es mobilitzen cap a la fracció líquida. En canvi, en el cas de la gallinassa, la conductivitat elèctrica és molt alta.



El N amoniacal també és alt, normalment, mentre que el contingut de nitrits o nitrats sol ser nul o baix en la majoria de casos.

Taula 2. Composició de diferents dejeccions ramaderes sòlides en relació a pH, la Conductivitat elèctrica (CE), el $N-NH_4^+$ soluble i el nitrogen en forma de nitrit i nitrat

	pH	Conductivitat elèctrica (CE)	$N-NH_4^+$ soluble	$N-NO_2^-$	$N-NO_3^-$
	-	dS/m	mg/kg, sms	mg/kg, sms	mg/kg, sms
Fems de vaquí jaç de palla ³	8,64	5,20	658	nd	17,29
Fems de vaquí d'engreix, jaç de palla ¹	8,20	7,7	6.350	nd	513
Fracció sòlida de purí de vaquí ¹	7,70	0,80	11	nd	91
Fracció sòlida de purí de porcí-1 ²	8,34	4,18	5.854	0	0
Fracció sòlida de purí de porcí-2 ²	8,09	1,64	5.646	0	0
Gallinassa sense jaç ⁴	nd	8,52	2.166	nd	nd
Gallinassa de pollastres amb jaç ⁴	nd	nd	949	nd	nd

Llegenda:

nd: no determinat
sms: sobre matèria seca
smo: sobre matèria orgànica
N-NH₄⁺: nitrogen amoniacal soluble
N-NO₂⁻: nitrogen en forma de nitrit
N-NO₃⁻: nitrogen en forma de nitrat

Font:

1. Cáceres, 2003; Cáceres i col., 2006
 2. Cáceres i col., 2021
 3. DACC, 2021
 4. Resultat de les mostres del seguiment del CESAC (239 mostres)

Les dades en relació amb les propietats físiques (Taula 3), indiquen que la humitat de les dejeccions és alta o molt alta, com s'ha advertit anteriorment. Concretament, les fraccions sòlides resultants d'un tractament de separació de fases acostumen a tindre'n nivells superiors que els fems, però depèn del maneig i les característiques dels estables.

La porositat total d'aquests materials també acostuma a ser força elevada, i, normalment, la capacitat de retenció d'aigua és superior que la d'aireig. La densitat real es troba entre 1,5 i 1,9 g/cm³, mentre que l'aparent se situa entre 0,05 i 0,16 g/cm³.

2.1.4 Característiques de les dejeccions sòlides respecte d'altres materials orgànics

Les dejeccions ramaderes són prou conegudes pels agricultors que necessiten aplicar esmenes orgàniques al sòl, ja que les granges es localitzen en ambients rurals, a prop dels terrenys on s'apliquen els productes (en forma de fems o compost).

Un altre avantatge que tenen respecte d'altres materials orgànics és que les dejeccions ramaderes, gairebé sempre, són materials lliures d'impropis, comparant-los, per exemple, amb altres de generació massiva i que requereixen selecció en origen, com la fracció orgànica dels residus municipals (FORM).

En aquest cas, és més difícil assegurar la qualitat del producte

Taula 3. Propietats físiques de diferents dejeccions ramaderes sòlides

Llegenda:

smf: sobre matèria fresca

EPT: espai porós total

CA: capacitat d'aireig

CAIG: capacitat de retenció d'aigua

Dap: densitat aparent

Dr: densitat real

nd: no determinat

Font:

1. Cáceres, 2003; Cáceres i col., 2006

2. Cáceres i col., 2021

	Humitat	EPT	CA	CAIG	Dap	Dr
	%, smf	%, volum	%, volum	%, volum	g/cm ³	g/cm ³
Fems de vaquí, jaç de palla	71,61	nd	nd	nd	nd	nd
Fems de vaquí d'engreix, jaç de palla ¹	68,00	91,00	23,50	67,50	0,157	1,90
Fracció sòlida de purí de vaquí ¹	82,00	95,90	43,30	52,60	0,07	1,70
Fracció sòlida de purí de porcí-1 ²	71,43	90,36	24,66	65,70	0,15	1,58
Fracció sòlida de purí de porcí-2 ²	84,09	91,50	14,68	76,83	0,14	1,62
Gallinassa sense jaç	67,50	nd	nd	nd	nd	nd

final en termes de presència d'elements impropis, a no ser que s'asseguri la correcta selecció en origen de les restes orgàniques. No obstant, sempre s'ha de tenir en compte que hi ha alguns productes o estris (com els emprats en els controls veterinaris) que poden ser presents als estables i barrejar-se amb les dejeccions.

Dos elements potencialment contaminants que poden contenir les dejeccions ramaderes són el coure i el zinc, provinents de pinsos rics en ambdós micronutrients. Tot i ser micronutrients i per tant, elements fertilitzants, la normativa regula la concentració d'aquests elements en el compost. Es preveu que en un futur proper la normativa relacionada amb l'alimentació animal canviï i sigui molt més restrictiva en la seva presència en les dietes del bestiar.

Un altre contaminant que pot ser present en les dejeccions són els antibiòtics: una part no s'absorbeixen pel corrent sanguini dels animals i resten en les dejeccions. Es tracta de compostos sintètics orgànics que poden eliminar-se, en un elevat percentatge, durant el compostatge (Ezzaria i col., 2018; Zhang i col 2019). De fet, en algun estudi realitzat a Catalunya amb fracció sòlida de purí de vaquí, s'ha observat que el compostatge tindria una eficàcia moderada-alta per reduir la concentració d'antibiòtics i també la d'alguns altres fàrmacs (Osorio i col 2021).

2.2 Materials estructurants complementaris

2.2.1 Definició

Els materials estructurants per al compostatge són productes de naturalesa orgànica que tenen característiques complementàries als materials principals (en el cas que ens ocupa, les dejeccions ramaderes sòlides). En anglès, de manera clàssica s'ha emprat la terminologia "bulking", ja que una funció fonamental d'aquests productes és incrementar la porositat i la capacitat d'aireig de la matriu sòlida.

A continuació, es mostren els tipus d'estructurants més habituals en el compostatge de les dejeccions ramaderes, que són: la palla de cereal d'hivern (Fotografia 4), la palla de blat de moro (Fotografia 5), el triturat de restes d'esporga d'arbres fruiters (Fotografia 6) i el triturat d'arbres (Fotografia 7).

2.2.2 Tipus

Pràcticament tots els materials estructurants que s'empren en compostatge són d'origen vegetal i de naturalesa lignocel·lulòsica. Tot i que normalment no s'agrupin, es podrien classificar en restes d'origen vegetal (provinents d'espècies herbàcies o arbustives i restes vegetals) i restes d'origen industrial-agroforestal (serradures d'arbrat triturat o restes d'esporga).

Fotografia 4: Material estructurant: palla de cereal d'hivern



Fotografia 6: Material estructurant: triturat d'esporga de perera



Fotografia 5: Material estructurant: palla de blat de moro (panís)



Fotografia 7: Material estructurant: triturat d'arbres



Hi ha dejeccions ramaderes que ja inclouen els materials estructurants, com en el cas dels fems en què, com s'ha indicat anteriorment, s'incorpora el material de jaç del bestiar (normalment restes de palla de cereal o bé serradures). No obstant, alguns tipus de dejeccions, com la fracció sòlida del purí porcí, necessitarien una addició de material estructurant per a ser compostades. Segons la realitat productiva o tipus de paisatge de la comarca en què es vulgui impulsar el compostatge en granja, hi haurà una disponibilitat diferent de materials orgànics estructurants. Per exemple: restes d'esporga d'arbres fruiters de pinyol o llavor, restes d'esporga d'olivera, palla de blat de moro (panís) o d'altres cereals. Entre altres materials menys comuns s'hi troben clofolles de fruita seca, serradures, encenalls, etc.

2.2.3 Característiques físiques i químiques

De manera resumida, els materials estructurants que es barregen amb les dejeccions es caracteritzen per ser productes amb poca humitat, amb porositat elevada i amb una alta capacitat d'aireig (tot i que aquest paràmetre depèn de la granulometria o de la mida dels trossos de material llenyós triturat). A nivell de nutrients, la concentració és, en general, baixa, amb un increment de la relació K/N respecte a la dejecció sòlida.

D'altra banda, tal i com es mostra a la Taula 4, els materials estructurants presenten una elevada concentració de carboni, amb percentatges de matèria orgànica superiors

Taula 4. Composició de diferents materials estructurants en relació a la matèria orgànica, el seu grau d'estabilitat, formes nitrogenades orgàniques (N orgànic total i N no hidrolitzable) i relació C/Norg

Llegenda:

nd: no determinat
 smf: sobre matèria fresca
 sms: sobre matèria seca
 smo: sobre matèria orgànica
 Norg: nitrogen orgànic
 Nnh: nitrogen no hidrolitzable

Font:

1. Cáceres, 2003; Cáceres i col., 2006
 2. Cáceres i col., 2021, Dades LIFE AGRICLOSE
 3. Cáceres i col, 2015a
 4. DACC, 2021
 5. Cáceres i Puerta, 2022. Dades LIFE AGRICLOSE

	Matèria orgànica (MO)	Conductivitat elèctrica (CE)	Norg	Nnh	C/Norg
	%, sms	%, smo	%, sms	%, sms	-
Restes d'esporga de jardineria ³	81,30	nd	0,59	nd	79
Restes d'esporga de presseguer ²	95,80	30,11	0,90	0,52	61
Triturat d'arbrat ⁵	90,72	nd	0,51	nd	103
Restes d'esporga de perera ⁵	96,12	32,43	0,82	0,40	67
Restes de pi ¹	92,80	39,20	0,74	0,30	73
Palla de cereal ⁵	90,10	nd	0,42	nd	124
Palla de panís ²	93,18	28,09	0,69	0,39	78

al 80% (essent-ne una bona part recalçitrant). En canvi, la concentració de nitrogen orgànic és baixa, de manera que la relació C/Norg és força elevada (superior a 60). Es pot observar que el grau d'estabilitat de la matèria orgànica (GE) es troba al voltant del 30% sobre matèria orgànica (smo), mentre que el Nitrogen orgànic no hidrolitzable presenta valors propers a 0,5 i representa, aproximadament, la meitat del N orgànic.

La Taula 5 recull informació d'altres materials que s'empren com a jaç en granges avícoles, que van ser caracteritzats pel que fa a la matèria seca (paràmetre complementari a la humitat), la matèria orgànica, el N amoniacal i l'orgànic, i també el fòsfor i el potassi. Es pot comprovar que el percentatge de matèria orgànica és superior al 85% i que el percentatge de matèria seca també és alt (i per tant, la humitat és força baixa, al voltant del 10%). El contingut de nitrogen orgànic es troba al voltant del 0,4%, mentre que el N amoniacal representa, aproximadament, el 10% d'aquest N orgànic. En aquest cas també es van analitzar el P i el K, que van trobar-se en

concentracions baixes, especialment en les serradures i els encenalls de fusta.

Els materials estructurants tenen un pH relativament baix, tal i com es mostra a la Taula 6. La salinitat, mesurada en termes de conductivitat elèctrica, és força baixa, excepte en el cas de les restes d'esporga de jardineria. El N amoniacal és relativament baix en els materials més llenyosos, mentre que els que contenen més proporció de fulles (estructurants més "verds"), presenten nivells de N amoniacal soluble més alts. Precisament, la presència de fulles pot contribuir a la salinitat més alta d'aquest tipus de material.

D'altra banda, les formes més oxidades de nitrats no acostumen a ser presents en aquests materials, ja que no tenen les condicions per a nitrificar (Cáceres i col. 2018) degut al poc nitrogen amoniacal que contenen els materials més llenyosos.

Taula 5. Composició de diferents materials de jaç que s'empren en explotacions avícoles (estudi DACC, 2021)

Llegenda:
smf: sobre matèria fresca
sms: sobre matèria seca

Nota:
1. La matèria seca s'obté per assecatge a 105°C

	Núm. mostres	Matèria seca ¹ %, smf	Matèria orgànica (MO) %, sms	Nitrogen			Fòsfor (P) %, sms	Potassi (K) %, sms
				Amoniacal i orgànic %, sms	Amoniacal %, sms	Orgànic %, sms		
Palla	3	90,1	94,5	0,47	0,05	0,42	0,07	0,82
Pellofa	5	91,0	87,7	0,42	0,04	0,38	0,05	0,51
Pellofa d'arròs	3	90,5	86,2	0,44	0,04	0,40	0,06	0,37
Serradures	1	89,7	99,6	0,46	0,05	0,40	0,01	0,05
Encenalls de fusta	2	89,4	98,3	0,18	0,04	0,18	0,01	0,05

Pel que fa a les propietats físiques (Taula 7), la humitat dels estructurants és normalment baixa, però varia en funció del contingut de material verd, o fresc, que posseeixin.

L'espai porós total (EPT) d'aquests materials és molt alt, (com succeeix en algunes dejeccions sòlides, però a diferència d'aquestes, la capacitat d'aireig és més elevada. La densitat aparent és força baixa i la densitat real, intermèdia.

Taula 6. Composició de diferents materials estructurants en relació a pH, la Conductivitat elèctrica (CE), el N-NH₄⁺ soluble, el nitrogen en forma de nitrit i nitrat

Llegenda:
sms: sobre matèria seca
nd: no determinat.

Font:
1. Cáceres, 2003; Cáceres i col., 2006
2. Cáceres i col., 2021. Dades LIFE AGRICLOSE
3. Cáceres i col, 2015a
4. DACC, 2021
5. Cáceres i Puerta, 2022. Dades LIFE AGRICLOSE.

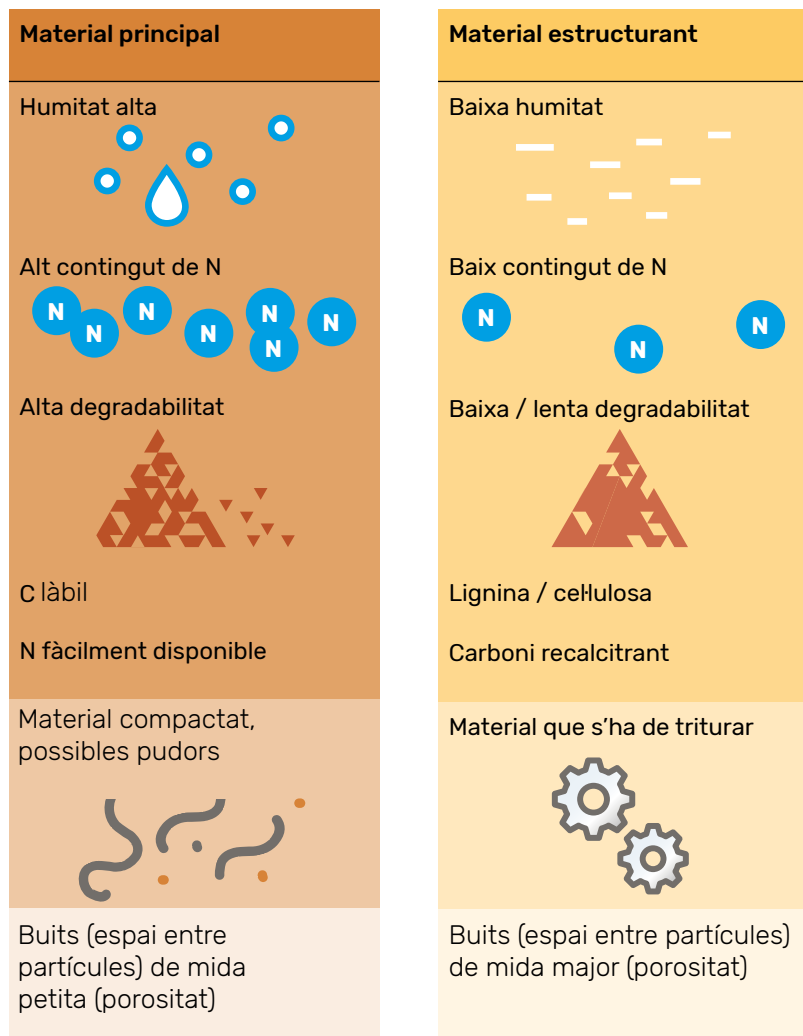
	pH	Conductivitat elèctrica (CE)	N-NH ₄ ⁺ soluble	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻
	-	dS/m	mg/kg, sms	mg/kg, sms	mg/kg, sms
Restes d'esporga de jardineria ³	6,3	2,40	874,0	nd	nd
Restes d'esporga de presseguer ²	6,8	0,47	42,5	0	0
Triturat d'arbrat ⁴	6,9	0,41	22,4	0	0
Restes d'esporga de perera ⁴	7,5	0,23	34,8	0	0
Restes de pi ¹	5,6	0,47	Nd	nd	nd
Palla de cereal	nd	nd	50,0	nd	nd
Palla de panís ²	7,2	0,94	24,4	0	0

Taula 7. Humitat i propietats físiques de diferents materials estructurants

Llegenda:
smf: sobre matèria fresca
EPT: espai porós total
CA: capacitat d'aireig
CAIG: capacitat de retenció d'aigua
Dap: densitat aparent
Dr: densitat real
nd: no determinat

Font:
1. Cáceres, 2003; Cáceres i col., 2006
2. Cáceres i col., 2021. Dades LIFE AGRICLOSE
3. Cáceres i col, 2015a
4. Cáceres i Puerta, 2022. Dades LIFE AGRICLOSE

	Humitat	EPT	CA	CAIG	Da	Dr
	%, smf	%, volum	%, volum	%, volum	g/cm ³	g/cm ³
Restes d'esporga de jardineria ³	49,6	84,9	nd	nd	0,18	nd
Restes d'esporga de presseguer ²	6,87	91,0	68,51	22,50	0,15	1,65
Triturat d'arbrat ⁴	11,3	92,1	90,82	1,30	0,12	1,56
Restes d'esporga de perera ⁴	34,3	86,2	62,34	23,83	0,21	1,54
Restes de pi ¹	43,9	nd	nd	nd	nd	nd
Palla de panís ²	8,8	98,5	88,41	10,13	0,02	1,64



Esquema 1. Resum de les diferències entre els materials principals (dejeccions ramaderes sòlides) i materials estructurants

2.3 Complementarietat i homogeneïtat: barreges

2.3.1 Barreges amb materials estructurants

En els apartats 2.1 i 2.2 s'han descrit les característiques de les matèries primeres: els materials principals (en aquest cas, dejeccions ramaderes sòlides) i materials estructurants (materials d'origen lignocel·lulòsic). L'Esquema 1 mostra un resum de les diferències entre les dues tipologies de materials.

Es comprova que les dejeccions ramaderes sòlides tenen una humitat alta, un alt contingut de N i un alt contingut de matèria orgànica fàcilment biodegradable. Des del punt de vista físic, les seves partícules són de mida petita i es tracta de materials que no se solen triturar. Per tant, aquests productes es descomponen fàcilment i poden generar pudors si no es tracten amb celeritat.

Per contra, com s'ha descrit anteriorment, els materials estructurants solen ser força eixuts, tenen poc N i la matèria orgànica que contenen és força recalcitrant. Des del punt de vista físic, aquests materials s'han de triturar pràcticament sempre i, normalment, la mida de les partícules sol ser gran i, per tant, també ho és l'espai entre elles.

D'acord amb les característiques anteriors, es poden barrejar dejeccions amb materials estructurants amb diferents

objectius. El primer, fer possible la compostabilitat de les dejeccions en cas que no continguin material del jaç, o que aquest sigui insuficient i calgui millorar l'estructura de la barreja per permetre'n l'apilament. També pot ser que es vulgui augmentar la relació C/N, per a disminuir emissions o per a produir un compost amb materials orgànics més rics en C.

En qualsevol cas, l'addició d'un material estructurant a les dejeccions sòlides els proporciona una consistència més adequada (més "esponjosa"). És una manera simple de millorar l'aireig passiu de la massa en descomposició, com es mostra a l'Esquema 2. Les dejeccions, al seu torn, humitegen el material estructurant.

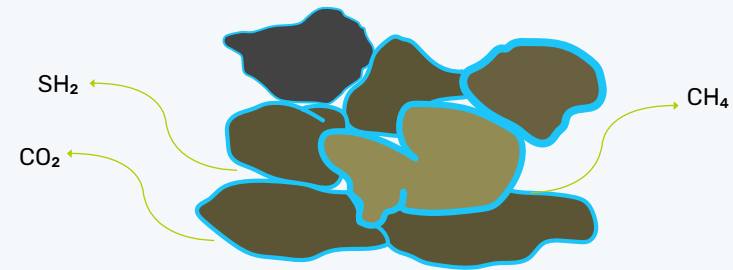
Les proporcions de barreja de materials principals i estructurants poden ser 3:1 o bé 2:1 (dejeccions sòlides:estructurant, v:v), en funció de les característiques del material principal. La proporció de materials estructurants es pot augmentar en el cas en què les dejeccions tinguin un major percentatge d'humitat.

La Taula 8 mostra un exemple de com l'addició d'un material estructurant a base de restes de pi (RP) pot modificar les característiques químiques, físic-químiques i físiques d'una dejecció sòlida, en aquest cas, la fracció sòlida del purí de vaquí (FSPV). Es pot comprovar la disminució del percentatge d'humitat que permet iniciar el compostatge en condicions més òptimes, ja que una humitat del 82% smf és excessiva.

Esquema 2. Aspecte del material en descomposició de materials principals (dejeccions ramaderes sòlides) amb i sense estructurant. Càceres, R. (adaptació de Haug, 1993).

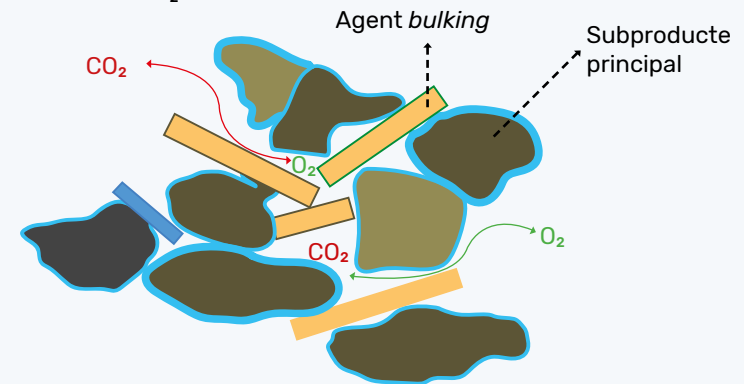
2a. Sense estructurant. Subproductes principals (dejeccions) compostats sols:

- ▶ Buits petits (retindran aigua, el intercanvi gasós estarà molt limitat):
- ▶ Es consumeix O_2 ,
- ▶ l' O_2 consumit no es reemplaça
- Prevaldran les condicions anaeròbiques
- Creixeran bacteris anaerobis
- Males olors



2b. Amb estructurant. Subproductes principals (dejeccions ramaderes) i materials estructurants:

L'agent *bulking* ajuda a millorar l'estructura de la massa en descomposició (aporta buits de mida gran) per a facilitar el intercanvi de gasos i, per tant, atendre la demanda d' O_2



L'addició de RP augmenta la matèria orgànica de la barreja, ja que també és molt alta en els materials estructurants. En canvi, es produeix una disminució del percentatge de N. Com a conseqüència dels valors d'aquests dos paràmetres, s'augmenta la relació C/Norg, fet que permet, potencialment, limitar les emissions d'amoniac i també obtenir finalment un producte més ric en carboni per ser aplicat al sòl.

Taula 8. Característiques de la fracció sòlida de purí de vaquí de llet (FSPV) i de la FSPV barrejada amb material estructurant a base de restes de pi (RP) amb proporció 2:1 (FSPV:RP, volum:volum)

	Unitats	FSPV	FSPV:RP (2:1, v:v)
Humitat gravimètrica	%, smf	82,0	72,1
Matèria orgànica	%, sms	92,4	95,5
Norg	%, sms	1,4	1,1
C/Norg	-	39	50
pH	-	7,7	7,2
Conductivitat elèctrica	dS/m	0,80	0,7
Porositat total	% volum	95,9	94,8
Humitat volumètrica	% volum	31,9	21,9
Capacitat d'aireig	% volum	64,0	72,9

Llegenda:

smf: sobre matèria fresca

sms: sobre matèria seca

Font:

Cáceres i col., 2006

També les propietats físic-químiques (pH i salinitat) queden rebaixades per l'addició de RP. Pel que fa a les propietats físiques dels materials, tot i que la porositat no es veu afectada per l'addició de RP, sí que es veu afectada la capacitat d'aireig, augmentant uns 9 punts el seu valor i convertint el material principal en un producte amb més capacitat d'airejar les dejeccions de manera passiva.

2.3.2 Barreges entre materials principals

Dins d'una mateixa explotació ramadera, és possible que hi hagi diferents tipus de dejeccions que es puguin barrejar i equilibrar així les seves característiques. Per exemple, els fems de vedells de cria i els fems de vedells d'engreix poden tenir característiques diferents (amb més o menys palla). També pot ser que les dejeccions vinguin de llocs diferents de les naus i que, per aquesta causa, tinguin un grau d'humitat diferent. També s'ha de tindre en compte que si l'explotació disposa d'un separador sòlid-líquid, l'estat d'humitat de la fracció sòlida pot ser molt diferent segons la tecnologia concreta del sistema de separació, les característiques del purí d'entrada i el maneig del separador. Aleshores, la barreja dels materials podria ser una opció molt adequada per a partir d'un material més equilibrat i homogeni.

Més endavant (secció 3.4.3) es detalla quina és la maquinària necessària per a realitzar l'operació de barreja de materials principals (dejeccions) tan entre ells o com amb els estructurants.

3 Teoria i pràctica del compostatge

3.1 Concepte de compostatge

3.1.1 Definició general

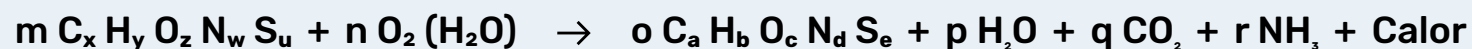
El compostatge és el procés de transformació de materials orgànics sòlids o residus orgànics, provinents d'éssers vius, en un producte estabilitzat (el compost) realitzat per microorganismes en condicions aeròbiques (en presència d'O₂) i en condicions controlades.

Es tracta d'un procés que no deixa d'imitar el que pot succeir en el sòl d'un bosc, per exemple, que incorpora a les seves capes superiors fulles d'arbres, parts de plantes herbàcies o arbustives o excrements o restes d'animals. En aquests sistemes naturals es produeix la destrucció dels teixits i compostos dels materials orgànics que contenen i, posteriorment, es generen substàncies húmiques (matèria orgànica estable). Amb el temps, les restes fresques inicials es transformen en material orgànic estable que nodreix l'horitzó superficial del sòl amb una alta proporció de matèria orgànica, millorant-ne les seves característiques.

En virtut d'aquesta similitud de processos entre el compostatge i el que succeeix a les capes superficials del sòl (forestal, però òbviament en sòls agrícoles que reben residus de collita, o en qualsevol tipus de sòl), el compostatge es pot considerar una solució basada en la natura (en anglès, "Nature-based solution", NBS) (Cáceres i col., 2022).

Així doncs, el compostatge és un procés de transformació més intensiu ja que fa evolucionar quantitats considerables d'aquestes restes de naturalesa orgànica, que es generen en la producció animal, vegetal o bé les que generen els humans. S'ha proposat una fórmula química, que simplifica molt el procés, per a expressar el concepte del compostatge i veure les seves implicacions, de manera general (Equació 1). Evidentment, la composició de les restes orgàniques és molt més àmplia en elements i els processos de transformació són molt més complexes.

Equació 1

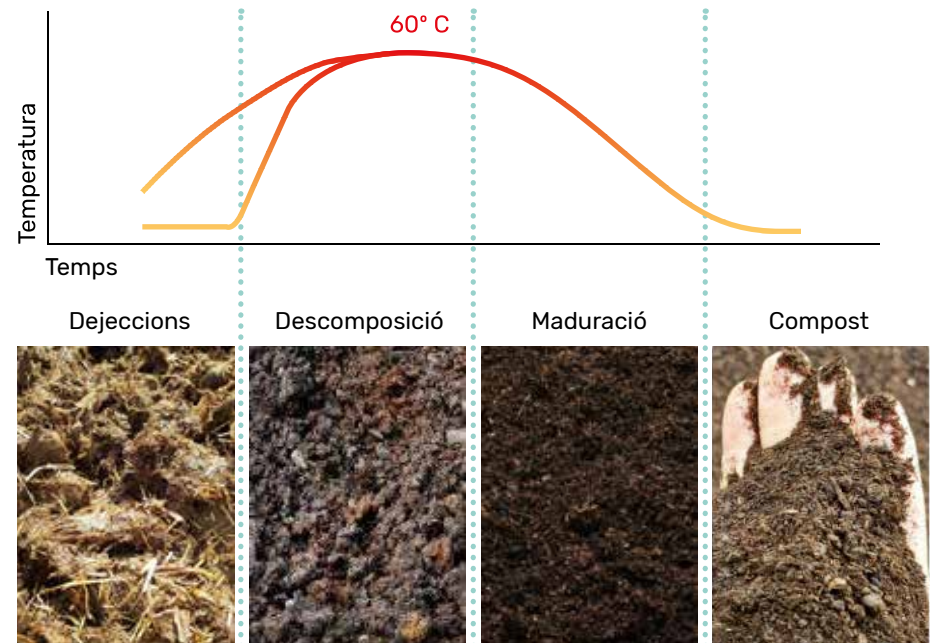


C: carboni, H: hidrogen, O: oxigen, N: nitrogen, S: sofre

A continuació, s'enumeren una sèrie d'aspectes que cal considerar en relació amb el procés de compostatge:

- ▶ El compostatge és un procés exotèrmic a causa de l'activitat microbiana aeròbica, que genera energia en forma tèrmica. Per això, la temperatura és un dels paràmetres més útils per a avaluar l'activitat microbiològica durant el procés.
- ▶ Al contrari dels processos anaeròbics anomenats metanització o digestió anaeròbica, es necessita l'oxigen, que s'obté a partir de l'aireig del material mitjançant uns mètodes que es descriuran més endavant (Apartat 3.5).
- ▶ Simultàniament a l'aireig, durant el procés l'activitat microbiana també requereix certes proporcions d'aigua (humitat) en el material. Si bé el procés per si mateix genera aigua, a mesura que transcorre, el balanç és negatiu i per això per a mantenir l'activitat microbiana acostuma a ser necessària l'addició d'aigua (Equació 1).
- ▶ El compostatge no deixa de ser un procés intensiu de transformació de la matèria orgànica, i pel fet de tindre aquesta condició, pot generar gasos d'efecte hivernacle o acidificants (NH_3) en una quantitat apreciable. La producció de diòxid de carboni (CO_2) es deu a l'activitat metabòlica dels microorganismes i és d'origen biogènic.

L'evolució del procés del compostatge s'avalua amb la temperatura del material en descomposició, com es veurà més endavant. Aquest paràmetre també permet distingir entre dues etapes diferenciades: la descomposició i la maduració (Esquema 3).



Esquema 3. Fases del procés de compostatge de les dejeccions ramaderes i el diagrama de temperatura durant el procés

Descripció de les fases:

- ▶ **Descomposició** (primers 2-3 mesos): Predominen els processos de destrucció de teixits de les restes orgàniques i la descomposició de molècules complexes com ara les proteïnes. En aquesta etapa les necessitats d'oxigen són molt altes degut a l'alta producció d'activitat microbiològica. Es genera molt CO_2 i aquest és el motiu pel qual es diu que la matèria orgànica es mineralitza: el C orgànic es transforma en C mineral. En conseqüència, el material assoleix temperatures altes o molt altes (nivells termòfils, entre 45 i 70°C). En aquesta etapa la humitat del material acostuma a disminuir força a causa del dessecament que es produeix.
- ▶ **Maduració** (dels 2-3 mesos en endavant): En aquesta etapa, predominen els processos de construcció de molècules orgàniques complexes i la nitrificació. Les temperatures del material disminueixen fins arribar al rang mesòfil (temperatures entre 20 i 45°C). En aquesta fase del procés no hi ha grans necessitats d'aireig del material ni tampoc d'humectació.

3.1.2 El compostatge com a “procés de processos”

Cal insistir en què no és del tot adequat simplificar el compostatge en una única fórmula química. És més, es fa referència al procés de compostatge, però de fet, darrerament s'afirma que el compostatge és un procés de processos (Cáceres i col., 2018). Des que aquest procés ha estat estudiat de manera sistemàtica, des del punt de vista químic, lògicament s'ha descrit l'evolució de nombrosos paràmetres (pH, formes de N, matèria orgànica, àcids húmics...) i s'ha observat que molts d'ells evolucionen de manera diferent i que la seva concentració augmenta o disminueix depenent del procés concret que sigui prevalent en el material, la composició dels materials orgànics i les condicions del moment (factors ambientals, ús d'additius, relació amb altres processos com la degradació de la matèria orgànica o procés de transformació del nitrogen). Aquests són exemples de processos que es donen durant el compostatge (Cáceres i col., 2018):

Amonificació

Formació d'amoni a partir de la descomposició de les proteïnes. Aquest procés és molt prevalent en l'etapa de descomposició i és molt important en el compostatge de dejeccions ramaderes sòlides.

Nitrificació

Formació de nitrats a partir de la transformació del N amoniacal present en les dejeccions. La nitrificació és molt prevalent en l'etapa final del procés i té lloc gràcies a diversos grups de microorganismes nitrificants.

Desnitrificació

S'ha estudiat que els nitrats que es formen durant el final del procés poden ser reduïts si es donen condicions anaeròbiques. Es tracta d'un procés dut a terme per microorganismes desnitrificants, que converteixen els nitrats a N_2 . Les condicions anaeròbiques es poden donar si el material és molt humit, fet que es pot produir, per exemple, al quedar exposat a pluges intenses i/o continuades.

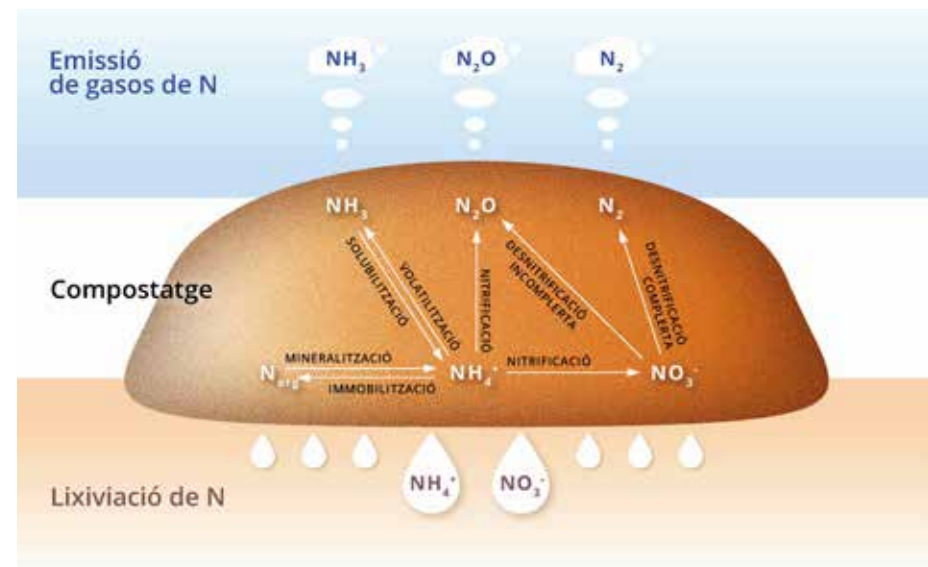
Humificació

Es tracta de processos de construcció de molècules complexes orgàniques a partir de molècules més senzilles i es produeix a l'etapa final del compostatge.

L'Esquema 4 mostra, de manera simplificada, els principals processos relacionats amb el cicle del N que es poden produir en una pila de compostatge (adaptat de Cáceres i col, 2018).

3.2 Avantatges del compostatge

El compostatge, com molts altres processos de transformació de la matèria orgànica, té la vocació de convertir un material fresc en una esmena orgànica estable i higienitzada per a ser emprada a l'agricultura (compost). El compost, si el procés s'ha dut a terme adequadament, és un producte estable, lliure (o amb una reducció important) de males herbes i patògens (vegetals i humans). El compost és un producte que, aplicat



Esquema 4. Cicle del nitrogen en una pila de compostatge. N: nitrogen; NH_4^+ : ió amoni; NO_3^- : Nitrit; N_2 : nitrogen gas (dinitrogen); N_2O : òxid nítric; NH_3 : amoníac

Adaptat de Cáceres i col. 2018.

als sòls agrícoles o urbans (horts o jardineria), contribueix a incrementar la seva matèria orgànica i la diversitat microbiològica, de manera que millora la salut del sòl i, en particular, les seves característiques físiques, biològiques i químiques. Evidentment, el seu ús també permet subministrar al medi de creixement (sòl o substrats de cultiu) part dels nutrients necessaris per al creixement vegetal.

Un altre dels avantatges és que, durant el procés, s'elimina una part important de components de la matèria orgànica com ara polifenols o compostos fitotòxics, com en el cas de la sansa d'oliva. També, com s'ha avançat anteriorment, s'ha descrit la transformació o eliminació de contaminants orgànics durant el procés, com ara els antibiòtics, si és que n'hi hagués.



Ja que aquesta guia es refereix específicament al compostatge en origen, a continuació s'enumeren els avantatges de realitzar el procés a la pròpia granja:

- ▶ Alt grau d'homogeneïtat dels materials orgànics tractats i, per tant, facilitat per a gestionar el procés (inclús en diferents condicions meteorològiques) un cop s'ha dut a la pràctica i es coneix. L'homogeneïtat permet l'obtenció d'un compost amb característiques similars al llarg del temps, fet que facilita el control i la millora de la seva qualitat, així com la seva comercialització.
- ▶ Disminució de les despeses del transport del material d'origen fins al punt de tractament. Cal tenir en compte que l'estalvi és molt significatiu, ja que un cop el material està compostat el seu volum, i segons com el pes, s'ha reduït un 50%.
- ▶ Simplicitat, ja que per dur a terme adequadament el procés es requereixen pocs elements i operacions. Com que els materials que s'empren són homogenis, com s'ha dit anteriorment, l'aprenentatge relacionat amb les seves característiques és relativament ràpid, amb el temps i la dedicació necessària.
- ▶ Es tracta d'un procés dúctil, que pot ser més o menys intensiu depenent de les matèries primeres que hi hagi a l'abast i d'altres factors com ara l'espai i el temps disponible.

3.3 El control del procés: temperatura, humitat i nivell d'oxigen

3.3.1 Temperatura



Prèviament, cal assenyalar que el compostatge es fa normalment apilant les dejeccions sòlides o bé la barreja de les dejeccions sòlides amb els materials estructurants. El compostatge en piles és la manera més simple de realitzar el procés, per la qual cosa aquesta guia es referirà, pràcticament sempre, a aquest mètode, i utilitzarà el terme “pila” per referir-se al material de l’apilament de les dejeccions, amb, o sense estructurant.

A partir del moment de l’apilament, s’espera que l’activitat microbiana comenci de manera imminent i, si és així, la temperatura a dintre de la pila s’incrementarà ràpidament. En condicions climàtiques mediterrànies, primer trobarem temperatures en el rang mesòfil (20-45°C) i durant el procés s’assoliran temperatures termòfiles (més de 45°C); aquesta primera etapa és d’**activació** del procés. Les temperatures termòfiles s’han de mantenir a aquest nivell el màxim temps possible. D’aquesta manera, es garantirà l’eliminació dels patògens dels excrements animals (especialment *Salmonella* i *Escherichia coli*) i també s’incrementarà l’eficiència del procés. Aquesta fase de temperatura alta i el seu manteniment durant el màxim de temps possible s’anomena “**altiplà**”.

La temperatura serà alta mentre que hi hagi materials orgànics frescs que puguin ser descompostos. A mesura que aquests materials s'hagin descompost i destruït, l'activitat microbiològica es reduirà i, per tant, disminuirà la temperatura i s'entrarà en la fase de **refredament**.

No obstant, en plena etapa de descomposició, pot haver-hi un descens de temperatura sense que la manca de material fresc en sigui la causa. La temperatura pot disminuir a causa

d'una baixada de la humitat provocada per la mateixa escalfor produïda pel procés. Per tant, la pila s'ha d'humectar durant el procés, especialment durant l'etapa de descomposició.

Un cop el material hagi experimentat un període llarg de temperatures termòfiles, i un cop comprovat que la humitat ha estat suficient per a incentivar els processos de descomposició, les temperatures del material disminuiran fins a registrar valors en el rang mesòfil o aproximant-se als valors de la temperatura ambiental (Figura 1).

És aconsellable registrar la mesura de la temperatura diàriament. També existeixen molts instruments que mesuren la temperatura en continu i, inclús, permetent controlar aquest paràmetre on-line.

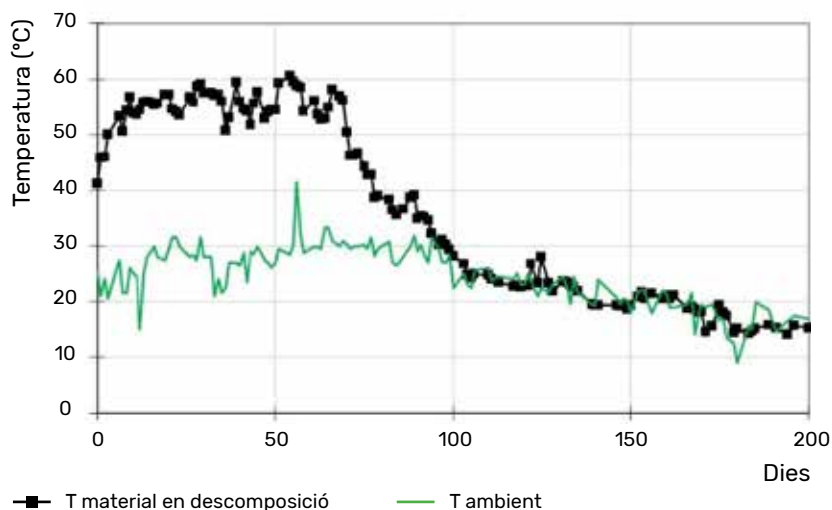


Figura 1. Perfil de temperatura (T) ideal de dejeccions sòlides en compostatge, on es distingeixen les fases de descomposició (escalfament i altiplà) i maduració (refredament i coincidència amb la temperatura ambiental)

Font: Cáceres i col., 2006; Cáceres, 2003.

3.3.2 Humitat

L'aigua present en les dejeccions ramaderes és necessària ja que tots els processos metabòlics del compostatge tenen lloc en medi aquós. La humitat es mesura determinant els grams d'aigua que hi ha en 100 grams de pes fresc. Normalment, cal que el contingut hídic del material durant tot el procés se situï entre el 50 i el 65 % (smf). No obstant, alguns mètodes de compostatge (per exemple, l'aireig forçat) admeten percentatges hídrics superiors ja que l'oxigen se subministra intermitentment -normalment- a través de la insuflació d'aire.

Com s'ha vist en l'apartat de definició del compostatge, el mateix procés de compostatge genera aigua (Equació 1). Malgrat això, aquesta aigua no és suficient per a contrarestar el dessecament gradual del material per les temperatures termòfiles que s'assoleixen.

Així doncs, la restitució de l'aigua és fonamental durant el procés. Sempre que durant les primeres setmanes es noti un decreixement de la temperatura, cal addicionar aigua per a comprovar si l'aturada de l'activitat es deu a la manca de material fresc, o bé a la manca d'aigua (i llavors s'ha de regar la pila).

En el següent apartat es descriu com els materials a compostar poden ser més o menys retentius (en relació amb l'aigua) en funció de la mida de la partícula que tinguin. Els materials menys retentius (mida de partícula petita) seran més fàcils d'humectar mentre que els de partícula més gran seran més difícils d'humectar i estaran més airejats.

Hi ha alguns materials que, donada la seva naturalesa, tenen un contingut d'humitat excessiu. Això pot tindre diverses causes: el maneig que s'ha fet en granja, les condicions meteorològiques o bé el tipus de producte (per exemple, fraccions sòlides amb rendiment baix del procés de separació). Si els materials tenen percentatges d'humitat superiors al 70%, depenent de la seva estructura, l'alt contingut hídric pot inhibir l'inici del procés de compostatge i això es detecta perquè els nivells tèrmics no s'incrementen a l'inici del procés. En aquest

cas, hi predominaran els processos anaeròbics i es generarà metà, que és indesitjable perquè aquest gas és molt perjudicial per l'escalfament global.

3.3.3 Oxigen

Donat que el compostatge és un procés aeròbic, es necessita oxigen per al seu desenvolupament. Amb aquesta finalitat, cal que el material tingui una estructura apropiada. Normalment, la porositat dels materials orgànics és alta degut precisament a aquesta naturalesa orgànica. Però dintre de la porositat, diferenciem entre la capacitat de retenció d'aigua (CAIG) i la d'aireig (CA). Els materials amb partícules més gruixudes afavoriran l'existència de porus més grans i, per tant, l'aireig del material. Per contra, els materials que continguin una proporció alta de partícules petites i estiguin molt compactats tendiran a retenir l'aigua.

La capacitat d'aireig del material es pot augmentar afegint agents estructurants de mida de partícula intermèdia (entre 2 i 5 cm).

El nivell d'oxigen dins de la pila de compostatge aconsellat, per tal d'evitar condicions anaeròbiques i per tant, la generació de metà, és de més del 5%. En una pila de compostatge dinàmic (en què l'aireig es produeix pel moviment del material) és molt difícil mantenir aquest nivell durant les primeres setmanes, ja que el consum d'oxigen és molt alt i l'alt contingut d'humitat que sol tenir el material en dificulta la seva restitució.

A mesura que el procés avança, per això, el consum d'oxigen disminueix molt, el material s'asseca més i els nivells d'oxigen solen augmentar a totes les profunditats de la pila de compostatge fins arribar al 15-18%. En piles dinàmiques, els nivells d'oxigen solen ser inferiors en profunditats majors que en localitzacions més properes a la superfície. Per això és convenient mesurar-los a dos nivells de profunditat (per exemple a 40 i a 90 cm). La Fotografia 8 mostra la mesura de l'oxigen intersticial en una pila de compostatge.



Fotografia 8. Mesura de la concentració d'oxigen intersticial

3.4 Les accions a realitzar

Les operacions a realitzar durant el compostatge són bàsicament dues: l'aireig i la humectació. Aquestes es poden dur a terme de diverses maneres, en funció del sistema de compostatge i també de la maquinària disponible o que es pugui adquirir. Aquest apartat compta amb subapartats específics per a definir aquestes accions i la maquinària necessària per a desenvolupar-les.

En algun cas, es poden realitzar altres operacions, com ara la de separar elements grollers per augmentar la qualitat del producte final. D'altra banda, també es pot realitzar el garbellat, per a separar una part del material estructurant afegit a l'inici del procés, en casos d'explotacions on els estructurants siguin escassos i es vulguin re-introduir per al compostatge de noves tongades de dejeccions.

Les granges que comercialitzin el seu compost poden plantejar-se disposar de maquinària per a ensacar el producte final.

3.4.1 L'aireig: passiu, volteig i ventilació

L'aireig passiu de les piles s'assoleix, en primera instància, per la inclusió de material estructurant, en la majoria de casos triturat (Fotografia 6 i 7). Si s'empra palla, aquesta normalment no es tritura (Fotografia 4 i 5), però si es fa pot contribuir a millorar les condicions del material en descomposició.

En el sistema de compostatge dinàmic (veure'n la descripció a l'apartat 3.5), el volteig consisteix en el moviment del material per a facilitar el seu aireig. A part, aquest volteig, sobretot si es realitza amb voltejadora (apartat 3.4.3), permet desfer els grumolls i d'aquesta manera facilitar l'acció dels microorganismes.

En sistemes de compostatge estàtics (apartat 3.5), l'aireig s'aconsegueix per ventilació del material.

En el cas que un material sigui molt humit a l'inici del procés i aquesta humitat impedeixi l'assoliment de temperatures termòfiles, s'ha de procurar l'aireig intensiu per tal de reduir-ne el contingut. Sovint aquesta acció no és suficient, ja que l'apilament no afavoreix l'evaporació de l'aigua de la major part del material. Aleshores l'aireig per minvar la humitat es pot realitzar escampant el material en una superfície del terreny o bé, preferentment, addicionant a la pila de compostatge un agent estructurant que ajudi a facilitar-ne l'aireig passiu.

L'apartat 3.6.5.2 descriu alguns aspectes de caire pràctic de l'aireig.

3.4.2 La humectació

La humectació del material que es composta s'ha de realitzar a mesura que aquest vagi perdent humitat (si és que el contingut hídric dels materials és alt a l'inici del procés). Si el compostatge s'activa ràpidament (assoliment de temperatures termòfiles en 1-2 dies), el procés haurà engegat correctament i, per tant, la pila tindrà tendència a assecar-se amb més velocitat. Per aquest motiu, juntament amb els voltejos que es facin, s'aconsella fer aportacions d'aigua. D'aquesta manera, d'una banda, s'aconsegueix una aportació hídrica gradual i de l'altra, es permet l'homogeneïtat en aquesta aportació hídrica. L'activitat del compostatge sol aturar-se en humitats per sota del 40% (sobre matèria fresca), i es recomana no arribar a aquest nivell ja que, posteriorment, es podria limitar la capacitat de rehumectació dels materials orgànics, que solen ser hidròfobs (especialment, a mesura que augmenta el seu grau de maduresa).

Són molt més freqüents les humectacions en l'etapa més activa (descomposició) que no pas durant la maduració.

L'apartat 3.6.5.2 descriu algun altre aspecte pràctic de la humectació.

3.4.3 Instal·lacions, maquinària i dispositius

El compostatge en granja s'ha de realitzar en unes instal·lacions que han de complir amb uns requisits mínims (veure secció 5.1). Fonamentalment, la superfície on es disposen les piles de compostatge ha d'estar impermeabilitzada i tindre un cert pendent per a recollir els lixiviats. També cal disposar d'un punt d'aigua per a regar el material i d'altres elements (principalment, maquinària i dispositius) que es descriuen en aquest apartat.

Tractor amb pala

Es tracta de maquinària indispensable per a gestionar les piles de compostatge i normalment està disponible en qualsevol granja (Fotografia 9). És necessari per a barrejar els fems amb els agents estructurants, per a formar les piles, per desmuntar-les i, si no es disposa de voltejadora, per a voltejar les piles. En aquest cas, l'ús del tractor amb pala per a moure el material, implica el desplaçament de la pila del lloc inicial a un espai adjacent.



Fotografia 9. Tractor amb pala per al moviment i barreja del material

Voltejadora

La voltejadora és un element que tot i no ser indispensable, pot ser molt útil i eficient en determinades explotacions. Permet el moviment del material (volteig) sense haver-lo de desplaçar a un espai adjacent.

N'hi ha de diferents tipologies. Normalment són arreu que es poden acoblar a la presa de força del tractor (Fotografia 10 i apartat 3.5), però també n'hi ha d'autopropulsades (Fotografia 10).

Algunes voltejadores poden portar un dipòsit per a humectar el material a la vegada que es volteja.



Fotografia 10. Maquinària específica per al volteig: voltejadora propulsada (dalt); arreu voltejador acoblat al tractor (baix)

Remolc escampador de fems

Es tracta d'un equip que pot estar disponible a la pròpia explotació o bé en explotacions properes. Pot servir per a realitzar tres accions:

- ▶ a) Descompactar: Els fems, especialment, acostumen a presentar grans blocs (gleves) de materials compactes que dificulten el compostatge (Fotografia 11). Si prèviament es passen els fems per un remolc, l'acció dels elements mòbils permet desfer els blocs.
- ▶ b) Si el remolc és adequat pot servir per a formar la pila de compostatge.
- ▶ c) Si els fems, o la fracció sòlida o gallinassa, es barregen amb materials estructurants, el remolc pot ser un element fonamental per a realitzar una barreja apropiada dels materials (Fotografia 12) i també per a formar la pila.



Fotografia 11. Aspecte de fems de vedells compactats en blocs



Fotografia 12. Treball de barreja d'un remolc escampador de fems

Elements per al reg o la humectació del material

Per a humectar les piles és necessària la instal·lació de mànegues, aspersors, difusors (Fotografia 13) o tracks. Com s'ha avançat, algunes voltejadores disposen d'elements per a humectar el material. És desitjable, en qualsevol cas, que l'addició d'aigua es realitzi alhora que es volteja el material, per tal d'assegurar-ne el repartiment homogeni.



Fotografia 13. A dalt, reg de piles de compostatge, alhora que es realitza el volteig, emprant difusors elevats amb les pròpies canonades de reg suportades amb varetes de ferro clavades a terra. A baix, sistema de reg per aspersió instal·lat en una plataforma aèria que es desplaça al llarg de la pila (Pila de compostatge de la planta de la Cooperativa Agrària de Torelló)

Garbellat

En determinats casos, pot ser aconsellable el garbellat del compost. L'objectiu pot ser recuperar una part de l'estructurant (sobretot en cas que sigui llenyós i d'una determinada mida de partícula) o bé que es vulgui que el producte acabat tingui una determinada mida màxima de partícula i, eliminant els elements grossers li doni un valor afegit.

El garbellat pot ser rotatori o estàtic per a plantes grans (Fotografia 14). El primer cas seria, per exemple, un tamís cilíndric que es fa girar i deixa passar per les perforacions el compost de mida de partícula inferior a la graella (Fotografia 14a). També pot ser un tamís estàtic (planxa foradada inclinada o en horitzontal), sense cost energètic per al seu funcionament, però aquest sistema és més indicat per a compostatge a petita escala (Fotografia 14b).

Fotografia 14. Sistema de garbellat pel producte final després d'haver-se compostat, amb tambor rotatori (a, esquerra) i mètode estàtic (b, dreta)



3.5 Sistemes de compostatge

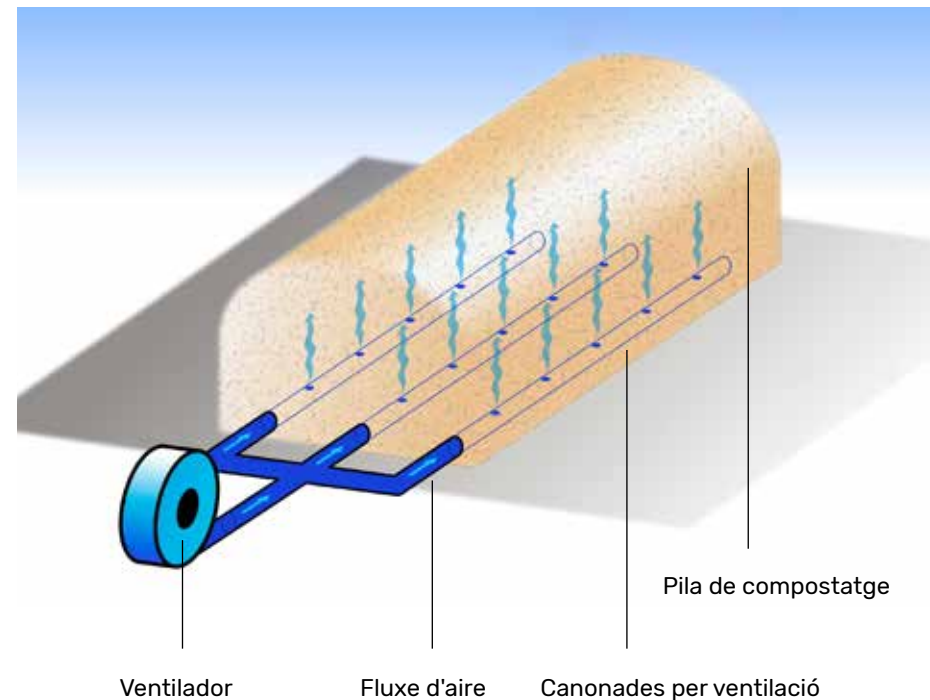
Quan es pensa en compostatge, s'associa a piles de compostatge. La manera tradicional de concebre'l ha estat l'amuntegament en piles en forma de prisma de base triangular o trapezoïdal, esteses longitudinalment sobre el terreny i a l'aire lliure.

Els sistemes de compostatge es poden classificar de diferents maneres. Un dels criteris més estesos és en funció de la manera d'aportar l'aireig necessari per l'oxigenació de les piles. Com que aquest aspecte té molt a veure amb la mobilitat del material de la pila, es diferencia entre sistemes estàtics i sistemes dinàmics.

Els sistemes estàtics són aquells en els quals els materials es remouen poc i per això la pila és estàtica. L'aireig necessari per a mantenir oxigen dins del material en descomposició s'aporta mitjançant la insuflació o succió d'aire gràcies a la inclusió d'un ventilador (Esquema 5). L'accionament del ventilador és intermitent, en funció de la temperatura del material, i pot anar associat a un temporitzador. Les piles estan disposades a sobre del paviment on transcorren canonades foradades que estan connectades als ventiladors.

Quan s'estableix aquest tipus de sistema estàtic, és convenient disposar d'un llit de material estructurant a la base de la pila (Fotografia 17) que permeti la distribució homogènia de l'aire

Esquema 5. Esquema dels elements bàsics del compostatge estàtic (en aquest cas, amb impulsió d'aire)



insuflat, a part de la funció de retenció de líquids (veure l'apartat 3.8.2). Durant l'etapa de descomposició les necessitats d'insuflació o extracció d'aire són majors, mentre que durant la maduració aquestes necessitats són força menors. Per contra, durant la descomposició cal proporcionar algun volteig mecànic del material per a eliminar vies preferents de pas per l'aire, mentre que en la maduració aquests voltejos no són tan necessaris.

Els sistemes dinàmics no presenten cap mètode d'impulsió o succió d'aire i l'aireig de les piles es realitza pel moviment del material, ja sigui desplaçant-lo i configurant una altra pila o bé movent-lo mecànicament i deixant-lo en el mateix lloc. Aquest últim és el cas de l'ús de voltejadores acoblades a la presa de força del tractor o autopropulsades (Esquema 6 i Apartat 3.4.3).

El compostatge de dejeccions en granja es realitza en ambients rurals i, per aquest motiu, normalment es realitza en espais oberts. En alguns casos, per exemple en localitzacions on la pluviometria anual és alta, es podria aconsellar ubicar les piles a sota d'un cobert.

En ambients menys rurals, o si es volen controlar i tractar les emissions, es poden utilitzar instal·lacions de compostatge tancades, que ja s'utilitzen en alguns casos de compostatge de fracció orgànica de recollida selectiva de residus municipals (FORM).

Esquema 6. Formació de piles i volteig amb arreu voltejador acoblat al tractor (compostatge dinàmic)



Màquina voltejadora

- Per airejar i homogeneïtzar
- Per aportar aigua –si és necessari–

3.6 De la teoria a la pràctica

3.6.1 Lloc

Les piles de compostatge s'han de situar preferentment en un lloc apartat dels estables o naus que allotgen els animals. El terreny ha d'impermeabilitzar-se amb una planxa de formigó armat que ha de suportar el pas de maquinària pesada (tractor amb pala, voltejadora). El paviment ha de tenir un cert pendent per a facilitar la recollida de lixiviats que es poden generar pel propi assentament del material, pel reg de les piles o per la pluja.

Els lixiviats han de poder recollir-se en bassa tal i com s'explica a l'apartat 5.1, relatiu a les condicions mínimes de les instal·lacions de compostatge dins del marc agrari.





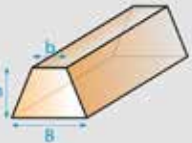
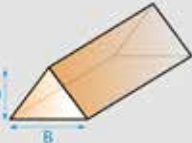
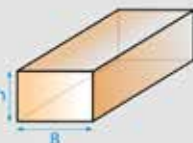
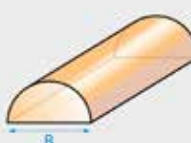
3.6.2 Dimensions de les piles i el seu maneig

Les piles de compostatge poden estar ubicades en trinxeres (llocs en forma d'U on es pot entrar el material per un únic punt). Més habitualment, el material es disposa sobre el terreny en forma de prisma tombat longitudinalment i de base

triangular, trapezoidal o semi-circular (Esquema 7). L'amplada de la base triangular o trapezoidal pot ser de 2,5-3 m i l'alçada, d'uns 2 m. La limitació de la llargada de la pila vindrà marcada per les dimensions del terreny. Si les piles es mouen amb voltejadora (o tractor amb pala), les característiques de la maquinària condicionaran l'alçada de les piles.

Com s'ha esmentat anteriorment, si les piles es voltegen amb voltejadora, aquestes romandran al mateix espai. És freqüent que, en aquest cas, la màquina limiti l'alçada de les piles i/o durant el procés de compostatge les piles vagin perdent alçada degut a la compactació i a la pèrdua de pes. Si és el cas, el material es pot remuntar amb el tractor amb pala fins assolir l'alçada aproximada de la voltejadora.

Esquema 7. Formes possibles de les piles de compostatge i capacitat de càrrega associada

Àrea			
Trapezoidal 	Triangular 	Rectangular 	Semicircular 
			
Superfície			
$S = (B + b) / 2 \cdot h$	$S = (B \cdot h) / 2$	$S = (B \cdot h)$	$S = n \cdot (B / 2)^2 / 2$

Si les piles es voltegen amb el tractor amb pala, la pila voltejada s'haurà de traslladar a un espai buit per a formar una altra pila.

Normalment, durant el procés es perd volum i aquestes piles escurçaran la seva llargària; així, es poden agrupar piles iniciades en dates semblants per a completar l'espai disponible. La pèrdua de volum és un indicador de l'edat de la pila, i convé mantenir la data de muntatge de la pila en cada secció de la mateixa ja que és una dada clau, per exemple, per a portar la traçabilitat del compost.

Cal diferenciar la zona de piles en descomposició de la zona de les piles en procés de maduració. També cal reservar un espai per al compost madur i/o garbellat, preparat per la seva expedició. Les piles en descomposició tenen un maneig diferent de les piles en maduració: per exemple, les piles en descomposició podrien ser regades (sobretot en el primer mes del procés) amb els mateixos lixiviats que genera el procés. Per contra, no s'haurien de regar amb aigua de lixiviats les piles al final de la descomposició ni en la maduració, per tal de preservar el grau d'higienització assolit.

3.6.3 Barreja: condicionament de les dejeccions, complementarietat de característiques i homogeneïtat

Un cop es disposa del lloc, s'ha de pensar en realitzar la preparació de les dejeccions sòlides a compostar. Es poden compostar soles si el material té una estructura adequada i és apilable. Encara que ho sigui, cal observar si està molt compactat per la gestió que se n'ha fet als corrals o allotjaments. En aquest supòsit, caldria plantejar-se passar la voltejadora (o el remolc escampador de fems) per tal de condicionar-lo. Aquesta acció es pot fer després de disposar el material, amb la pala carregadora, en piles d'unes dimensions d'acord amb les de la voltejadora. A part de barrejar bé la pròpia dejecció amb el material del jaç (si és el cas), l'acció permet l'esmicolament de blocs de fems compactats.

En cas que les dejeccions sòlides s'hagin de barrejar amb els materials estructurants (veure l'apartat 2.3), s'hauria de procedir a realitzar una bona mescla. Aquesta es pot fer amb la pala carregadora sola, amb el remolc escampador de fems o també amb la mateixa voltejadora. La possibilitat d'emprar aquesta màquina garantirà una barreja òptima de les diferents fraccions (dejeccions sòlides i estructurant), no només a l'inici del procés, sinó també durant els seu desenvolupament (particularment, en la fase de descomposició).

Coincidint amb aquestes operacions, també cal valorar l'estat hídric del conjunt de material que es disposarà per a compostar i corregir la humitat si el material estigués sec. Una bona mescla facilita el repartiment homogeni de l'aigua.

3.6.4 Etapes del procés

A l'apartat 3.1 d'aquesta secció s'ha avançat que el compostatge comprèn dues etapes ben diferenciades,

sobretot pel que fa a la intensitat del procés i als tipus de subprocessos que s'hi donen. Aquestes etapes són la descomposició i la maduració, i a l'hora d'implantar una planta de compostatge en granja és convenient diferenciar els espais on es disposaran els dos tipus de piles. La gestió de les piles en les fases de descomposició i maduració és força diferent, com mostra el resum de la Taula 9.

Taula 9. Diferents aspectes a considerar en piles en descomposició o maduració

	Descomposició	Maduració
Tipus de procés	Destrucció de compostos orgànics	Construcció de compostos orgànics complexes
Tipus de subprocessos que s'hi dona, principalment	Proteòlisi (amonificació)	Nitrificació
Grau d'intensitat del procés	Alt	Baix
Temperatures	En creixement, termòfiles	En decreixement, mesòfiles
Concentració d'O ₂ en la pila	Baixa, menor del 10%, (aproximadament)	Alta, superior al 15% (aproximadament)
Necessitat d'O ₂ (aireig)	Alta	Baixa
Voltejos	Freqüents	Poc freqüents
Reg del material, si és necessari	Més freqüent	Poc freqüent o nul
Reg amb lixiviats	Es pot fer amb lixiviats	No permès el reg amb lixiviats
Emissions de gasos amb carboni	Puntualment, de metà (si es donen condicions anaeròbiques). Alta concentració de CO ₂ en les emissions	Menors emissions de metà i de diòxid de carboni
Emissions de gasos amb nitrogen	Amoníac	Òxids de N (relacionats amb la nitrificació i/o desnitrificació)

3.6.5 Gestió del procés

El compostatge com a tècnica de transformació de materials orgànics cal realitzar-lo en **condicions controlades**. Això vol dir que per garantir l'obtenció d'un compost homogeni i de qualitat és necessari conèixer i entendre els processos que s'hi donen per cada tipologia de material o barreges. Aquest apartat descriu els controls a realitzar sobre les piles i com conduir el procés adequadament.

Evidentment, un cop es coneixen aquests processos, els controls a realitzar es poden espaiar en el temps.

3.6.5.1 Controls

A l'apartat 3.3 s'explica com els paràmetres fonamentals (temperatura, humitat i concentració d'oxigen) permeten conèixer l'estat i l'evolució del procés de compostatge. A continuació es detallen els mètodes i la freqüència amb què cal mesurar aquests paràmetres per garantir un control adequat de les piles i poder valorar quines accions caldrà fer posteriorment.

Temperatura

Es pot controlar diàriament a l'inici del procés. No obstant, en el mercat existeixen diversos instruments que possibiliten la mesura en continu d'aquest paràmetre i, fins i tot, el control a distància a través d'aplicacions de telèfons mòbils. El control en continu té l'avantatge, a més a més, que permet detectar possibles anomalies en el procés de manera immediata.

És recomanable prendre la temperatura a dues fondàries, que s'han d'establir depenent de les dimensions de les piles. Orientativament, com a exemple, es podria mesurar a 40 cm i 100 cm.

D'altra banda, depenent de la llargada de la pila, pot ser necessari disposar de més d'una sonda longitudinalment.

Humitat

La manera estandarditzada i precisa de conèixer la humitat del material és a través de l'asseccament d'una mostra en una estufa de laboratori (veure apartat 2.1.3). Això requereix esperar més de 24 hores per conèixer-ne el resultat. L'experiència en la gestió de la pila possibilita controlar aquest paràmetre de *visu*, però, òbviament, requereix la intervenció d'un expert o bé formació en aquest aspecte. A més, la determinació de la humitat de *visu* requereix observar mostres *in situ* i a diferents profunditats de la pila.

La humitat s'ha de determinar cada dos o tres dies (o com a màxim, cada setmana) a l'inici del procés, sobretot si hi ha problemes amb l'arrencada (o assoliment ràpid de temperatures termòfiles) o bé si les temperatures termòfiles perduren en el temps. En el primer cas, els problemes d'arrencada del procés poden estar causats tant per l'excés d'humitat com pel seu dèficit. En el segon cas, quan les temperatures termòfiles perduren en el temps en la fase de descomposició, molt freqüentment, comporta una deshidratació del material que fa que el procés s'aturi ja que els microorganismes no disposen de condicions adequades d'hidratació per a

desenvolupar-se i multiplicar-se.

Els valors òptims d'humitat se situen entre el 50 i 65% (sobre matèria fresca), tot i que en sistemes estàtics poden ser majors ja que els microorganismes disposen d'aire freqüentment per a desenvolupar la seva activitat.

Concentració d'O₂ intersticial

Si bé la monitorització de la concentració d'O₂ a dins de la pila no és indispensable, sí que és convenient disposar d'un equip per a mesurar, de manera discreta, aquest paràmetre a diferents profunditats. Depenent de la velocitat del procés, la mesura cada 3-4 dies durant l'etapa de descomposició i cada setmana o quinze dies en la fase de maduració, ajuda a conèixer el procés en un determinat material o barreja. Valors de menys del 5% (que poden arribar al 0%) indiquen molta intensitat del procés i anaerobiosi, amb la qual cosa es formaran bosses on predominarà aquesta darrera. Per evitar aquests valors tan baixos es podria incrementar la fracció d'estructurant, fer més voltejos o augmentar la ventilació.

3.6.5.2 Accions de conducció del procés

Anteriorment s'han descrit alguns aspectes complementaris als que aquí es descriuen de les operacions bàsiques del compostatge: aireig (apartat 3.4.1) i humectació (apartat 3.4.2). A banda, l'apartat 3.4.3 descriu la maquinària a la qual en el present apartat es fa referència, i l'apartat 3.5 descriu

els sistemes de compostatge més emprats en la pràctica del compostatge en granja (dinàmic i estàtic).

Aireig

Sistemes dinàmics

El volteig garanteix l'aireig del material, tot i que és molt puntual així com la mescla i homogeneïtzació del material o de la barreja. Com s'ha descrit anteriorment, es pot realitzar amb pala carregadora o bé amb arreu voltejadora acoblat al tractor. Els volteigs són molt més freqüents durant l'etapa de descomposició que no pas durant l'etapa de maduració degut a les diferents necessitats d'oxigen (apartat 3.3.3). També és convenient voltejar quan s'ha d'humectar el material; en aquest cas, per a homogeneïtzar el repartiment de l'aigua.

Sistemes estàtics

La ventilació per via estàtica es realitza gràcies a l'accionament intermitent d'un ventilador, en funció de la temperatura del material o bé per temporització. Quan s'estableixen aquest tipus de sistema, és convenient disposar en la base de la pila un llit de material estructurant (Fotografia 17) que permeti la distribució homogènia de l'aire insuflat, a part de la funció de retenció de lixiviats (veure l'apartat 3.8.2.). Durant l'etapa de descomposició les necessitats d'insuflació o extracció d'aire són majors, mentre que durant la maduració aquestes necessitats són força menors. Per contra, durant la descomposició cal proporcionar algun volteig mecànic del material per a eliminar vies preferents de pas de l'aire, mentre

que en la maduració aquests volteigs no són tan necessaris.

Humectació

La humectació és necessària per a restablir el nivell dels materials que es composten a nivells òptims. De manera ideal, s'ha de realitzar amb volteig per a aconseguir un repartiment adequat de l'aigua aportada. Són molt més freqüents les humectacions en l'etapa més activa (descomposició) que no pas durant la maduració.

Taula 10. Monitorització de les piles de compostatge: la seva composició i el control

Tipus de control	Mitjans
Nom o codi identificatiu de pila, materials, barreja, data d'inici del procés	Llibreta de control
<i>Compostatge</i>	
Temperatura, humitat, O ₂	Full de registre de control
Aireig (volteig, cabals i temps d'aireig en sistemes estàtics) i humectació (dia i volum d'aigua)	Full de registre de control
<i>Compost</i>	
Dies de procés	Llibreta de control
Anàlisi del compost	Carpeta amb anàlisis

3.6.5.3 Monitorització del procés

És del tot convenient dur a terme la monitorització de les piles per tal de comprendre i aprendre de les experiències inicials de compostatge i arribar, així, a estandarditzar el procés per un determinat material. La Taula 10 indica el tipus de control i els mitjans necessaris per fer aquesta monitorització. Un full de registre de dades (Fotografia 15), ja sigui en suport paper o en suport digital, permet anotar (diàriament -preferentment- o cada certs dies) les dades fonamentals (temperatures, pluges, irrigació del material i/o volteig, ...), per tal de poder interpretar l'evolució del procés.

A més a més, és convenient graficar els paràmetres de control del procés i les accions realitzades. En l'exemple que s'inclou en aquesta guia, es mostren figures que recullen la mesura dels paràmetres bàsics del procés (temperatura i humitat) i també les accions realitzades (voltejos i humectació amb el detall dels litres d'aigua aportats) (Figura 2).



Fotografia 15. Full per a la recollida de dades

3.6.5.4 Gestió de problemes en el maneig del compostatge

La pràctica del compostatge és un aprenentatge i, normalment, la manera d'entendre aquesta tècnica és -a part d'adquirir els coneixements dels conceptes bàsics- posant-la en pràctica. A nivell de gestió de piles de compostatge, els punts anteriors són indispensables de cara a iniciar-se en el procés. Tanmateix, hom pot trobar-se amb incidències que impedeixin obtenir la corba de temperatura desitjada (fonamentalment) o d'altres problemes relacionats amb el procés. La Taula 11 recull una sèrie de possibles incidències, les comprovacions que es podrien efectuar per diagnosticar-ne el motiu, com cal analitzar-ne les causes i quines són les solucions possibles.



Taula 11. Gestió de possibles incidències o problemes en el maneig del compostatge

Núm.	Incidència	Comprovacions	Causa probable	Possible solució
1	Les temperatures, a l'inici del procés, no es mouen de valors mesòfils	Determinar/comprovar la humitat del material	<p>a) La humitat és massa elevada i hi ha poca disponibilitat d'oxigen per a què els processos aeròbics (exotèrmics) es donin</p> <p>b) La humitat és massa baixa. Els microorganismes necessiten aigua per a realitzar les seves funcions</p>	<p>a) Caldrà afegir material estructurant (sol ser més sec) i barrejar bé (voltejadora o remolc escampador de fems)</p> <p>b) Afegir aigua tot voltejant o material més fresc que sigui més humit</p>
2	Disminució prematura de la temperatura (no s'aconsegueix un gràfic d'activació-altiplà-refredament progressiu)	<p>Comprovar la humitat del material, revisar si s'han produït temperatures altes durant força temps i si ha plogut (o s'ha regat) recentment i en abundància.</p> <p>Comprovar si el volum de la pila ha disminuït gaire perquè ja s'estigués en una fase avançada del procés</p>	<p>a) Si la humitat és baixa (normalment ve precedit de temperatures altes durant força temps), la temperatura ha disminuït perquè l'activitat dels microorganismes s'ha aturat</p> <p>b) Si la humitat és alta</p> <p>c) Si la humitat és correcta i ha disminuït el volum; podria ser que el material s'hagi degradat ràpid o fos descomposat parcialment</p>	<p>a) Humectar el material tot voltejant</p> <p>b) Mirar d'afegir estructurant, voltejar la pila sovint o dividir la pila per promoure l'evaporació de l'aigua</p> <p>c) Apilar el material amb d'altres de la mateixa edat per tal de mantenir la temperatura alta, el major temps possible</p>
3	Pudors (àcids grassos de cadena curta: butíric)	<p>Veure si, a una certa profunditat de la pila (0.5-0.8 m) hi ha bosses d'anaerobiosi</p> <p>Veure si és puntual o es manté en el temps</p>	Normalment, la causa és la humitat excessiva o manca de material estructurant, que propicia la creació de condicions d'anaerobiosi	Si es manté en el temps cal actuar-hi afegint un material estructurant (de baix contingut hídric) a la pila i barrejar tot bé
4	Emissions evidents d'amoniac	Comprovar la relació C/N del material (valors per sota de 15 promouen la pèrdua de N en forma d'amoniac)	La proporció de dejeccions sòlides és massa elevada	<p>En properes piles de compostatge, addicionar més proporció de material estructurant.</p> <p>Les pèrdues d'amoniac poden ser inevitables, en alguns casos en què no es pugui aportar material estructurant addicional. Tot i això, s'ha d'intentar reduir aquesta pèrdua de nitrogen amoniacal el màxim possible</p>

3.7 Com es va transformant el compost: exemple de la fracció sòlida del purí de vaquí

Degut a l'acció dels microorganismes, principalment, però també a d'altres processos, la matèria orgànica es va transformant fins arribar a establir-se. En aquest apartat es mostra un exemple de com va succeint, sobretot des del punt de vista químic. Es tracta d'una experiència de compostatge de la fracció sòlida del purí de vaquí (FSPV) compostada sola amb mètode estàtic o dinàmic (FS-E i FS-D, respectivament) i la mateixa fracció sòlida co-compostada amb un material estructurant (a base de restes de pi) emprant un mètode dinàmic (FSP-D). Els resultats estan descrits amb més detall a Cáceres i col. (2006) i Cáceres (2003).

Es van muntar i conduir tres piles de materials compostats en trinxeres amb una capacitat unitària de 6 m³, volum prou representatiu per a determinar els principals canvis que succeeixen en aquest tipus de material.

Abans de la implementació del compostatge a la pròpia explotació, és bo realitzar una experiència a escala intermèdia, com és el cas d'aquest exemple, ja que això permet aprendre a realitzar el procés des de l'experiència en condicions més controlades. En aquest sentit, també cal tindre en compte que aquestes proves es van realitzar en un lloc cobert i tancat

(hivernacle en forma de túnel, a les instal·lacions de l'IRTA de Cabrils).

Les restes de pi (P) presenten unes característiques típiques dels materials estructurants, essent el nivell d'humitat baix, la matèria orgànica molt alta i el N relativament baix. Els materials es van barrejar (pila FSP-D) en una proporció 2:1 (v:v). La composició de la FSPV i la barreja (FS amb restes de pi, FSP) es detallen a la Taula 8 (Apartat 2.3.1).



Fotografia 16. Aspecte de la fracció sòlida (FS) (a, dalt) i el material estructurant a base de restes de pi (b, baix) emprats

3.7.1 Gestió (paràmetres de control, accions) i reducció de volum

La Figura 2 mostra la conducció del procés de compostatge en les tres piles controlat durant més de sis mesos, reunint en un mateix gràfic les dades de la temperatura mitjana del material en descomposició, la humitat del material, la ventilació (cas de la pila estàtica), els voltejos practicats i els esdeveniments d'humectació realitzats (en aquest cas, només aplicats en una de les piles, mesurats en decalitres).

Es pot observar que la pila estàtica (FS-E) es va conduir aplicant volum d'aire de manera decreixent i bàsicament durant els primers 50 dies de procés, quan les necessitats d'aire eren les màximes (Figura 2a). La fase d'activació va ser molt ràpida. Com s'ha esmentat anteriorment, aquest tipus de sistema admet que les humitats siguin més elevades ja que, en principi, els nivells d'oxigen necessari es garanteixen amb la ventilació (Haug, 1993). Així doncs, la humitat es va mantenir sempre per sobre del 60% i, també per les condicions en què es va practicar el compostatge, no van ser necessàries humectacions. La temperatura del compost va presentar alguns pics deguts als efectes de la ventilació: la disminució de la temperatura i el dessecament del material, això va impedir que la fase tèrmica d'altiplà fou clara. A partir dels 120 dies del procés, i després d'un volteig, la temperatura va remuntar lleument però després es va comprovar que el

material estava força estabilitzat perquè s'assimilava ja força a la temperatura ambient.

La pila dinàmica amb fracció sòlida exclusivament (FS-D) va mostrar un increment sobtat de les temperatures (Figura 2b) (fase d'activació molt ràpida) però aquestes no assoliren els pics de la pila FS-E. Els voltejos van ser freqüents i la temperatura del material en descomposició va assolir valors mesòfils similars a la temperatura ambient (fase de refredament) al cap d'uns 100 dies des de l'inici del procés.

L'addició de material estructurant a la fracció sòlida (pila FSP-D) va comportar una activació ràpida del procés, però també l'extensió de l'etapa de descomposició (Figura 2c). Aquest fet fou motivat, d'una banda, perquè l'addició de material estructurant comporta el dessecament prematur del material (entre els dies 20 i 40 des de l'inici), de manera que s'atura puntualment l'activitat dels microorganismes, que necessiten humitat per desenvolupar-se. D'altra banda, els materials estructurants rics en lignina alenteixen el procés, ja que contenen substàncies recalcitrants que impedeixen accelerar la descomposició de la matèria orgànica. En conseqüència, s'observa que la temperatura del compost no s'equipara a la temperatura ambient (fase de refredament) fins al cap de sis mesos des de l'inici del procés. En aquest cas, es pot comprovar que la humitat del material va ser més difícil de mantenir al llarg del procés i van ser necessaris tres regs.

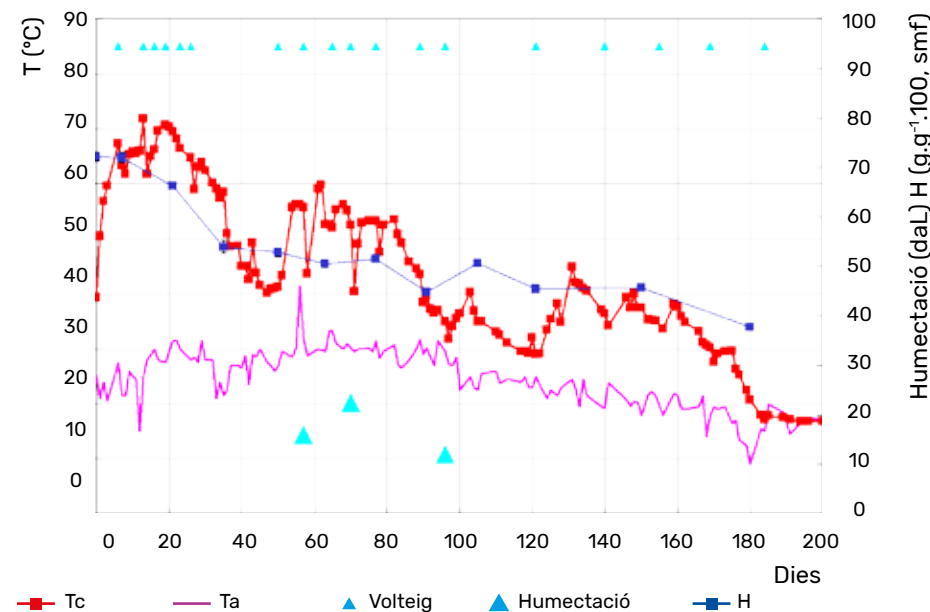
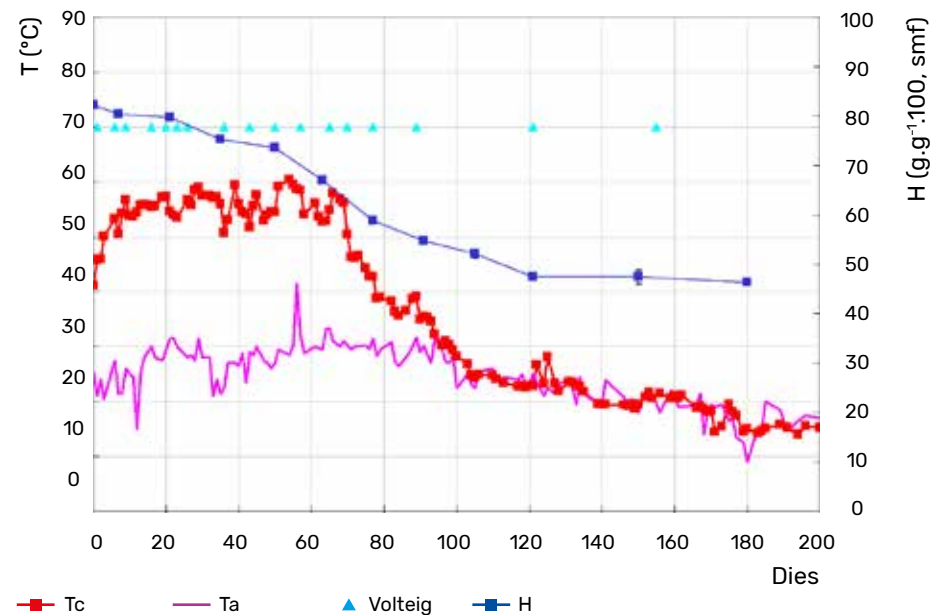
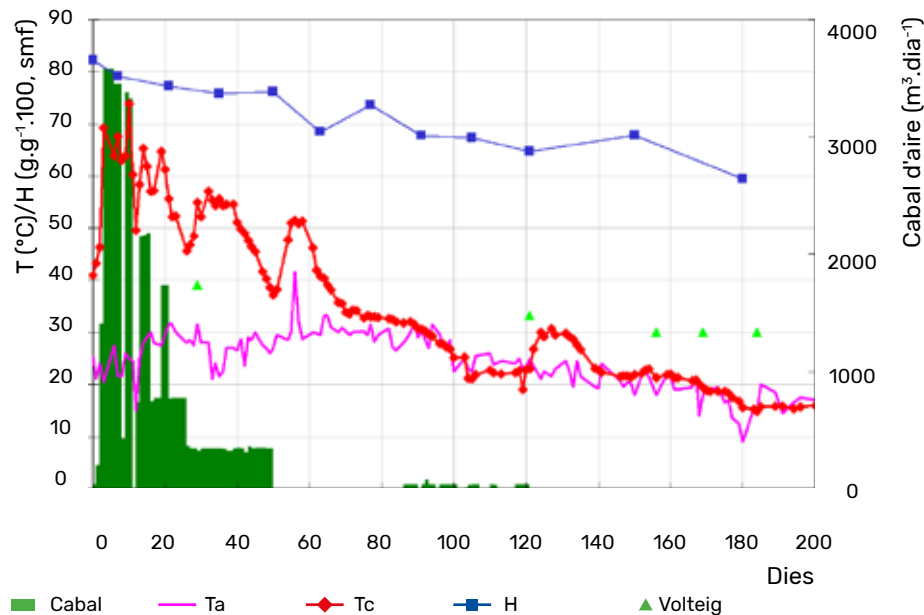


Figura 2. Paràmetres de control i accions realitzades en les piles de compostatge FS-E (Figura 2a, dalt a l'esquerra), FS-D (Figura 2b, dalt a la dreta) i FSP-D (Figura 2c, baix a la dreta)

Font: Cáceres i col., 2006; Cáceres, 2003.

Llegenda:

FS-E: fracció sòlida del purí de vaquí emprant un mètode de compostatge estàtic

FS-D: fracció sòlida del purí de vaquí emprant un mètode de compostatge dinàmic

FSP-D: fracció sòlida del purí de vaquí amb restes de pi com a material estructurant (relació 2:1, v:v)

Paràmetres de control:

Tc: Temperatura control
Ta: Temperatura ambient
H: Humitat

Cabal: Cabal d'aire

La representació de la temperatura i la humitat durant el compostatge, així com de les accions realitzades (volteigs, humectacions, ventilació en sistemes estàtics) contribueixen a entendre el procés en diferents tipus de materials, barreges o sistemes. Si els materials d'entrada són sempre homogenis (o relativament homogenis), els patrons d'evolució de temperatura i d'humitat poden ser molt similars i no caldrà realitzar un seguiment tan minuciós en els successius lots de compostatge dels materials.

Com s'ha advertit, la reducció del volum de la pila durant el compostatge pot ser important. En general, pot arribar al 50%, i sovint implica una pèrdua de pes del mateix ordre. En

l'exemple, es pot comprovar que la disminució de volum va ser molt alta en les piles amb una composició del cent per cent de fracció sòlida de vaquí (FS-E i FS-D, Figura 3). En tots dos casos, es va conservar el 30% del volum inicial. En canvi, en el cas de la pila FSP-D, la reducció del volum va ser inferior, de manera que, aproximadament, es va perdre el 50% del volum. La diferència rau, molt probablement, en la naturalesa del material estructurant, que és més recalcitrant i, per tant, no es degrada tant ni tampoc es compacta ni es mineralitza en tanta proporció com succeeix en les piles amb composició cent per cent de fracció sòlida.

Figura 3. Evolució de la reducció del volum durant el compostatge

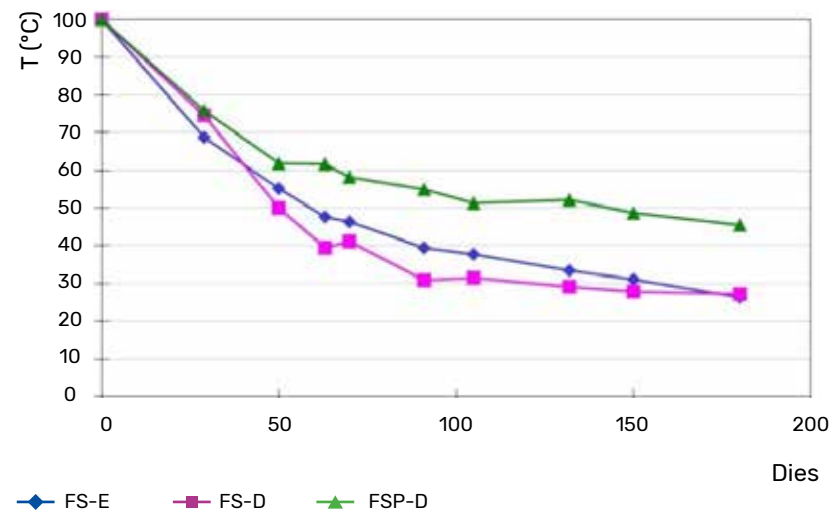
Font: Cáceres, 2003.

Llegenda:

FS-E: fracció sòlida del purí de vaquí emprant un mètode de compostatge estàtic

FS-D: fracció sòlida del purí de vaquí emprant un mètode de compostatge dinàmic

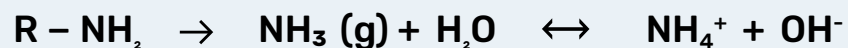
FSP-D: fracció sòlida del purí de vaquí amb restes de pi com a material estructurant (relació 2:1, v:v)



3.7.2 Característiques fisicoquímiques

El pH, mesurat en l'extracte aquós del material sòlid, és una paràmetre que pot proporcionar certa informació sobre el procés de compostatge. Aquest paràmetre sol augmentar durant l'etapa termòfila inicial, degut a la proteòlisi (i per tant, l'amonificació del N orgànic) (Equació 2, Figura 4a). L'amonificació promou la basificació del medi (Equació 2, Cáceres i col., 2006). En l'exemple, aquest fet s'observa més en la pila dinàmica (FS-D). Un cop més avançat el procés, el pH disminuirà, aquest cas sobretot es pot comprovar en la pila estàtica (FS-E). Com es veurà més endavant, aquests episodis de disminució del pH s'associen a la nitrificació que es pot produir al final del procés de compostatge.

Equació 2



Font: Cáceres i col., 2006.

La conductivitat elèctrica (CE) indica el grau de salinitat del producte i es mesura en el mateix extracte aquós que el pH (Figura 4b). Normalment, la CE durant el compostatge augmenta. Justament, això és el que es va produir en el compostatge de les piles del cas exposat. La salinitat assolida per la pila FSP-D fou la menor, degut a l'efecte de dilució que, amb molta probabilitat, va exercir l'estructurant. Els materials estructurants solen tenir una CE baixa (Taula 6) i diferenciada de les dejeccions sòlides (Taula 2), encara que hi ha excepcions.

D'altra banda, l'augment en la salinitat es deu, bàsicament, a l'efecte de la mineralització de la matèria orgànica, en què bona part del carboni orgànic esdevé CO_2 (Equació 1). Per això també s'observa que el màxim pendent de l'augment de la CE s'esdevé en la fase més intensiva del procés, quan les temperatures foren més altes (primers tres mesos). Després, el pendent de les línies de CE tendeix a disminuir (Figura 4b).



Figura 4. Evolució del pH (Figura 4, dalt) i la salinitat (conductivitat elèctrica-CE) (Figura 4, baix) durant el compostatge de la fracció sòlida del purí de vaquí

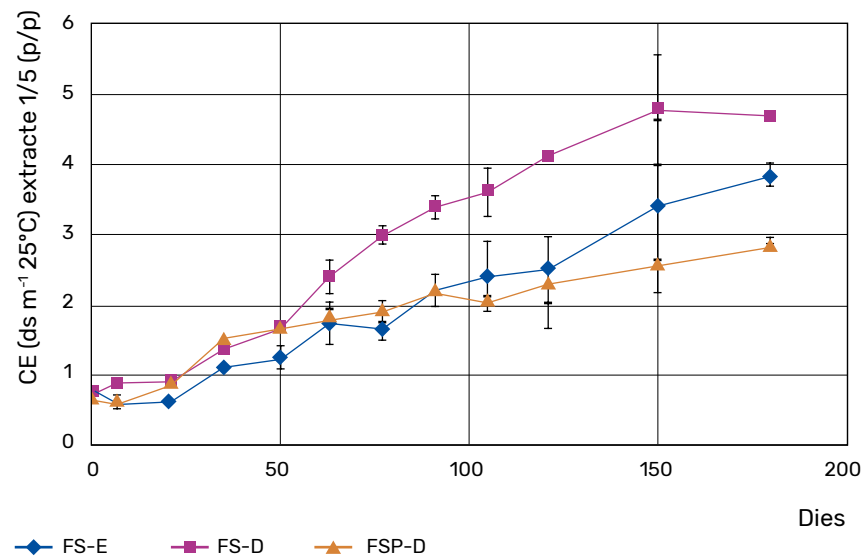
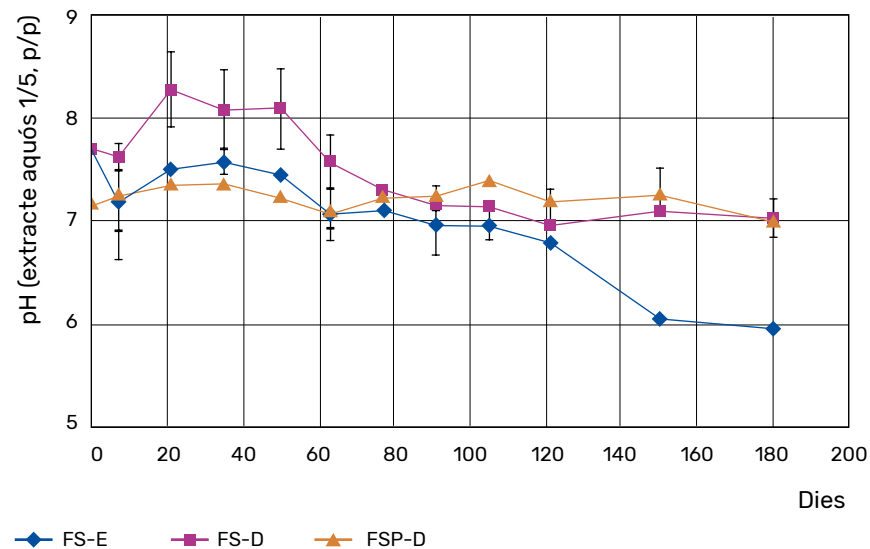
Font: Cáceres i col., 2006; Cáceres, 2003.

Llegenda:

FS-E: fracció sòlida del purí de vaquí emprant un mètode de compostatge estàtic

FS-D: fracció sòlida del purí de vaquí emprant un mètode de compostatge dinàmic

FSP-D: fracció sòlida del purí de vaquí amb restes de pi com a material estructurant (relació 2:1, v:v)



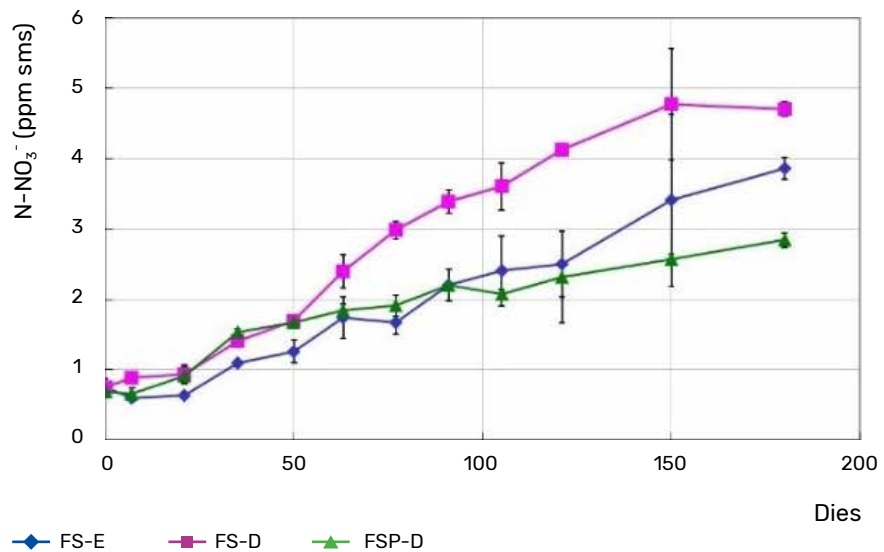
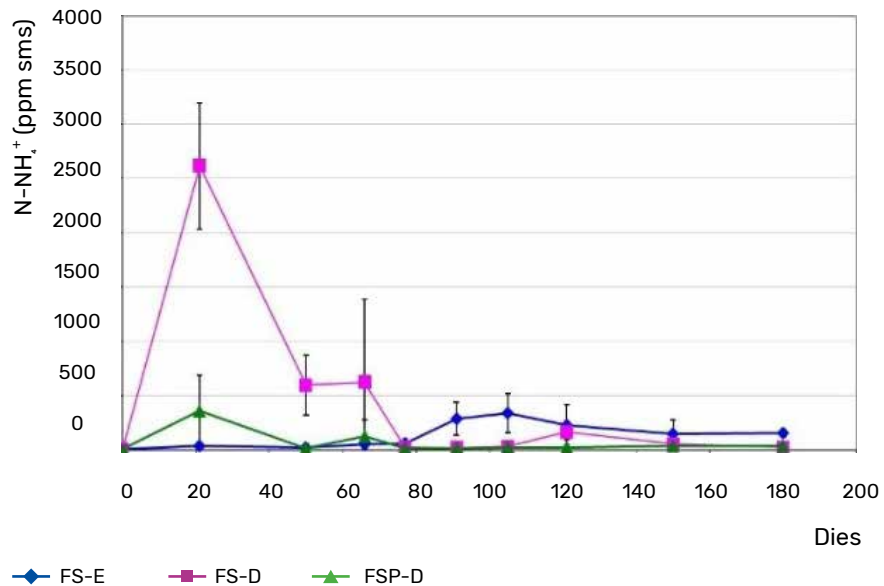


Figura 5. Evolució del N amoniacal (dalt) i del N nítric (baix) durant el compostatge de la fracció sòlida del purí de vaquí

Font: Cáceres i col., 2006; Cáceres, 2003.

Llegenda:
 FS-E: fracció sòlida del purí de vaquí emprant un mètode de compostatge estàtic
 FS-D: fracció sòlida del purí de vaquí emprant un mètode de compostatge dinàmic
 FSP-D: fracció sòlida del purí de vaquí amb restes de pi com a material estructurant (relació 2:1, v:v)

La Figura 5 mostra l'evolució del N amoniacal total (dalt) i la del N nítric (baix) durant el compostatge. Quant al N amoniacal total, es pot comprovar que la pila composta totalment per fracció sòlida en un sistema dinàmic en presenta una concentració molt alta durant l'etapa termòfila inicial, arribant a més de 2500 ppm. Per contra, en aquest període del procés de compostatge no es detecta N amoniacal en el material en descomposició de la pila en del sistema estàtic (FS-E). Això es pot deure a la formació d'amoníac (NH₃), per l'elevat pH i l'alta temperatura; i la ventilació l'evacua de la matriu sòlida. La concentració de N amoniacal del material en descomposició de la pila FSP-D és molt més moderada, mostrant-se, un altre cop en aquest cas, l'efecte de dilució que exerceix el material estructurant. Al final del procés, el N amoniacal és molt baixen totes les piles.

La Figura 5 baix mostra com evoluciona la concentració del N nítric durant el compostatge. A l'inici del procés, la concentració de N nítric és molt baixa en totes tres piles. A

partir dels primers tres mesos, la concentració comença a augmentar gradualment, i després amb més rapidesa en el cas de la FS-E, amb una velocitat intermèdia en el cas de la FS-D i amb poca velocitat en el cas de FSP-D. Així doncs, en aquest compostatge llarg de la fracció sòlida del purí de vaquí es generen nitrats al final procés, degut a la nitrificació, que implica la transformació del N en forma amoniacal a N nítric, procés que és mediatitzat per microorganismes (Cáceres i col, 2018).

Aquest tipus de patró s'ha observat també en el compostatge d'altres dejeccions ramaderes (Cáceres i col., 2016, Cáceres i col., 2021). La nitrificació pot implicar l'acidificació natural del compost (Cáceres i col., 2006). En l'exemple que s'exposa, el compost nitrificat en major mesura (FS-E) va resultar ser el de pH més àcid dels tres (Figura 5 baix; Figura 5 alt).

3.7.3 La matèria orgànica i la seva estabilitat

El contingut de matèria orgànica disminueix, sempre, durant el compostatge. Es deu a la mateixa naturalesa del procés que, com s'ha descrit, implica la mineralització del carboni orgànic de les dejeccions generant-se diòxid de carboni que s'allibera a l'atmosfera.

La Figura 6a mostra aquesta tendència per a les tres piles de compostatge de l'experiència descrita anteriorment. En aquest cas, no hi ha una diferència entre els diversos materials. El que és evident, és que la disminució més important es dona en els primers tres mesos de procés (pèrdua de pràcticament deu punts percentuals), mentre que en els tres mesos següents, el percentatge de matèria orgànica es manté força més estable.

Un altre indicador de l'estabilització de la matèria orgànica és la relació C/N. En aquest cas, es pot comprovar que la disminució d'aquest paràmetre (C/Norg, específicament) al llarg del procés és també més pronunciada en els primers 90 dies, especialment pel que fa a les piles amb cent per cent de fracció sòlida (Figura 6b).

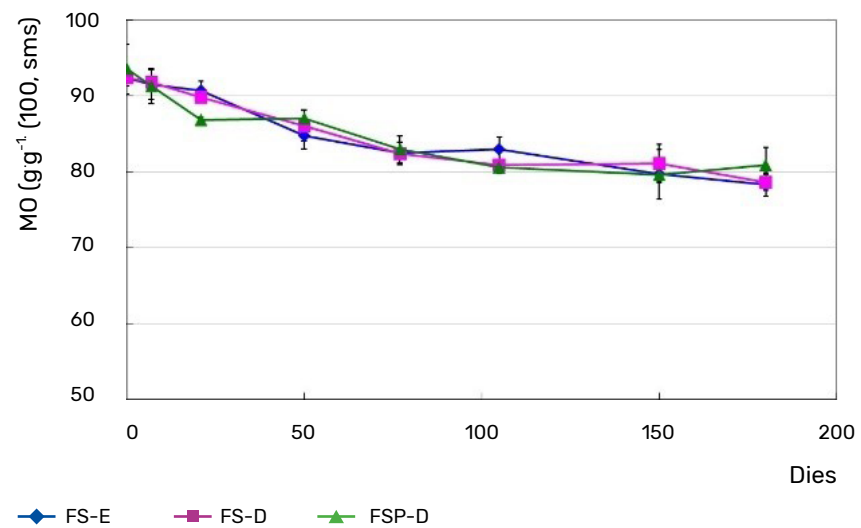


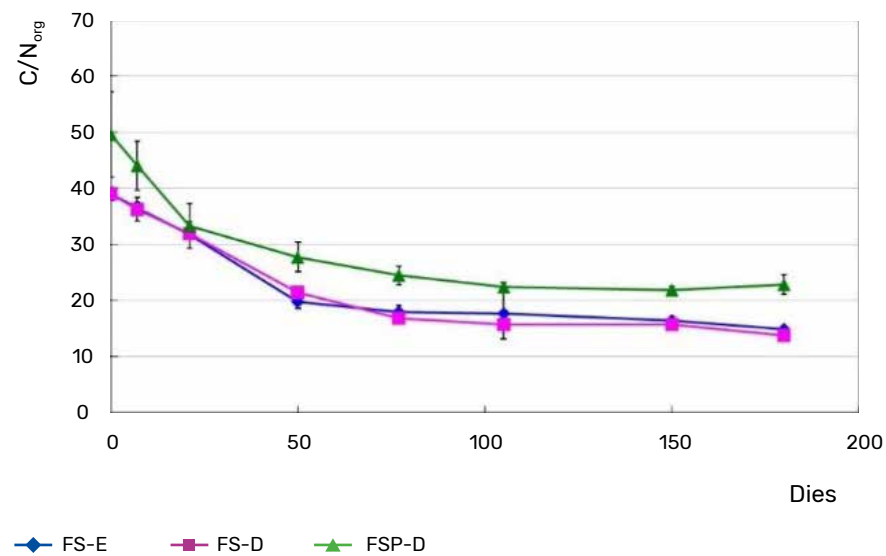
Figura 6. Evolució del N amoniacal (dalt) i de la relació C/N_{org} (baix)

Font: Cáceres i col., 2006; Cáceres, 2003.

Llegenda:

FS-E: fracció sòlida del purí de vaquí emprant un mètode de compostatge estàtic
FS-D: fracció sòlida del purí de vaquí

emprant un mètode de compostatge dinàmic
FSP-D: fracció sòlida del purí de vaquí amb restes de pi com a material estructurant (relació 2:1. v:v)



D'altra banda, un altre paràmetre que informa sobre l'evolució i estabilització de la matèria orgànica és el seu grau d'estabilitat (GE), que indica la part de la matèria orgànica recalcitrant. Per tant, durant el compostatge, aquest paràmetre tendeix a augmentar. La Figura 7 mostra l'evolució del GE durant el procés i la seva tendència a incrementar-se, sobretot durant els primers 90-100 dies. Es parteix de valors al voltant del 27% (sobre matèria orgànica-smo) a les piles amb fracció sòlida exclusivament, i del 32% a la pila de barreja amb restes de pi. Al final del procés s'arriba a valors del 50% (sobre matèria orgànica-smo) en tots tres casos.

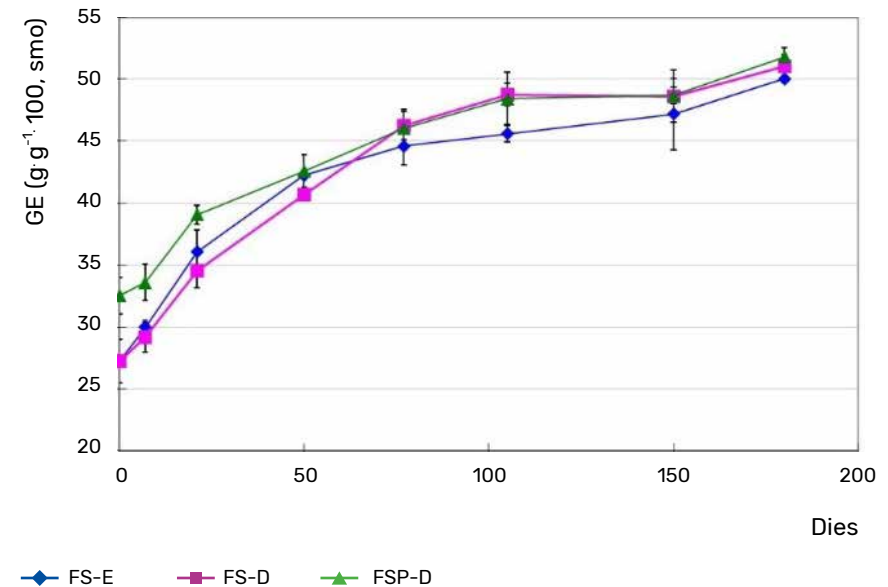


Figura 7. Evolució del grau d'estabilitat de la matèria orgànica durant el compostatge

Font: Cáceres, 2003.

Llegenda:

FS-E: fracció sòlida del purí de vaquí emprant un mètode de compostatge estàtic

FS-D: fracció sòlida del purí de vaquí emprant un mètode de compostatge dinàmic

FSP-D: fracció sòlida del purí de vaquí amb restes de pi com a material estructurant (relació 2:1, v:v)

3.8 Emissions generades durant el compostatge

3.8.1 Origen i tipus

El compostatge comporta la mineralització de la matèria orgànica i la seva transformació. Es tracta de processos que, de manera inevitable, comporten l'emissió de gasos i també d'altres emissions de tipus líquid (que s'anomenen més comunament lixiviats). La implementació d'una tècnica que pretén millorar la gestió de les dejeccions ramaderes, produint una esmena orgànica, ha de procurar minimitzar els potencials efectes adversos que pot generar sobre el medi ambient.

El compostatge normalment comporta una descomposició intensiva ja que només hi ha materials orgànics. És un procés més intensiu respecte al que es produeix en els sistemes naturals (o fins i tot agrícoles). En sòls agrícoles o forestals, la maduració de la matèria orgànica residual es realitza amb poca quantitat de residus (fulles, restes d'animals...) que es dipositen en la part superior del sòl i que es va degradant lentament a sobre d'un substrat majoritàriament inorgànic. Evidentment, sota aquestes condicions, els processos de descomposició són poc intensius de manera que no es generen tantes emissions i l'afectació del medi és mínima.

El nivell d'emissions en el compostatge dependrà, en

gran mesura del grau d'estabilitat dels productes que es composten.

Emissions gasoses

L'emissió de gasos s'ha de minimitzar per tal d'evitar al màxim no només l'impacte ambiental del tractament, sinó també les pudors que pot provocar.

Diòxid de carboni (CO₂)

Es tracta del gas que és fruit dels processos respiratoris dels microorganismes. El CO₂ es genera de manera més important en l'etapa de descomposició de la matèria orgànica, en la qual la intensitat del compostatge és màxima. Normalment, l'elevada emissió de CO₂ es correlaciona amb temperatures altes que també expressen alta activitat microbiana. El CO₂ emès durant el compostatge és d'origen biogènic.

Metà (CH₄)

Tot i que no és una emissió gasosa pròpia del procés, es genera si es produeixen condicions anaeròbiques durant el compostatge. Malgrat que no sigui un escenari desitjable, sovint no es pot garantir totalment l'aerobiosi, especialment en les primeres etapes del procés, quan el consum d'O₂ és tan elevat que es pot arribar a esgotar en la matriu en descomposició. En aquest cas, es formarien bosses d'anaerobiosi des d'on s'emetria el metà. Es tracta d'un gas que contribueix 25 cops més que el diòxid de carboni a l'escalfament atmosfèric, per això és tan necessari garantir la presència d'oxigen en les piles de compostatge.

Amoníac (NH₃)

Les emissions d'amoníac es generen perquè les dejeccions sòlides tenen una bona part del N en forma amoniaca i, a més a més, en la fase de descomposició també se'n genera a causa de la proteòlisi. Aquest mateix procés basifica el medi, i el pH alt, conjuntament amb temperatures altes, incentiva el pas de N amoniaca a amoni (equació 2). L'amoníac no és un gas d'efecte hivernacle. No obstant, és acidificant i comporta la pèrdua de nitrogen cap a l'atmosfera.

Òxid de dinitrogen (N₂O)

L'emissió d'aquest gas està relacionada amb els processos de nitrificació i desnitrificació (Esquema 2) i es genera sobretot quan aquests dos sub-processos que es poden produir a les piles de compostatge no són del tot complerts.

Nitrogen gas (N₂)

Hi ha diferents referències bibliogràfiques que assenyalen pèrdues de N en forma de nitrogen gas (Cáceres i col., 2018). Això es produeix quan el N amoniaca present en el material en descomposició es nitrifica i després, en determinades condicions que es puguin produir accidentalment (anaerobiosi), actüin microorganismes desnitrificants que transformin els nitrats en N₂. En si mateix, el N₂ no és un gas contaminant ja que el trobem a l'atmosfera en un 78%, aproximadament. Però el procés de desnitrificació implica la pèrdua de nitrogen en forma nítrica en el compost i això significa una pèrdua del seu valor fertilitzant.

Àcid sulfhídric (SH₂)

Es tracta d'un compost que es pot produir en condicions anaeròbiques i, per tant, no desitjades durant el compostatge. En conseqüència, s'haurien d'evitar les condicions reductores per tal de minimitzar la seva generació, especialment en materials orgànics molt rics en sofre i en ambients confinats, ja que és un gas molt tòxic i que pot ser mortal a concentracions altes. En aquest sentit, cal remarcar que, a baixes concentracions, l'olor és la típica d'ous podrits, però a alta concentració (quan l'exposició al gas té un risc màxim) la pudor és imperceptible. En particular, s'ha descrit que la gallinassa pot ser una de les dejeccions sòlides amb més proporció de sofre (Bao i col., 2010).

Àcids grassos de cadena curta

Es tracta, bàsicament, dels àcids acètic, butíric i propiònic. Aquests compostos es produeixen, també, en condicions anaeròbiques i especialment en les primeres etapes del procés. Per tant, afavorint la presència d'oxigen a la pila no s'haurien de generar. Tot i que poden restar en la solució aquosa del material en descomposició, es poden volatilitzar generant males olors.

Altres

Hi ha d'altres compostos químics que poden contribuir a les males olors com ara mercaptans (Haug, 1993).

Emissions líquides

Les emissions líquides que es poden generar en el compostatge són, bàsicament, els anomenats lixiviats. Es tracta d'uns efluents que es produeixen a l'inici del procés, quan el material és molt humit i la disposició en piles fa que percolin fluids líquids per la base de la pila. Més avançat el procés, també es generen lixiviats després de regar el material en descomposició, particularment quan els sistemes d'aportació d'aigua no són eficients. En el sistema de compostatge en piles, a l'aire lliure (sense cobert) la producció de lixiviats també es pot associar a la presència de pluges fortes i/o continuades.

Els lixiviats són líquids amb una alta càrrega d'elements, que si no es gestionen adequadament poden donar lloc a contaminació. La Taula 12 mostra la composició de lixiviats generats en el compostatge de dejeccions de vaquí (LV) i de porcí (LP) (Cáceres i col, 2015b). Es pot observar un alta concentració de sals en termes de conductivitat elèctrica (CE) i una elevada concentració de nutrients, en particular, de N en forma amoniacal. La concentració de potassi també és força significativa. En conclusió, el contingut en macronutrients és molt alt, però també són destacables les concentracions de clorurs i sodi.

A part, durant el compostatge es poden generar condensats en l'etapa més activa del procés de descomposició.

Taula 12. Cáceres i col., 2015b. Caracterització de lixiviats del compostatge de fems de vaquí (LV) i porcí (LP)

Paràmetre	Unitats	LV	LP
pH (1:5) ¹	-	8,4	8,4
CE (1:5) ²	dS m ⁻¹	2,80	4,05
Sòlids totals	% pes fresc	1,8	2,0
Sòlids volàtils	%, pes sec	48,9	45,2
Sòlids suspesos totals	mg L ⁻¹	3.176	105
Norg	mg L ⁻¹	486	720
N-NH ₄ ⁺	mg L ⁻¹	614	894
N-NO ₃ ⁻	mg L ⁻¹	1,7	14,7
Ràtio C/N	g g ⁻¹	4,6	3,2
P	mg L ⁻¹	113	32
K	mg L ⁻¹	3.429	4.734
Cl ⁻	mg L ⁻¹	918	2.133
Na	mg L ⁻¹	630	1.044
Ca	mg L ⁻¹	614	102
Fe	mg L ⁻¹	131	40
Mg	mg L ⁻¹	153	58
S	mg L ⁻¹	135	164
Cu	mg L ⁻¹	2,14	0,38
Zn	mg L ⁻¹	3,24	1,72

Nota:

1. pH i CE es van mesurar en una dilució 1:5 (p:p), proporcions referides a lixiviat fresc i aigua destil·lada, respectivament

2. CE: conductivitat elèctrica

Aquests condensats es poden captar, especialment, en sistemes de compostatge tancats (o confinats) a partir de la condensació per refredament de l'aigua evaporada del material en descomposició. Es generen en poca quantitat, però poden contenir concentracions apreciables d'amoni present en les microgotes o aerosols generats en l'etapa més intensiva del procés (Janczak i col, 2017).

3.8.2 Evitació i gestió de les emissions

Emissions gasoses

S'han de procurar reduir les emissions gasoses que es poden generar (sobretot en les fases inicials del procés), per tal de minimitzar l'impacte de la tècnica del compostatge sobre el medi. Aquest impacte es pot determinar a través de la mesura, durant el procés, de cada tipus d'emissió. Cal tenir en compte que l'emissió de gas no només dependrà del material, sinó de les condicions en què estigui i l'etapa del procés en què es trobi. És important poder relacionar les emissions amb la composició del material i amb aquestes condicions.

La Taula 13 recull les mesures d'evitació (prevenció) o mitigació (disminució de l'efecte) per la generació dels gasos que s'han descrit en l'apartat anterior.



Piles de compostatge fumejant

Taula 13. *Mesures d'evitació o mitigació d'emissió de gasos durant el compostatge*

Gas	Evitació	Mesura de mitigació
CO ₂ Diòxid de Carboni	No es poden evitar, són intrínseques en el compostatge	Es pot mitigar rebaixant la intensitat del procés afegint a la barreja materials amb C recalcitrant. En sistemes tancats o en sistemes estàtics d'aspiració, potencialment, es podria recollir el CO ₂ per a emprar-lo en l'àmbit agronòmic
CH ₄ Metà	Especialment, a l'inici del procés, s'han de promoure les condicions aeròbiques	En barreges molt humides o materials poc estructurats, s'han d'afegir materials estructurants i s'ha d'ajustar la humitat del material
NH ₃ Amoníac	Disminuir la relació C/N, particularment, la proporció de materials rics en N	Es podria estudiar la viabilitat d'acidificar el material en la fase més activa del procés. Un cop es genera amoníac, en sistemes tancats o estàtics d'aspiració es podrien recollir els condensats o tractar l'aire enrariat amb <i>scrubbers</i> (depuradors) o biofiltres. El sistema de cobriment de piles amb membranes geotèxtils també redueix les emissions d'amoníac
N ₂ O Òxid de dinitrogen	Minimitzar els processos de nitrificació o desnitrificació (veure apartat 3.1.2.), o fer que siguin processos complets	Cap
N ₂ (*)	Evitar condicions anaeròbiques en compost amb nivells elevats de nitrats	Cap
SH ₂ Àcid Sulfhídric	Especialment a l'inici del procés, s'han de promoure les condicions aeròbiques. Disminuir la proporció de materials rics en sofre	En sistemes tancats o estàtics d'aspiració es podrien recollir els condensats o tractar amb <i>scrubbers</i> (depuradors) o biofiltres l'aire enrariat. Afegir materials estructurants per a millorar l'estructura física de la barreja i ajustar la humitat
Àcids grassos	Especialment a l'inici del procés, s'han de promoure les condicions aeròbiques	En sistemes tancats o estàtics d'aspiració es podrien recollir els condensats o tractar amb <i>scrubbers</i> (depuradors) o biofiltres l'aire enrariat. Afegir materials estructurants per a millorar l'estructura física de la barreja i ajustar la humitat

Nota:

(*) Cal recordar que el N₂ no és un gas perjudicial, però els processos associats a la pèrdua de N com a N gas són la mateixa pèrdua de nitrogen i processos de desnitrificació que poden comportar l'emissió de N₂O.

D'altres mesures generals que es porten a terme, o que estan referides a la bibliografia, són:

Addició de biocarbó (biochar) a la barreja

El biochar és el producte resultant d'una piròlisi de material llenyós, normalment, en condicions controlades, i és ric en carboni molt recalcitrant. A més, aquest material orgànic es caracteritza per tenir una superfície específica molt alta. S'ha descrit que addicions del 5 al 10% de biochar abans de l'inici de la fase de descomposició poden reduir l'emissió de NH_3 a l'atmosfera, justament per processos d'adsorció que pot proporcionar el material. S'han publicat força treballs que descriuen l'efectivitat d'aquesta mesura, no obstant, el preu del producte és alt i no fa viable, econòmicament, el seu ús en alta proporció (Sánchez-Monedero, 2021).

Tractament de gasos: scrubber i biofiltre d'aire enrarit

Quan els gasos es poden recollir (per ser sistemes tancats o per ser sistemes estàtics amb aspiració) és possible realitzar un tractament dels mateixos per tal d'evitar-ne l'alliberament a l'atmosfera. El scrubber és un sistema que "renta" el gas amb aigua polvoritzada. El biofiltre és un sistema de depuració de gasos de base biològica en què es disposa un volum de material porós (per exemple, compost o escorça de pi) en el qual s'installeixen els microorganismes i tracten alguns dels components continguts en l'aire enrarit sortint del compostatge.

Addició d'una capa de compost o escorces a la pila de compostatge

L'addició d'aquest tipus de material a una pila de compostatge realitza el mateix efecte que el que constituïria un biofiltre, però amb una efectivitat menor, lògicament.

Lones amb membrana geotèxtil

Les lones que s'utilitzen per al compostatge dels sistemes semioberts i estàtics estan formades per tres capes: un teixit interior i un teixit exterior de PES HT Taslan (lones de polièster de filaments d'alta tenacitat amb fibra Taslan, formada per poliamida), i una membrana transpirable i impermeable a l'interior. Aquestes lones aconseguen cambres d'aire entre les fibres, facilitant la retenció de males olors, ja que les substàncies queden retingudes i dipositades en aquestes cambres d'aire. D'altra banda, tenen una alta permeabilitat a l'aire i al vapor d'aigua (subministrament d'oxigen a l'interior del material uniforme i ràpid assecatge). Les membranes permeables capturen i recullen l'amoníac i permeten el pas de CO_2 (Padrosa, 2017).

Emissions líquides

La generació de lixiviats es pot minimitzar, a l'inici del procés, incorporant a la base de la pila un "llit" de material estructurant que absorbeixi els líquids (Fotografia 17). Els materials estructurants són normalment secs. Per a aquesta aplicació, convé que l'estructurant sigui de mida més aviat petita.

Fotografia 17. Disposició d'una capa de material estructurant per a facilitar l'absorció dels lixiviats i la ventilació passiva de la pila



Els lixiviats que es generen en una pila de compostatge s'han de recollir. Un pendent lleu del terra a base de formigó permet la canalització i recollida d'aquests efluents. Es poden conduir cap a una bassa (en instal·lacions grans) o cap a una arqueta o dipòsit impermeabilitzat enterrat al sòl. Pot ser interessant incorporar sistemes de sedimentació i filtratge abans de reincorporar els efluents al compostatge, ja que es poden reaprofitar en el mateix procés tot fent-los servir per a regar les piles en descomposició. En cap cas s'haurien de regar amb ells les piles en maduració, atès que es podria re-inocular el material amb propòguls de patògens que ja haurien estat eliminats en la fase termòfila de la descomposició.

Si, per alguna raó, els lixiviats no es poden aprofitar totalment en el compostatge, podrien utilitzar-se directament com a fertilitzants dels cultius amb les mateixes restriccions que les dejeccions ramaderes sense tractar, en cas que provinquin d'un compostatge en origen. D'altra banda, a nivell experimental s'ha comprovat que el N amoniacal que contenen (Taula 12) es pot nitrificar i fer servir com a solució fertilitzant dels cultius (Cáceres i col., 2015b).

Els condensats són difícilment evitables. No obstant l'aigua evaporada de les piles es podria recollir, com ja s'ha indicat, en segons quins sistemes tancats (i sistemes estàtics, amb extracció d'aire); això permetria, de retruc, capturar l'amoníac i altres substàncies.



Fotografia 18. Bassa de recollida de lixiviats d'una planta de compostatge

3.9 Mesures de seguretat i higiene

La gestió del compostatge requereix prendre mesures de seguretat i higiene en el treball. Normalment, això afectarà feines relacionades amb l'ús de la maquinària. Per exemple: trituració de material estructurant (protecció d'oïdes, d'ulls i pell contra la pols i les estelles), màquines voltejadores (distància física per evitar els esquitxos de materials,...), pala carregadora per al volteig (protecció contra la pols, aerosols amb microorganismes,...).

La transformació de grans quantitats de matèria orgànica no és totalment innòcua. Els materials orgànics resultants poden tenir concentracions apreciables de microorganismes, alguns dels quals poden ser perjudicials, tot i que si es realitza correctament sempre serà millor, en aquest aspecte, un compost que un fem sense compostar.

A més a més, l'acció microbiana i les reaccions químiques que tenen lloc dins la pila provoquen l'emissió d'alguns gasos que tampoc no són innocus. Per aquest motiu, cal incentivar sempre prendre mesures per a mitigar els possibles perjudicis per a la salut humana i el medi ambient.

El compostatge en granja se sol practicar a l'aire lliure, amb la qual cosa els efectes perjudicials esmentats poden reduir-se considerablement. Més atenció s'ha de posar en cas que el compostatge es realitzi en un entorn tancat, cas en el qual s'han de prendre mesures per afavorir la ventilació de l'entorn confinat.

En altres entorns no rurals (urbans), el compostatge es practica en túnels tancats i d'aquesta manera es poden controlar i tractar les emissions del procés.

Algunes entitats (Anonymus, 2014; Cornell University 2016; Duckworth, G. 2005) han editat documents en relació a les mesures de seguretat i higiene que s'haurien de prendre en instal·lacions de compostatge

4 Experiències de compostatge en granja a Catalunya

Les característiques tècniques de les instal·lacions de compostatge de dejeccions ramaderes en origen a Catalunya són diverses. Aquest document presenta diferents experiències de compostatge en granja que existeixen des de fa un temps en el territori o que estan implementant-se. La selecció s'ha realitzat en base a la importància del sector ramader en les diferents parts del territori català: comarques del Segrià, la Noguera i Osona.

Es presenten dades generals de les granges i de les instal·lacions de compostatge. També s'aporten dades dels materials frescos (dejeccions, i si fos el cas, materials estructurants o que fan de jaç) i també els composts obtinguts. Les dades dels materials que es descriuen fan referència a unes mostres que es van prendre puntualment. En conseqüència, poden trobar-se alguns valors poc coherents, que es comentaran. No obstant, en general, les dades representen força bé la composició d'aquests materials.

D'altra banda, es presenta l'experiència d'una cooperativa que està impulsant, entre els seus socis, el compostatge en granja.

4.1 Experiència a)

Orientació productiva i dimensió

Es tracta d'una granja dedicada a la producció de llet crua de vaca ubicada al Segrià. Els animals estan disposats en cubicles i també en jaç compostant (llet calent). Disposa d'unes 3.000 places de vaques de llet, 800 places de cria i 900 places de reposició.

Característiques de la planta

La planta s'ubica en un dels extrems de l'explotació ramadera i té una dimensió d'1 hectàrea. El terreny està impermeabilitzat amb formigó. Compta amb un espai per a l'etapa de



Fotografia 19. Imatge aèria de la planta de compostatge (l'experiència a)

descomposició, un altre per a la de maduració i també amb un espai per al garbellat, en el qual se separen els grumolls de més de 10 mm per a comercialitzar un compost de diàmetre de partícula més petit.

La planta disposa d'un sistema de reg de les piles en descomposició. Els lixiviats es recullen en una petita bassa.

Materials entrats al compostatge (ús possible d'estructurant)

Tots els materials que es composten són dejeccions ramaderes generades en la mateixa explotació. La fracció sòlida del purí que es genera en les sales amb cubicles s'utilitza com a jaç a les sales on hi ha implementat el sistema de jaç compostant. També es composten els fems dels vedells de cria.

Procés: durada, etapes

El procés es divideix en dues etapes: la de descomposició, que pot durar de 3 a 5 mesos, i la de maduració, que acostuma a durar 1-2 mesos. Durant la descomposició, el material es disposa en piles d'alçada mitjana, i és voltejat i també humectat. Les dimensions de les piles en descomposició venen donades per les de la màquina voltejadora, i són d'aproximadament 1,80 m d'alçada i 5,5 m d'amplada. Durant aquesta fase, el material es volteja entre 20 i 35 cops per cicle, mentre que en la maduració el material no se sol voltejar.

Composició del material d'entrada i de sortida

Els fems frescos tenen un percentatge de matèria orgànica del voltant del 54% (Taula 14). Es tracta d'una xifra baixa, que probablement s'explica perquè bona part dels fems provenen de corrals amb jaç compostant, de manera que en aquestes condicions el material ja hagi experimentat una certa mineralització.

Taula 14. Caracterització de materials de l'explotació de l'experiència a): paràmetres relacionats amb la matèria orgànica (MO) i el nitrogen (N)

Nota:

(*) Aquest material, que es podria considerar com a estructurant, no s'afegeix expressament als fems a l'hora de compostar, sinó que s'agrega als estables per a millorar la confortabilitat del bestiar.

Llegenda:

Norg: nitrogen orgànic
Nnh: nitrogen no hidrolitzable
Nam: nitrogen amoniacal
sms: sobre matèria seca
smo: sobre matèria orgànica
nd: no determinat

	Matèria orgànica (MO)	Grau d'estabilitat (GE)	Norg	Nnh	Nam	C/Norg
	%, sms	%, smo	%, sms	%, sms	%, sms	g/g
Fems frescos	53,9	54,5	1,80	1,05	0,53	17,4
Palla picada *	91,27	18,25	0,72	0,24	nd	73,5
Compost	31,2	55,1	1,41	0,9	0,12	12,8

El compost té una proporció de MO del 31% sobre matèria seca. El contingut de N orgànic del material fresc és moderat, i també en el compost resultant. El percentatge de N amoniacal total és relativament baix en el material fresc i encara més baix en el compost (Taula 14). Una part d'aquesta fracció mineral de N (N amoniacal) es troba en forma soluble, essent els valors normals per aquest tipus de producte (Taula 15). El N no hidrolitzable dels fems frescos és força alt i és menor el corresponent al compost. Aquest resultat no resulta ser gaire coherent i per tal de comprovar aquesta tendència s'hauria de realitzar un mostreig inicial i final d'un mateix lot de material posat a compostar.

El grau d'estabilitat de la matèria orgànica dels fems frescos és alt (Taula 14) i, en aquest cas, presenta valors semblants als del compost (normalment, el GE del compost sol ser més elevat que el dels fems frescos). El GE de la palla picada és baix (al voltant del 18% sobre matèria fresca-smf). El Nnh de la palla

és, aproximadament, un terç menor que el Norg del material. La concentració de fòsfor i potassi en les dejeccions fresques és de 0,51 i 4,51 % (sms), respectivament. El compost en va presentar concentracions superiors (0,65 i 4,88 %, sms, respectivament). L'increment de la concentració es deu a la mineralització i pèrdua de carboni durant el compostatge (Cáceres i col, 2006).

El pH del material fresc i del compost són alts (Taula 15), mentre que la palla picada presenta un pH relativament neutre. Com és normal, el N amoniacal soluble és alt, i el corresponent a la palla i al compost és relativament baix (al voltant de 100 ppm sobre matèria seca-sms). En la palla picada no s'han detectat nitrits i la concentració en els fems frescos, i en el compost, és molt baixa (Taula 15). En els fems frescos no es van detectar nitrats, al contrari del que va succeir en la palla picada, que en va presentar un cert nivell no esperable per aquest tipus de producte. El compost sí que presentava nivells

Taula 15. Caracterització de materials de la granja de l'experiència a): paràmetres determinats sobre un extracte aquós 1:5 (p:p)

Nota:

(*) Aquest material, que es podria considerar com a estructurant, no s'afegeix expressament als fems a l'hora de compostar, sinó que s'agrega als estables per a millorar la confortabilitat del bestiar.

Llegenda:

sms: sobre matèria seca
N-NH₄⁺: nitrogen amoniacal soluble
N-NO₂⁻: nitrogen en forma de nitrit
N-NO₃⁻: nitrogen en forma de nitrat

	pH	Conductivitat elèctrica (CE)	N-NH ₄ ⁺ soluble	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻
	-	dS/m	mg/kg, sms	mg/kg, sms	mg/kg, sms
Fems frescos	8,93	4,8	1.813	5,3	0
Palla picada*	7,38	3,6	133	0,0	88,1
Compost	9,50	6,7	104	11,2	471

relativament alts de nitrats tot i que la nitrificació (relativament feble) que hauria experimentat aquest material no hauria comportat l'acidificació natural del producte, que seria el més habitual. Seria interessant en un futur, realitzar un seguiment durant tot el procés de compostatge.

Les propietats físiques dels materials que entren (fems frescos i palla picada) i que es generen (compost) a la granja de l'experiència a) s'exposen a la Taula 16. La humitat de la palla, que en aquest cas és picada, és força baixa i se situa al voltant del 13%. Els fems tenen una humitat alta, però no excessiva. El compost, en canvi, presenta una humitat menor.

Quant a la porositat total, la palla picada té un espai porós total (EPT) molt alt, proper al 100% en volum, essent la capacitat d'aireig molt alta (més del 78% en volum). La capacitat de retenció d'aigua és doncs molt baixa. Pel que fa als fems, tenen un espai porós alt amb molta capacitat de retenció d'aigua i feble capacitat d'aireig. S'ha de dir que els fems ja contenen

palla picada, que és el material que es fa servir per al jaç. En tot cas, la palla picada és un material que aquesta explotació pot emprar, eventualment, per a barrejar amb els fems en cas necessari. El compost, per raó de la compactació i també de la mineralització de la matèria orgànica, conserva menys EPT respecte als fems frescos, i la capacitat d'aireig és força menor que als fems, mentre que la capacitat de retenció d'aigua és del mateix ordre. Els resultats de Dap i Dr de la palla picada reflecteixen, també, la lleugeresa d'aquest material (Taula 16).

Gestió del compostatge

L'empresa realitza el compostatge en granja des de fa uns cinc anys, i actualment s'hi generen 3.300 tones de compost per any. El procés el gestiona una persona externa experta en compostatge que, conjuntament amb els propietaris, ha desenvolupat i optimitzat aquesta activitat. La part de producció de compost a l'explotació ramadera ha esdevingut una part del negoci de l'empresa ja que, a hores d'ara, genera beneficis.

Taula 16. Caracterització de materials de l'explotació de l'experiència a): paràmetres físics

Nota:

(*) Aquest material, que es podria considerar com a estructurant, tot i que no s'afegeix expressament als fems per a compostar ja que els fems ja en tenen per l'addició que es fa als estables per a millorar la confortabilitat del bestiar.

Llegenda:

smf: sobre matèria fresca
EPT: espai porós total
CA: capacitat d'aireig
CAIG: capacitat de retenció d'aigua
Dap: densitat aparent
Dr: densitat real

	Humitat	EPT	CA	CAIG	Dap	Dr
	%, smf	%, volum	%, volum	%, volum	g/cm ³	g/cm ³
Fems frescos	66,33	89,47	32,38	57,09	0,24	2,29
Palla picada *	13,11	97,72	78,32	19,40	0,04	1,60
Compost	29,02	70,38	12,01	58,37	0,60	2,03

4.2 Experiència b)

Orientació productiva i dimensió

L'explotació disposa d'unes 300.000 places de gallines ponedores i d'unes 250.000 places de cria. La major part de les ponedores estan engabiades (87% de les places) i d'aquí prové la gallinassa. L'empresa, però, disposa d'altres línies de producció d'ous provinents de gallines en llibertat (13% de les places). També produeixen gallines de cria, que representen un quarta part de la producció total de l'empresa.

Característiques de la planta

La planta està ubicada en una zona annexa a l'explotació. Té una dimensió d'1,22 ha. Part del terra està impermeabilitzat amb formigó, en particular la zona d'acumulació de gallinassa i l'àrea on es disposen les piles en descomposició. A la zona de descomposició es disposen les piles amb unes dimensions aproximades de 90 x 3 metres, mentre que a la zona de maduració el material s'acumula en munts més grans, de 35 x 9 metres.

La planta disposa d'una bàscula per a controlar les entrades i sortides de material, així com d'una pala carregadora per a moure el material i d'un arreu de volteig que es pot acoblar a la presa de força del tractor.

La voltejadora disposa d'un sistema d'humectació de les piles que s'utilitza poques vegades. Normalment s'aporta aigua a les



Fotografia 20. Imatge de pila de compost (al fons) i piles en descomposició (en primer terme) de la planta de compostatge de l'experiència b)

piles de descomposició fent passar un tractor amb cisterna per regar amb vano. Les piles de maduració, si han tingut un bon control anteriorment, no requereixen l'aportació d'aigua.

Materials entrats al compostatge

Els materials que es composten són exclusivament els provinents de les granges d'aviram. No s'hi afegeix cap mena de material estructurant.

Procés: durada, etapes

La durada del procés de descomposició normalment varia de 4 fins a 9 setmanes, depenent de l'època de l'any. La maduració oscil·la entre els 6 i els 10 mesos. En comptes de

l'addició de materials estructurants, que es va practicar durant un temps a l'empresa, es realitzen més voltejos; en l'etapa de descomposició es volteja pràcticament cada dia.

Composició del material d'entrada i de sortida

La Taula 17 mostra la composició de la gallinassa fresca i el compost que es genera. La matèria orgànica del material d'entrada és relativament baixa (68,5% sobre matèria seca-sms) i el compost en presenta un valor encara inferior, com és lògic (53,9%). Es pot observar l'alt contingut de N amoniacal del producte fresc (més del 4%) i l'elevat percentatge d'aquesta forma nitrogenada amoniacal al compost (més d'un 1%). Una part molt important del N amoniacal en tots dos productes (material fresc i compost) es troba en forma soluble (Taula 18). El N orgànic en ambdós materials és el mateix (Taula 17), mentre que el nitrogen no hidrolitzable és superior en el compost, fet que és coherent amb la dinàmica del compostatge (Cáceres i col., 2015a, 2016).

La concentració de fòsfor i potassi en les dejeccions fresques és del 2,2 i del 2,65 % (sms), respectivament. El compost en va presentar concentracions força superiors (3,39 i 4,86 %, sms, respectivament). L'increment de la concentració es deu a la mineralització de carboni durant el compostatge (Cáceres i col, 2006).

El pH de la gallinassa fresca és relativament baix (Taula 18), comparat amb altres dejeccions sòlides. Aquest fet es pot deure a la generació d'àcids orgànics de cadena curta (o d'altres àcids, com ara el sulfhídric) que poden aparèixer en condicions anaeròbiques. El compost té un pH relativament alt.

La salinitat del material fresc, i sobretot del compost, és força alta, com és habitual en aquest tipus de producte. Es detecta una certa concentració de N en forma de nitrats en tots dos materials (Taula 18). Es tracta de valors baixos que es poden deure a l'elevada concentració de N amoniacal soluble i total (Taula 18 i 17, respectivament) en tots dos materials, que

Taula 17. Caracterització de materials de l'explotació de l'experiència b): paràmetres relacionats amb la matèria orgànica (MO) i el nitrogen (N)

Llegenda:

Norg: nitrogen orgànic

Nnh: nitrogen no hidrolitzable

Nam: nitrogen amoniacal

sms: sobre matèria seca

smo: sobre matèria orgànica

	Matèria orgànica (MO)	Grau d'estabilitat (GE)	Norg	Nnh	Nam	C/Norg
	%, sms	%, smo	%, sms	%, sms	%, sms	-
Gallinassa fresca	68,5	35,9	2,30	0,65	4,32	17,3
Compost de gallinassa	53,9	37,3	2,30	0,99	1,05	13,6

podria limitar la compleció de l'activitat nitrificant (Cáceres i col., 2018). De fet, el compost mostra un contingut de N en forma nítrica força feble (30,7 ppm sms), fet que confirmaria la limitació esmentada (Taula 18).

La Taula 19 mostra les propietats físiques de la gallinassa i del seu compost. La porositat dels materials és alta, però no tant com la d'altres fems, i els valors no són gaire diferents entre ells (al voltant del 75%), essent l'EPT del compost lleugerament superior que el de la gallinassa. La capacitat d'aireig és baixa en tots dos casos, mentre que la capacitat de retenció d'aigua és força superior, i per tant, aquest material és bastant retentiu. En aquest cas, les densitats (real i aparent) són altes (Taula 19).

El compost que es genera en aquesta instal·lació s'aplica als cultius de la zona, on predomina el cereal.

Gestió del compostatge

La planta de compostatge la gestiona una persona a mitja jornada. Cal dir que s'ha acumulat força experiència de com gestionar les piles de compostatge en funció de les condicions meteorològiques. El principal paràmetre de control és la temperatura.

Aquesta empresa té el producte final inscrit al Registre de productes fertilitzants del MAPA (RD 506/2013).

Taula 18. Caracterització de materials de l'explotació de l'experiència b): paràmetres determinats sobre un extracte aquós 1:5 (p:p)

Llegenda:

sms: sobre matèria seca

N-NH₄⁺: nitrogen amoniacal soluble

N-NO₂⁻: nitrogen en forma de nitrit

N-NO₃⁻: nitrogen en forma de nitrat

	pH	Conductivitat elèctrica (CE)	N-NH ₄ ⁺ soluble	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻
	-	dS/m	mg/kg, sms	mg/kg, sms	mg/kg, sms
Gallinassa fresca	7,35	8,1	14.136	5,6	0
Compost de gallinassa	8,09	10,4	3.811	2,3	30,7

Taula 19. Caracterització de materials de l'explotació de l'experiència b): paràmetres físics

Llegenda:

smf: sobre matèria fresca

EPT: espai porós total

CA: capacitat d'aireig

CAIG: capacitat de retenció d'aigua

Dap: densitat aparent

Dr: densitat real

	Humitat	EPT	CA	CAIG	Dap	Dr
	%, smf	%, volum	%, volum	%, volum	g/cm ³	g/cm ³
Gallinassa fresca	67,80	73,87	11,01	62,86	0,49	1,86
Compost de gallinassa	48,68	76,15	10,76	65,39	0,48	2,03

4.3 Experiència c)

Orientació productiva i dimensió

L'empresa es dedica a la producció de porcí: és una granja de mares que produeixen garrins de transició (fins a 16 kg).

Característiques de la planta

La planta està totalment sota cobert, tant l'espai de descomposició (piles estàtiques, amb extracció d'aire) com el de maduració. Per tant, no es generen lixiviats a causa de les pluges, que poden ser freqüents a la zona. Les piles en descomposició fan, aproximadament, 1,6 m, mentre que les de maduració poden assolir una alçada de 2,5 m.

L'explotació compta amb un tractor amb pala propi per a moure els materials.



Fotografia 21. Imatge de l'experiència c). A la dreta, mòduls per a descomposició (compostatge estàtic, treballant en aspiració) i maduració (a l'esquerra).

Taula 20. Caracterització de materials: paràmetres relacionats amb la matèria orgànica (MO) i el nitrogen (N)

Nota:

(*) Compost d'aproximadament 4 mesos.

Llegenda:

Norg: nitrogen orgànic
Nnh: nitrogen no hidrolitzable
Nam: nitrogen amoniacal
sms: sobre matèria seca
smo: sobre matèria orgànica

	Matèria orgànica (MO)	Grau d'estabilitat (GE)	Norg	Nnh	Nam	C/Norg
	%, sms	%, smo	%, sms	%, sms	%, sms	-
Fracció sòlida de purí porcí	65,6	57,0	1,54	0,63	1,51	24,7
Compost de fracció sòlida de purí porcí	54,9	58,5	1,82	0,93	0,16	17,5

Materials entrats al compostatge

Els purins generats a l'explotació passen per un procés de separació de fases i s'acaben generant unes 1.200 tones/any de fracció sòlida de purí de porcí. El separador és del tipus centrífug horitzontal, sense que s'afegeixi cap additiu per a millorar l'eficiència de la separació.

El material que es compostat és la fracció sòlida del purí de porcí, però també s'hi afegeixen alguns fangs del procés de nitrificació i desnitrificació (NDN) de què disposa l'explotació per gestionar la fracció líquida del purí.

No s'empra estructurant, però a la base de les piles en descomposició es disposa d'una capa d'uns 20 cm d'estella de fusta que es genera a la zona per tal de possibilitar l'extracció d'aire, ja que l'explotació té implementat un sistema de compostatge estàtic amb depressió.

Procés: durada, etapes

El procés de compostatge es realitza en dos etapes. Primer, el material se situa en un mòdul preparat per a realitzar compostatge estàtic (amb extracció d'aire de la pila). Posteriorment, el material es canvia, amb tractor amb pala, a una zona més àmplia on finalitza la descomposició i es deixa madurar. El procés dura, aproximadament, dos mesos més una fase de maduració més o menys perllongada fins que es retira el material per a la seva aplicació.

Es realitzen controls puntuals de temperatura atès que el procés està força optimitzat.

Composició del material d'entrada i de sortida

El contingut de matèria orgànica de la fracció sòlida del purí és relativament alt (Taula 20). El N orgànic és normal per aquest tipus de producte (al voltant d'1,5%), mentre que el N amoniacal total és força alt (1,51% sobre matèria seca-sms).

Taula 21. Caracterització de materials; paràmetres determinats sobre un extracte aquós 1:5 (p:p)

Llegenda:

sms: sobre matèria seca

N-NH₄⁺: nitrogen no hidrolitzable

N-NO₂⁻: sobre matèria fresca

N-NO₃⁻: sobre matèria seca

	pH	Conductivitat elèctrica (CE)	N-NH ₄ ⁺ soluble	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻
	-	dS/m	mg/kg, sms	mg/kg, sms	mg/kg, sms
Fracció sòlida de purí porcí	8,64	1,1	1.935	5,4	0
Compost de fracció sòlida de purí porcí	7,19	2,4	197	18,7	6.567

Una part apreciable d'aquest N amoniacal total es troba en forma soluble (Taula 21). El compost conté menys riquesa en matèria orgànica (aproximadament, 10 punts percentuals menys) i té el Norg superior al del material fresc (Taula 20). El N amoniacal total del compost és força menor que el que presenta el material fresc, com succeeix normalment en el compostatge. El N no hidrolitzable s'incrementa en el compost respecte al material fresc, com també és habitual.

La concentració de fòsfor i potassi en les dejeccions fresques és de 3,52 i 0,52 % (sms), respectivament. El compost va presentar concentracions força superiors (4,68 i 0,76 % sms, respectivament). L'increment de la concentració es deu a la mineralització de carboni durant el compostatge (Cáceres i col, 2006).

El pH és moderadament alt en el material fresc, mentre que el compost té un pH neutre (Taula 21). La conductivitat elèctrica de la fracció sòlida és baixa, essent superior la del compost final (2,4 dS/m). La fracció sòlida fresca no presenta nitrats, contràriament al material compostat, que en té en nivells alts. Per tant, es conclou que aquest material en les condicions de l'explotació es nitrifica de manera important (Cáceres i col 2006; 2018). Els nitrats tant del material fresc com del compost són molt baixos, però indiquen que es tracta d'un material amb potencial de ser nitrificat (Taula 21). El procés de nitrificació que es pot produir a la pila de compost durant, principalment la fase de maduració, pot comportar l'acidificació natural del

compost (Cáceres i col. 2006; 2018). Com es pot observar, en aquest cas, amb el compost de fracció sòlida de purí porcí.

La fracció sòlida fresca presenta una humitat relativament alta, mentre que el compost final veu reduït aquest paràmetre en 10 punts percentuals (Taula 22). L'espai porós total tant en la fracció sòlida com en el compost és força alt. La capacitat d'aireig és baixa (al voltant del 18%) en tots dos casos. Per contra, la capacitat de retenció d'aigua és força alta en ambdós materials (superior al 70%). Tant la densitat real com la densitat aparent prenen valors intermedis.

El compost que es genera s'exporta a zones sense tanta càrrega de N, a uns 50-80 km de distància de la instal·lació.

Gestió del compostatge

La gestió del compostatge la realitza personal propi de l'empresa, que compta amb personal tècnic format per a processos de transformació de les dejeccions ramaderes.

Taula 22. Caracterització de materials: paràmetres físics

Llegenda:

smf: sobre matèria fresca

EPT: espai porós total

CA: capacitat d'aireig

CAIG: capacitat de retenció d'aigua

Dap: densitat aparent

Dr: densitat real

	Humitat	EPT	CA	CAIG	Dap	Dr
	%, smf	%, volum	%, volum	%, volum	g/cm ³	g/cm ³
Fracció sòlida de purí porcí	72,48	91,03	18,09	72,95	0,17	1,90
Compost de fracció sòlida de purí porcí	62,34	89,37	18,46	70,91	0,21	2,02



4.4 Experiència d)

Orientació productiva i dimensió

L'orientació productiva de l'explotació és la producció de llet, i compta amb 150 places en cubicles i 350 places de vaques en sales amb sistema de llit compostant (llit calent).

Característiques de la planta

La planta de compostatge se situa en un extrem de l'explotació ramadera i, a hores d'ara, està pendent la disposició dels espais de descomposició i maduració.

La maquinària (tractor amb pala) no és pròpia i la gestiona una empresa externa que és qui s'encarrega de realitzar els voltejos. Aquests, en l'etapa de descomposició, es realitzen quinzenalment.

Materials entrats al compostatge

Els materials d'entrada estan constituïts majoritàriament pels fems provinents de les sales amb jaç compostant. Per una altra part, i amb una quantitat més petita, també es composten la fracció sòlida dels purins després de passar per un procés de separació sòlid-líquid.

En l'actualitat, s'empren com a material de jaç restes de collita de colza (40%) i palla de cereal d'hivern (60%). No s'afegeix estructures estructurant en el compostatge, però es compta amb aquest material afegit als corrals.

Procés: durada, etapes

S'està en un procés de millora de la infraestructura de la planta de compostatge. Actualment es volteja un cop per setmana i la sortida del producte compostat/precompostat se situa entre 2 i 5 mesos, depenent del mercat i de l'estat de maduració/estabilització de les piles de compost.

Composició del material d'entrada i de sortida

El material fresc (fracció sòlida de purí de vaquí) presenta un alt contingut de matèria orgànica i també el nivell de N orgànic és alt (Taula 23). El N amoniacal total és relativament alt i una part considerable d'aquest és soluble (Taula 24).



Fotografia 22. Imatge de piles de compostatge en descomposició de l'explotació de l'experiència d)

El compost final presenta un alt percentatge de matèria orgànica, però és molt similar al del material fresc i una cosa semblant succeeix en el cas del grau d'estabilitat. En aquest cas, doncs, per tal de comprovar aquests resultats, caldria realitzar mostreig d'una o més tongades de material fresc i compost final de la mateixa pila.

El N orgànic del compost final és alt i només una mica superior que el N orgànic del producte sense compostar. El N amoniacal total és menor que l'inicial, com és habitual que succeeixi durant el compostatge. El N no hidrolitzable s'incrementa en el compost respecte al corresponent al material fresc, com també és habitual (Cáceres i col, 2015a, 2016).

Els materials que s'empren com a material de jaç en proporcions complementàries (palla de cereal i restes del cultiu de colza) tenen un percentatge de matèria orgànica molt alt, superior al 90%. El grau d'estabilitat d'aquesta matèria orgànica és relativament baix (14 per la palla de cereal i 18 per les restes de colza). El N orgànic és baix, en tots dos casos, però superior en les restes de colza. El Nnh és relativament baix en tots dos casos.

La concentració de fòsfor i potassi en les dejeccions fresques és de 0,37 i 2,65 % (sms), respectivament. El compost va presentar una concentració força superior en el cas del fòsfor (0,79 % sms). Aquest increment de la concentració es deu a la

Taula 23. Caracterització de materials de l'experiència d): paràmetres relacionats amb la matèria orgànica (MO) i el nitrogen (N)

Llegenda:

Norg: nitrogen orgànic

Nnh: nitrogen no hidrolitzable

Nam total: nitrogen amoniacal

sms: sobre matèria seca

smo: sobre matèria orgànica

nd: no determinat

	Matèria orgànica (MO)	Grau d'estabilitat (GE)	Norg	Nnh	Nam	C/Norg
	%, sms	%, smo	%, sms	%, sms	%, sms	-
Fracció sòlida de purí vaquí	80,1	58,7	2,46	1,01	0,49	18,9
Palla de cereal	93,58	14,3	0,51	0,21	nd	106,4
Restes de colza	90,41	18,05	0,76	0,29	nd	68,9
Compost	80,4	56,2	2,82	1,41	0,31	16,5

mineralització de carboni durant el compostatge (Cáceres i col, 2006). No obstant, la concentració de potassi va ser menor en el compost (1,1 %, sms) que no pas en el material fresc (2,65 %), fet que no és habitual per la raó anteriorment expressada.

El pH del material fresc és força alt i es pot deure al procés d'amonificació, que comporta el seu augment. La salinitat en el material fresc és moderada (Taula 24). Els materials emprats en el jaç tenen pH neutre i la conductivitat elèctrica és relativament alta en les restes de collita de colza (al voltant de 4 dS/m) i de 2,2 en la palla de cereal.

Quant al N amoniacal soluble, és molt alt en la fracció sòlida, i encara més alt en el compost. És baix en la palla de cereal i moderat en les restes de colza. La concentració de

N amoniacal soluble en el compost és més alta que la del material fresc. Aquest fet és contradictori i caldria comprovar els resultats realitzant mostreigs en una mateixa tongada a l'inici i al final del procés.

D'altra banda, els nitrits són presents en el material fresc i en el compost, però de manera molt feble, mentre que a la palla no se'n detecten (Taula 24). La concentració de nitrats a la palla de cereal és baixa. Per contra, la concentració de nitrats és moderadament alta en les restes de colza. El compost que es produeix en aquesta explotació té una concentració de N en forma nítrica força alta.

En relació als paràmetres físics (Taula 25), la humitat del compost és relativament alta (al voltant del 71% smf). Aquest fet es podria

Taula 24. Caracterització de materials de l'experiència d); paràmetres determinats sobre un extracte aquós 1:5 (p:p)

Llegenda:

sms: sobre matèria seca

N-NH₄⁺: nitrogen amoniacal soluble

N-NO₂⁻: nitrogen en forma de nitrit

N-NO₃⁻: nitrogen en forma de nitrat

	pH	Conductivitat elèctrica (CE)	N-NH ₄ ⁺ soluble	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻
	-	dS/m	mg/kg, sms	mg/kg, sms	mg/kg, sms
Fracció sòlida de purí vaquí	9,15	4,4	1.891	6,1	0
Palla de cereal	7,21	2,2	32,49	0	37,81
Restes de colza	7,38	4,1	149	0	353,9
Compost	8,87	3,1	2.658	9,7	5.784

deure a una pluja eventual abans del mostreig i, en aquest sentit, caldria millorar la representativitat de la mostra presa.

La porositat de la fracció sòlida, dejeccions que es poden considerar predominants en l'explotació, és força alta (Taula 25). La capacitat de retenció d'aigua predomina sobre la capacitat d'aireig, ja que dobla els valors. El compost presenta una porositat lleument menor, la capacitat d'aireig es redueix lleument i la capacitat de retenció d'aigua és lleugerament superior. Pel que fa als materials que es fan servir com a jaç, es pot destacar l'altíssima porositat: 95 i 98% en base al volum, per a les restes de colza i la palla de cereal, respectivament. La capacitat d'aireig de tots dos materials és alta, especialment la de la palla de cereal. La capacitat de retenció d'aigua és superior en les restes de collita de colza respecte a la palla de cereal.

La densitat aparent és molt baixa per als materials que es fan servir per al jaç i la de la fracció sòlida i el compost són intermèdies (0,15 i 0,16 g/cm³, respectivament). La densitat real dels quatre materials és intermèdia.

Gestió del compostatge

Actualment es realitza part del compostatge en la pròpia granja, tot i que la fase final del procés es realitza a les instal·lacions de compostatge d'un gestor de residus.

La gerència de l'explotació ha comptat amb l'assessorament d'un expert en la matèria i la gestió del compostatge la realitza el mateix gestor de residus, que també s'encarrega de la comercialització i venda del producte final.

Taula 25. Caracterització de materials de l'experiència d): paràmetres físics

Llegenda:

smf: sobre matèria fresca

EPT: espai porós total

CA: capacitat d'aireig

CAIG: capacitat de retenció d'aigua

Dap: densitat aparent

Dr: densitat real

	Humitat	EPT	CA	CAIG	Dap	Dr
	%, smf	%, volum	%, volum	%, volum	g/cm ³	g/cm ³
Fracció sòlida de purí vaquí	71,08	91,60	30,33	61,28	0,15	1,73
Palla de cereal	10,49	98,21	79,96	18,25	0,03	1,57
Restes de colza	15,70	95,76	63,07	32,69	0,07	1,61
Compost	71,21	90,80	27,3	63,17	0,16	1,73

4.5 Promoció del compostatge en cooperativa

Hi ha cooperatives al país que promouen, des de fa uns anys, el compostatge a la pròpia explotació. A continuació se n'exposa un exemple en el qual, després d'un procés de prospecció de possibilitats i formació sobre compostatge, la cooperativa va decidir donar suport tècnic i material per a què els socis poguessin dur a terme aquesta pràctica (Fotografia 23). La cooperativa es va dotar d'un arreu per al volteig de les piles de compostatge (Fotografia 24 esquerra), a part de disposar de sondes de temperatura per al control del procés (Fotografia 24 dreta). També van equipar un espai de laboratori per a determinar el grau d'autoescalfament (test Rottegrade), la humitat i determinacions microbiològiques bàsiques.

Els tècnics de la cooperativa realitzen proves amb diferents elements de reg per proveir les piles de compostatge d'una humectació adequada i assegurar la qualitat del compost.



Fotografia 23. Piles de compostatge a una explotació de la cooperativa



Fotografia 24. Volteig de pila amb un arreu voltejador (esquerra); mesura de la temperatura de la pila de compostatge (dreta)

5 Requisits normatius per a realitzar compostatge en el marc agrari

5.1 Instal·lacions: condicions mínimes

D'acord amb el Decret 153/2019, les instal·lacions de tractament de dejeccions ramaderes en origen i, entre elles les de compostatge en origen, són aquelles vinculades a una explotació ramadera que tracten dejeccions procedents de la mateixa granja o d'altres explotacions, sempre que formin una unitat epidemiològica i cap de les explotacions estigui situada a més de 500 m de qualsevol de les altres ni de la instal·lació de tractament. En aquests tractaments de dejeccions en el marc agrari, únicament s'hi poden barrejar palla o altres materials d'origen natural (agrícoles o silvícoles) que no siguin peril·losos.



Les instal·lacions mínimes de què ha de disposar una explotació per a què l'administració competent (DACC) accepti el tractament de compostatge en origen (és a dir, o a la pròpia explotació) són:

- ▶ **a.** Les piles s'han de disposar en una plataforma impermeable amb recollida de lixiviats. La plataforma ha d'estar dimensionada d'acord amb la quantitat de dejeccions (fems, fracció sòlida, gallinassa o digestats) i estructurant que es tractaran i també ha de tenir en compte el temps de processat previst.
- ▶ **b.** Disponibilitat d'un punt d'aigua amb l'objectiu d'incrementar la humitat a la massa compostant quan sigui necessari.
- ▶ **c.** Sistema per a garantir l'aportació d'oxigen a les piles de compostatge:
 - ▶ Ventiladors, en cas d'un sistema estàtic amb aeració forçada.
 - ▶ Equip de volteig, en cas de treballar amb piles voltejades (compostatge dinàmic, veure l'apartat 3.4.3)
 - ▶ Altres sistemes d'aeració d'acord amb el mètode de compostatge aplicat.

5.2 Rendiments mínims acceptables

El compostatge és un procés de tractament biològic per a fems, gallinasses i FS de purins o digestats i això implica la seva estabilització; el compost final ha de tenir un nivell mínim de 3 del grau de maduresa segons el mètode de Rottegrade. El test de Rottegrade es basa en la mesura del caràcter exotèrmic del procés de compostatge, a partir d'una mostra representativa. El rendiment esperat s'indica a la Taula 26.

Taula 26. Distribució (%) de la massa i del nitrogen de les dejeccions tractades en un procés de compostatge

Massa		Nitrogen	
Compost final	Pèrdues durant el procés	Compost final	Pèrdues durant el procés
50 ¹	50	85	15 ²

Nota:

1. En cas d'utilitzar altres materials d'entrada en el procés de compostatge, s'haurà de valorar l'increment de massa i de càrrega de N.
2. Es considera que durant el procés de compostatge hi ha pèrdues de N per volatilització.

De cara al pla de gestió de dejeccions ramaderes de què ha de disposar la granja, si es realitza o es té previst realitzar compostatge, es permet considerar unes pèrdues tècniques de fins al 15% de N durant el procés, de manera que la necessitat de terres, contracte amb gestors, etc., en el pla de gestió es redueix en un 15%.

La normativa estableix que les granges han de disposar d'un volum mínim d'emmagatzematge de dejeccions ramaderes, que permeti i faciliti la seva gestió posterior, i especialment que permeti retenir les dejeccions fins al moment que sigui adient la seva aplicació agrícola. Aquesta necessitat d'emmagatzematge està regulada a l'annex 2 del Decret 153/2019, on s'estableix l'autonomia (en mesos) de què ha de disposar l'explotació. Aquesta autonomia cal convertir-la en volum (m³) amb uns coeficients (per plaça) que apareixen al mateix annex.

Tenint en compte la significativa reducció de volum que té lloc en les dejeccions ramaderes que es composten, a les granges que realitzen aquest tractament se'ls requereix un volum d'emmagatzematge un 25% inferior al que se'ls demanaria si no fessin aquest tractament.

5.3 Seguiment del procés

El titular de l'explotació que realitzi compostatge en origen ha de disposar del registre de la quantitat de compost produïda (es pot fer per pesada pròpia o per factura o justificant a l'hora de la venda). D'altra banda, també ha de disposar del llibre d'operacions (d'acord amb el document, Seguiment dels tractaments consolidats, elaborat pel Grup d'Experts en Tractaments de Dejeccions Ramaderes), que ha d'estar disponible per qualsevol inspecció o requeriment.

Les quantitats de dejeccions efectivament tractades i la distribució del nitrogen entre les diferents fases, així com els resultats del programa de seguiment i control, formen part del llibre de gestió de fertilitzants regulat al Decret 153/2019.

El llibre d'operacions s'ha d'omplir periòdicament (per defecte, setmanalment). En cas de produir-se una incidència, s'hi han d'anotar totes aquelles dades o informació que ajudi a realitzar el seguiment del funcionament i la millora del tractament. Les dades que s'hauran d'anotar són:

- ▶ **a.** data de formació de les piles
- ▶ **b.** quantitat tractada

- ▶ **c.** paràmetres de maneig del procés (nombre de volteigs, humectacions, ús d'additius, ...)
- ▶ **d.** paràmetres de control de procés (la temperatura, el nivell d'oxigen, la humitat de les piles)
- ▶ **e.** quantitat de producte sortint (com a FL i com a FS)
- ▶ **f.** consums energètics
- ▶ **g.** caracterització física i química dels productes finals després del tractament
- ▶ **h.** incidències

Juntament amb el llibre d'operacions, cal disposar de les analítiques del producte final compostat. La freqüència de mostres analitzades depèn de com es classifica la granja segons la Llei 20/2009, de prevenció i control ambiental de les activitats:

- ▶ Per les explotacions ramaderes sotmeses al règim de comunicació ambiental (Annex III de la Llei), el número de mostres analitzades del compost és 2 per any el primer any i 1 per any la resta d'anys.
- ▶ Per les explotacions ramaderes sotmeses al règim de llicència ambiental (Annex II de la Llei) o autorització ambiental (Annex I de la Llei) el número de mostres de compost analitzades és 6 per al primer any i 4 per a la resta d'anys.

Taula 27. Anàlitiqes obligatòries a realitzar en el compost (sense registrar o registrat com a fertilitzant)

Nota:

1. Escherichia coli /Salmonella ssp

Llegenda:

MS: matèria seca (paràmetre complementari de la humitat)

MO: matèria orgànica (sms)

sms: sobre matèria seca

smf: sobre matèria fresca

Per a fer les anàlisis s'utilitzaran els mètodes oficials. En cas que no es disposi de la metodologia, s'utilitzaran els mètodes ISO o altres d'aprovats per organitzacions internacionals d'estandardització. En qualsevol cas, haurà de quedar clar el mètode utilitzat.

Els paràmetres agronòmics i de metalls pesants que s'han d'analitzar de les mostres recollides de compost s'indiquen a la Taula 27.

Paràmetre			Compost	
			Sense registrar com a fertilitzant	Registrat com a fertilitzant (Reial Decret 506/2013)
Paràmetres agronòmics	Grau de maduresa		x	x
	MS	(% smf)	x	x
	MO		x	x
	N total	mg/kg smf	x	x
	N amoniacal		x	x
	N nítric		x	
	P total		x	x
	K total		x	x
	Àcids húmics			x
Granulometria				x
Bacteris ¹				x
Metalls pesants	Cd	mg/kg sms		x
	Cu		x	x
	Ni			x
	Pb			x
	Zn		x	x
	Hg			x
	Cr			

6 Comercialització del compost

6.1 Destí del compost

El fet que el compost (en comparació amb les dejeccions sòlides sense tractar) sigui un material més homogeni, més estable, més higienitzat i amb menys llavors de males herbes, incrementa el seu interès per part dels agricultors i/o d'altres possibles usuaris com ara professionals de la jardineria i espais verds. Així, els usos del compost poden ser, principalment, l'aplicació com a fertilitzant o esmena orgànica en diferents cultius, en jardineria municipal, o en restauració d'espais degradats. En els cultius d'horta i de vinya, per exemple, on no s'acostumen a utilitzar les dejeccions ramaderes fresques, la utilització de compost és una bona alternativa per a augmentar la salut dels sòls i aportar elements fertilitzants.

Si el compost final és d'una qualitat que compleix el Reial Decret 506/2013, i s'efectua el registre com a fertilitzant segona aquesta norma, s'acaba disposant d'una oferta més àmplia d'opcions de venda o destinació. El registre del compost, d'altra banda, garanteix de cara a l'usuari la qualitat del producte quant a higienització, estabilització, humitat, nivells mínims de matèria orgànica i de nutrients, i nivells màxims de metalls pesants.

En cas d'assolir un compost registrat conforme a l'esmentada norma (vegeu l'apartat 6.2):

- ▶ No caldrà ja acreditar en el pla de gestió de dejeccions ramaderes de la granja la destinació del producte final. Per tant, no caldrà que al pla de gestió s'hi aporti base agrícola potencialment receptora del producte.
- ▶ Un cop efectuada una venda o entrega, caldrà disposar de les factures de venda del compost.
- ▶ Caldrà anotar al llibre de gestió de fertilitzants la quantitat entregada (en volum o tones, i també en kg de N), la data i la identificació del destinatari.

Si el compost resultant no es registra com a fertilitzant segons l'esmentat reial decret, caldrà:

- ▶ Acreditar en el pla de gestió de dejeccions ramaderes de la granja la destinació del producte final per al 85% del N inicial (es consideren les esmentades pèrdues tècniques del 15%). Per tant, caldrà que al pla de gestió s'hi aportí informació sobre la base agrícola potencialment receptora del producte, o bé el contracte amb gestor de residus o centre de gestió.
- ▶ Caldrà anotar al llibre de gestió de fertilitzants la quantitat entregada (en volum o tones, i també en kg de N), la data i la identificació del destinatari.

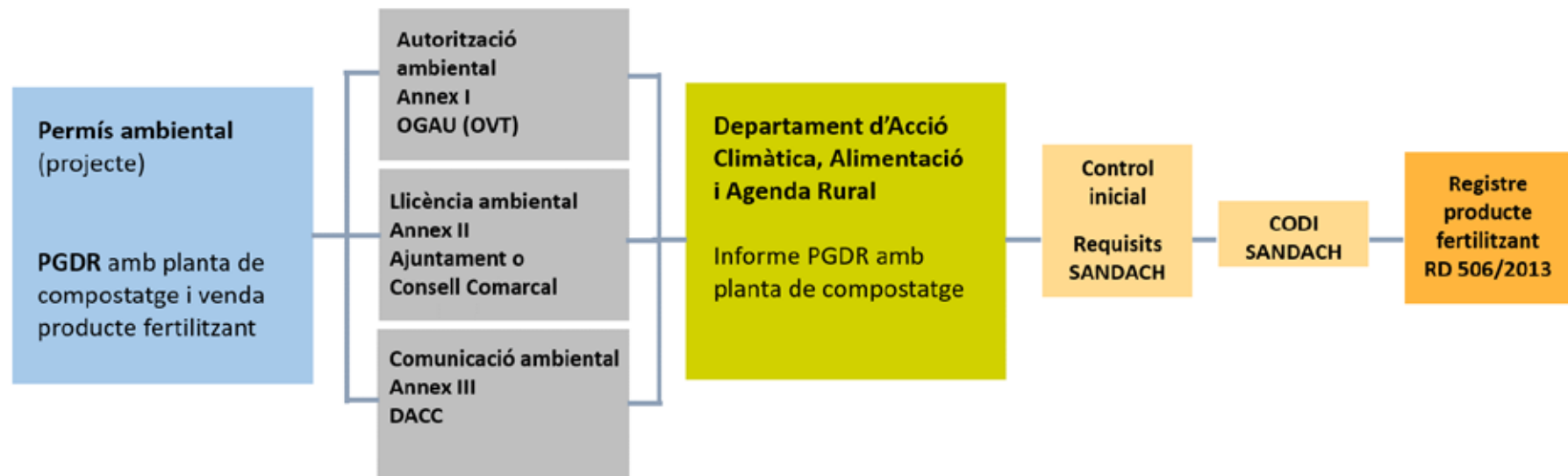
6.2 Comercialització del compost com a producte fertilitzant

Per a què una explotació ramadera, que realitzi compostatge en granja, pugui comercialitzar el compost que genera com a fertilitzant d'acord amb el Reial Decret 506/2013, caldrà inscriure el producte final al Registre de productes fertilitzants ja que es classifica dins del grup 6 de l'annex I de l'esmentat Reial Decret.

A part del registre del producte final, també cal legalitzar l'activitat, de manera que els tràmits a realitzar són:

- ▶ Obtenir permís ambiental per al compostatge.
- ▶ Registrar la planta de compostatge com a establiment SANDACH.
- ▶ Inscriure el compost al Registre de productes fertilitzants.

A continuació es mostra un esquema del procés de tramitació d'una planta de compostatge en origen per produir un fertilitzant registrat (Esquema 8).



Esquema 8. Procés de tramitació d'una planta de compostatge en origen per produir un fertilitzant registrat a Catalunya

Tràmit 1: obtenir permís ambiental per al compostatge

De manera prèvia, cal incorporar la planta de compostatge al permís ambiental de la granja. Així doncs, cal tramitar una modificació del permís ambiental amb la memòria o projecte de la planta de compostatge, juntament amb una modificació del pla de gestió de dejeccions ramaders (PGDR) de l'explotació. Segons l'annex de la Llei 20/2009 en què es trobi l'activitat, la tramitació és diferent:

- ▶ Les explotacions ramaderes incloses a l'annex I de la Llei 20/2009 han de sol·licitar un canvi de la seva autorització ambiental a través de la Oficina Virtual de Tràmits (OVT) de la Generalitat de Catalunya.
- ▶ Les explotacions ramaderes incloses a l'annex II de la Llei 20/2009 han de tramitar un canvi de la seva llicència ambiental al seu Ajuntament.
- ▶ Les explotacions ramaderes incloses a l'annex III de la Llei 20/2009, han de presentar al DACC la documentació esmentada, el qual emetrà informe sobre el PGDR i la planta de compostatge, i si és favorable, es pot realitzar la comunicació a l'Ajuntament.

En qualsevol dels casos, el DACC valora el compliment del PGDR i del projecte de planta de compostatge d'acord amb els requisits SANDACH. El DACC emet un informe del PGDR on s'incorporen les prescripcions SANDACH i els controls o inspeccions segons el permís ambiental de l'explotació.

El projecte o memòria de la planta de compostatge com a establiment SANDACH ha de tindre el contingut mínim següent:

- ▶ Instal·lacions:
 - ▶ Hi ha d'haver una zona de seguretat perimetral entre la planta de compostatge i la granja.
 - ▶ La instal·lació ha de tenir una superfície de tractament suficient per garantir un mínim de 3 mesos el material en les fases de descomposició i maduració i una autonomia d'emmagatzematge de 2 mesos pel producte acabat.
 - ▶ La instal·lació ha d'estar pavimentada, impermeabilitzada i amb un sistema de recollida de lixiviats/aigües brutes/aigües pluvials.
 - ▶ Hi ha d'haver una recollida de lixiviats d'aigües brutes i pluvials en un dipòsit i/o bassa amb una capacitat lliure, com a mínim, d'1/4 de volum útil total en qualsevol moment.
 - ▶ La instal·lació ha de disposar d'un espai diferencial entre la zona bruta i la zona neta.
 - ▶ Si es tracten més de 6.000 tones de dejeccions a l'any, cal disposar d'un petit laboratori, una bàscula i d'una estació meteorològica.

- ▶ Sistemes de control del procés de compostatge, el compost i la planta:
 - ▶ S'han de descriure les característiques dels equips tecnològics de control del compostatge i la seva calibració; especialment, cal disposar d'un sistema que mesuri la temperatura de la pila de compostatge de forma contínua al llarg del temps i de forma que es pugui detectar si l'escalfament és insuficient.
 - ▶ Registre de les entrades de dejeccions sòlides i materials estructurants i de les sortides de compost, així com dels paràmetres de seguiment del procés (humitat, temperatura,...).
 - ▶ Analítiques del compost sortint.

- ▶ Condicions d'higiene i sanitat de la planta:
 - ▶ Descripció del pla de neteja i desinfecció de la planta.
 - ▶ Mesures preventives contra vectors (ocells, rosegadors, insectes,...).
 - ▶ Programa d'inspecció.
 - ▶ Els lixiviats es poden incorporar en les piles abans de la fase termòfila (fase de descomposició), però no es poden barrejar en el compost en fase de maduració.
 - ▶ Mesures per reduir els impactes (pols/olor/sorolls...).

- ▶ Anàlisi de punts crítics de control (APPCC).

Tràmit 2: inscripció al Registre SANDACH

Un cop aprovada la modificació del permís ambiental, on consta la planta de compostatge, el titular pot sol·licitar el Codi SANDACH. El sol·licitant ha de presentar la resolució del nou permís ambiental, el formulari de sol·licitud del Codi SANDACH i l'acta del control inicial favorable de la instal·lació de compostatge, feta per part d'una entitat ambiental de control (EAC) que comprova que els requisits tècnics i les condicions de funcionament del sistema són les correctes.

Tràmit 3: inscripció al Registre de productes fertilitzants

Un cop s'ha obtingut el Codi SANDACH, es pot sol·licitar la inscripció del producte al Registre de productes fertilitzants del MAPA. Cal emplenar el formulari de sol·licitud de registre on s'ha d'adjuntar la informació especificada a l'article 24 del RD 506/2013, entre la qual destaca:

- ▶ Declaració de matèries primeres.
- ▶ Descripció del procés d'elaboració.
- ▶ Declaració del contingut de nutrients, paràmetres i altres característiques exigibles segons la tipologia de productes de l'Annex I del RD esmentat. En el cas del compost de dejeccions ramaderes, correspondrà al Grup 6 "Esmenes orgàniques", i concretament a la subcategoria 4, que és la denominació de tipus "Esmena orgànica – Compost de fems".
- ▶ Certificat analític del producte.

Les característiques físiques, químiques i microbiològiques (patògens humans) que han de presentar els composts per a què es puguin registrar són (d'acord amb el Reial Decret 506/2013):

- ▶ Matèria orgànica total: > 35%.
- ▶ Humitat: ≤ 40%
- ▶ Relació C/N: < 20
- ▶ Percentatge de pedres i graves amb un diàmetre de més 5mm: ≤ 2%
- ▶ Sense presència d'impureses
- ▶ Percentatge de partícules que passen per una malla de 10 mm: ≥ 90%
- ▶ Percentatge del nitrogen total ha de ser nitrogen orgànic: ≥ 85%
- ▶ Nivell màxim de microorganismes: *Salmonella*: absència; *Escherichia coli*: < 1.000 NMP/g
- ▶ Segons el límits de metalls pesants (mg/kg MS) el producte fertilitzant es classifica en classe A, B i C (Taula 28).

Taula 28. Classificació de la qualitat dels compost en funció de la concentració de metalls pesants (unitats: ppm sobre matèria seca)

Element	Classe A	Classe B	Classe C
Cadmi	0,7	2	3
Coure	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plom	45	150	200
Zenc	200	500	1.000
Mercuri	0,4	1,5	2,5
Crom (total)	70	250	300
Crom VI	No detectable	No detectable	No detectable

La sol·licitud d'inscripció s'ha de presentar, com a mínim, 3 mesos abans de la data en què es pretengui comercialitzar el producte. El MAPA té 3 mesos per a resoldre i notificar la resolució d'inscripció. Cal tindre en compte que en aquest procediment no hi ha silenci positiu: en cas de no rebre resposta explícita dins d'aquest termini, no es pot entendre estimada automàticament la sol·licitud.

7 Documentació citada i/o complementària

7.1 Documents preexistents sobre dejeccions sòlides i/o compostatge

Aquest apartat destaca les cites de documents pre-existents, i que són prou significats, relacionats, d'una manera o una altra, amb el document present i que estan escrits en català o castellà. Els temes específics que tracten són: caracterització de materials, tractament de dejeccions ramaderes, disseny i explotació de plantes de compostatge (en general), metodologies per al seguiment del compost i compostatge comunitari.

Documents pre-existents	
1	<p>Guia de compostatge de l'Agència de Residus de Catalunya reduïda: Agència de Residus de Catalunya-ARC. Guia pràctica per al disseny i l'explotació de plantes de compostatge. 2016. https://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/instalacions/GuiaPC_web_CA.pdf. 91 pp.</p> <p>Agència de Residus de Catalunya-ARC. Guia de compostatge de l'Agència de Residus de Catalunya completa. Guia de suport per al disseny i l'explotació de plantes de compostatge. 2008. https://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/instalacions/guiaplantescompost_cat.pdf. 284 pp.</p>
2	<p>Arco, N., Romanyà, J. 2010. <i>Guia de fonts de matèria orgànica apta per l'agricultura ecològica a Catalunya</i>. 43 pp https://ruralcat.gencat.cat/documents/20181/335807/</p>
3	<p>Cáceres, R. 2003. <i>Compostatge de fems de boví i aprofitament del compost en la formulació de substrats per al cultiu en contenidor d'espècies arbustives</i>. Tesi doctoral. Universitat de Lleida.</p>

4	<p>DACC, 2021 "<i>Compostatge en l'explotació ramadera i posada al mercat com a producte fertilitzant</i>" (http://agricultura.gencat.cat/web/.content/07-ramaderia/dejeccions-ramaderes-fertilitzants-nitrogenats/enllacos-documents/fitxers-binariis/Autoritzacio_SANDACH.pdf). Data de consulta: 21/01/2021</p>
5	<p>López, M., Martínez, X. 2013. <i>Metodologies emprades per a la caracterització del compost</i>. Universitat Politècnica de Catalunya. 77 pp https://residus.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/recollida_selectiva/residus_municipals/materia_organica__form_-_fv/jornades__estudis_i_enllacos/Compostarc_2015/taula_4/METODOLOGIES-CARACTERITZACIO-DE-COMPOST.pdf</p>
6	<p>Plana, R., Arizmendiarieta, J.S., Puyuelo, B., Irigoien, I., Nohales, G. 2021. <i>Implantació del compostatge comunitari (alternativa a la gestió local de bioresidus)</i>. Guia pràctica. Agència de Residus de Catalunya. ARC. Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural. 85 pp https://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/form/guia_compostatge_comunitari.pdf</p>
7	<p>Saña, J., Soliva, M., 1987. <i>El Compostatge: procés, sistemes i aplicacions</i>. Diputació de Barcelona. Servei del Medi Ambient. ISBN: 84-505-5350-4</p>
8	<p>Saña, J., Soliva, M. 2006. <i>Condicions de compostatge in situ de dejeccions ramaderes sòlides</i>. Conveni ARC-ESAB/UPC. 65 pp. https://ruralcat.gencat.cat/documents/20181/79786/</p>
9	<p>Huerta, O., López, M., Soliva, M. 2010. <i>Procés de compostatge: caracterització de les mostres</i>. Diputació de Barcelona. ISBN: 978-84-9803-451-6.</p>
10	<p>ARC, Documentació necessària per al registre del compost https://residus.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/valoritzacio___reciclatge/el_compost/registre_compost/resum_normativa_fertilitzants_compost.pdf</p>
11	<p>ARC, Resum normativa de fertilitzants per a la comercialització del compost https://residus.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/valoritzacio___reciclatge/el_compost/registre_compost/fitxa_tecnica_registro_compost.pdf</p>

7.2 Altres referències

- Anonymus (2014). *Composting Information Sheet*. October 2014. Health and Safety Authority. Ireland.
- Bao, Y., Guan, L., Zhou, Q., Wang, H., Yan, L. (2010). *Various sulphur fractions change during different manure composting*. *Bioresource Technology* 101: 7841-7848.
- BOE. Boletín Oficial del Estado. Ley 7/2021 de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. BOE 21 de mayo de 2021; 62009-62052.
- BOE-A-2013-7540. Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.
- 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 Management* 2006:1081-1091.
- Cáceres, R., Marfà, O. (2013). *Diagnosis of the fertility of compost-based growing media: method comparison and monitoring in pot plant production*. *Scientia Horticulturae* 164:213-220.
- Cáceres R., Coromina N., Malińska K., Marfà O. (2015a). *Evolution of process control parameters during extended co-composting of green waste and solid fraction of cattle slurry to obtain growing media*. *Bioresource Technology* 179, 398-406.
- Cáceres, R., Magrí, A., Marfà, O. (2015b). *Nitrification of leachates from manure composting under field conditions and their use in horticulture*. *Waste Management* 44(2015):72-81.
- Cáceres, R., Cunill, C., Marfà, O. (2015c). *Composts que es produeixen a Catalunya: caracterització i viabilitat del seu ús com a substrat*. *Quaderns Agraris del ICEA*. 39:7-34. 00000020.pdf (iec.cat). Data de consulta: 9 de juny de 2022
- Cáceres, R., Coromina, N., Malińska K., Martínez-Farré, F.X., López, M., Soliva, M., Marfà, O. (2016). *Nitrification during extended co-composting of extreme mixtures of green waste and solid fraction of cattle slurry to obtain growing media*. *Waste Management* 58:118-125.
- Cáceres, R., Malińska, K., Marfà, O. (2018). *Nitrification within composting: A review*. *Waste Management* 72: 119-137.
- Cáceres, R; Viana, G., Puerta, A. (2021). *Caracterización de materiales estructurantes y fracción sólida de purín de porcino para su compostaje*. Informe-deliverable Projecte LIFE AGRICLOSE.
- Cáceres, R., Puerta, A. (2022). Dades del projecte LIFE AGRICLOSE no publicades.
- Cáceres, R., Biel, C., Ortiz, C. Cáceres, R., Biel, C., Ortiz, C. *Composting as a nature-based solution to cope with circularity challenges in horticulture; studies of nitrification within composting and the use of compost in Sustainable horticulture*. *Acta Hort.* 1355. ISHS 2022. DOI 10.17660/ActaHortic.2022.1355.19 XXXI IHC –International Symposium on Agroecology and System Approach for Sustainable and Resilient Horticultural Production | International Society for Horticultural Science (ishs.org) Eds.: M.C. Dussi and S. Simon.
- Cornell University, (2016). *Composting Safety and Health*. Cornell Waste Management Institute. 35 pp.
- Czekala, W.; Malinska, K.; Cáceres, R.; Janczak, D.; Dach, J.; Lewicki, A. (2016b). *Co-composting of poultry manure mixtures amended with biochar - The effect of biochar on temperature and C-CO₂ emission*. *Bioresource Technology* 200: 921-927.

- DACC, (2021). Dades del projecte de caracterització i balanç de Nitrogen de les explotacions avícoles a Catalunya, realitzat pel CESAC, DACC i IRTA. Dades sense publicar.
- DOCG 5524. Llei 20/2009, del 4 de desembre, de prevenció i control ambiental.
- DOGC, (2019). Decret 153/2019 del 3 de juliol de 2019, de gestió de la fertilització del sòl i de les dejeccions ramaderes i d'aprovació del programa d'actuació a les zones vulnerables en relació amb la contaminació per nitrats que procedeixen de fonts agràries. Diari oficial de la Generalitat de Catalunya Número 7911 del 5 de Juliol de 2019.
- Duckworth, G. (2005). The composting industry. Code of practice. The composting Association. England.
- EIP-AGRI European Innovation Partnership *Agricultural Productivity and Sustainability*. (2015). Focus group Soil Organic Matter in Mediterranean regions. Final report. March 2015.
- EPA. United States, Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>. Consulta: 21/12/2021.
- Ezzariai, A., Hafidi, M., Khadra, A., Aemig, Q., El Fels, L., Barret, M., Merlina, G., Patureau, D., Pinelli, E. (2018). Human and veterinary antibiotics during composting of sludge or manure: global perspectives on persistence, degradation, and resistance genes. *Journal of Hazardous Materials* 359:465-481.
- Generalitat Valenciana, (2022). Ordre 4/2022, de 24 de març de la Conselleria d'Agricultura, Desenvolupament Rural, Emergència Climàtica i Transició Ecològica. Regulació de l'agrocompostatge de proximitat per a la gestió sostenible de les restes agrícoles, ramaderes, silvícoles i agroforestals en l'àmbit de la Comunitat Valenciana (2022/2631). DOGV número 9312 de 04/04/2022. [Resultado DOGV - Generalitat Valenciana \(gva.es\)](https://www.gva.es).
- Haug, R.T. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering*. Lewis Publishers. ISBN 0-87371-373-7. 717 pp.
- Inbar, 1989. Formation of humic substances during the composting of agricultural wastes and characterization of their physico-chemical properties. Tesi doctoral. Hebrew University of Jerusalem. 147 pp.
- Janczak, D., Malińska, K., Czekala, W., Cáceres, R., Lewicki, A., Dach, J. (2017). *Biochar to reduce ammonia emissions in gaseous and liquid phase during composting of poultry manure with wheat straw*. *Waste Management* 66: 36-45.
- Osorio, V., Paredes, L., Proia, L., Mauricio-Martínez, O., Boy-Roura, M., Ponsà, S. (2021). *Demostración de la capacidad de reducción de antibióticos en tecnologías de tratamiento de purines*. Beta. Biodiversitat, Ecologia, Tecnologia Ambiental i Alimentària. Universitat de Vic. Universitat Central de Catalunya
- Padrosa M. (2017). *Efectes del sistema d'aeració en la gestió del compostatge de FORM en pila dinàmica i pila estàtica ventilada*. Planta de compostatge de Torrelles de Llobregat. Treball final de grau. Grau en Enginyeria Agrícola. ESAB UPC.
- Prenafeta, F. i Parera, J. (2020). *Guia de les tecnologies de tractament de les dejeccions ramaderes a Catalunya*. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació (DARP). Barcelona, 72 pàgines.
- PRODECA, (2021). La indústria càrnia és el principal sector agroalimentari de Catalunya. <https://www.prodeca.cat/ca/sectors/el-sector-de-la-carn-i-embotits>. Data de consulta: 30/08/2021.
- Real Decreto 1528/2012. Condiciones de aplicación de la normativa comunitaria sobre SANDACH.

Sánchez-Monedero, M.A, Sánchez-García, M., Castejón-del Pino, R., Fornés, F, Belda, R.M., Lidón, A i Cayuela, M.L. 2021. Biochar as an additive in composting: impact on process performance and on the agronomical quality of the end product. *Acta Horticulturae* 1317, 175–188. 10.17660/ActaHortic.2021.1317.21. II International Symposium on Growing Media, Soilless Cultivation and Compost Utilization in Horticulture. Eds. B. Vandecasteele and J. Viaene.

Zhang, M., He, L.Y., Liu, Y.S., Zhao, J.L., Liu, W.R., Zhang, J.N., Chen, J., He, L.K., Zhang, Q.Q., Ying, G.G. (2019). *Fate of veterinary antibiotics during animal manure composting*. *Science of Total Environment* 650: 1363–1370.

Glossari d'acrònims i abreviacions

Elements de la taula periòdica

C: Carboni

Ca: Calci

Cr: Crom

Cu: Coure

Fe: Ferro

Hg: Mercuri

K: Potassi

Mg: Magnesi

Mn: Manganés

N: Nitrogen

Ni: Níquel

P: Fòsfor

Pb: Plom

S: Sofre

Zn: Zenc

Abreviacions i acrònims

C/N: relació carboni-nitrogen

C/Norg: relació carboni-nitrogen orgànic

CA: Capacitat d'aireig

CAG: Capacitat de retenció d'aigua

CC: Canvi climàtic

CE: Conductivitat elèctrica
CH₄: metà
CO₂: diòxid de carboni
DACC: Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural
Dap: Densitat aparent
Dr: Densitat real
EPT: espai porós total
FL: fracció líquida
FS: fracció sòlida
FSPV: fracció sòlida de purí de vaquí de llet
GDN: Gestió de Dejeccions i Nitrogen
GE: Grau d'estabilitat de la matèria orgànica
GEH: Gasos d'efecte hivernacle
i col: i col·laboradors
MO: Matèria orgànica
MM: Matèria mineral

N₂: dinitrogen
N₂O: òxid de dinitrogen
NH₃: amoníac
Nnh: Nitrogen no hidrolitzable
N-NH₄⁺: nitrogen amoniacal
N-NO₂⁻: nitrogen en forma de nitrit
N-NO₃⁻: nitrogen en forma de nitrat
Norg: Nitrogen orgànic
OGAU: Oficina de Gestió Ambiental Unificada
RP: restes de pi
SANDACH: subproductes d'origen animal no destinats al consum humà
SH₂: àcid sulfhídric.
smf: sobre matèria fresca
sms: sobre matèria seca
smo: sobre matèria orgànica

Índex de fotografies

Fotografia 1. Fems de vaquí (jaç de palla)
13

Fotografia 2. Fracció sòlida de purí de porcí
13

Fotografia 3. Gallinassa (amb jaç)
14

Fotografia 4. Material estructurant: palla de cereal d'hivern
21

Fotografia 5. Material estructurant: palla de blat de moro (panís)
21

Fotografia 6. Material estructurant: triturat d'esporga de perera
21

Fotografia 7. Material estructurant: triturat d'arbres
21

Fotografia 8. Mesura de la concentració d'oxigen intersticial
36

Fotografia 9. Tractor amb pala per al moviment i barreja del material
38

Fotografia 10. Maquinària específica per al volteig: voltejadora propulsada (dalt); arreu voltejador acoblat al tractor (baix)
39

Fotografia 11. Aspecte de fems de vedells compactats en blocs
40

Fotografia 12. Treball de barreja d'un remolc escampador de fems
40

Fotografia 13. A dalt, reg de piles de compostatge, alhora que es realitza el volteig, emprant difusors elevats amb les pròpies canonades de reg suportades amb varetes de ferro clavades a terra. A baix, sistema de reg per aspersió instal·lat en una plataforma aèria que es desplaça al llarg de la pila (Pila de compostatge de la Cooperativa Agrària de Torelló)
41

Fotografia 14. Sistema de garbellat pel producte final després d'haver-se compostat, amb tambor rotatori (a, esquerra) i mètode estàtic (b, dreta)
42

Fotografia 15. Full per a la recollida de dades
50

Fotografia 16. Aspecte de la fracció sòlida (FS) (a, dalt) i el material estructurant a base de restes de pi (b, baix) emprats
53

Fotografia 17. Disposició d'una capa de material estructurant per a facilitar l'absorció dels lixiviats i la ventilació passiva de la pila
69

Fotografia 18. Bassa de recollida de lixiviats d'una planta de compostatge
69

Fotografia 19. Imatge aèria de la planta de compostatge (l'experiència a)
71

Fotografia 20. Imatge de pila de compost (al fons) i piles en descomposició (en primer terme) de la planta de compostatge de l'experiència b)
75

Fotografia 21. Imatge de l'experiència c). A la dreta, mòduls per a descomposició (compostatge estàtic, treballant en aspiració) i maduració (a l'esquerra)
78

Fotografia 22. Imatge de piles de compostatge en descomposició de l'explotació de l'experiència d)

82

Fotografia 23. Piles de compostatge a una explotació de la cooperativa

86

Fotografia 24. Volteig de pila amb un arreu voltejador (esquerra); mesura de la temperatura de la pila de compostatge (dreta)

87

Índex de taules

Taula 1. Composició de diferents dejeccions ramaderes sòlides en relació a la matèria orgànica, el seu grau d'estabilitat, formes nitrogenades orgàniques (N orgànic total i N no hidrolitzable) i relació C/Norg
17

Taula 2. Composició de diferents dejeccions ramaderes sòlides en relació a pH, la Conductivitat elèctrica (CE), el N-NH₄⁺ soluble i el nitrogen en forma de nitrit i nitrat
18

Taula 3. Propietats físiques de diferents dejeccions ramaderes sòlides
19

Taula 4. Composició de diferents materials estructurants en relació a la matèria orgànica, el seu grau d'estabilitat, formes nitrogenades orgàniques (N orgànic total i N no hidrolitzable) i relació C/Norg
22

Taula 5. Composició de diferents materials de jaç que s'empren en explotacions avícoles (estudi DACC, 2021)
23

Taula 6. Composició de diferents materials estructurants en relació a pH, la Conductivitat elèctrica (CE), el N-NH₄⁺ soluble, el nitrogen en forma de nitrit i nitrat
24

Taula 7. Humitat i propietats físiques de diferents materials estructurants
24

Taula 8. Característiques de la fracció sòlida de purí de vaquí de llet (FSPV) i de la FSPV barrejada amb material estructurant a base de restes de pi (RP) amb proporció 2:1 (FSPV:RP, volum:volum)
27

Taula 9. Diferents aspectes a considerar en piles en descomposició o maduració

47

Taula 10. Monitorització de les piles de compostatge: la seva composició i el control

50

Taula 11. Gestió de possibles incidències o problemes en el maneig del compostatge

52

Taula 12. Caracterització de llixiviats del compostatge de fems de vaquí (LV) i porcí (LP)

65

Taula 13. Mesures d'evitació o mitigació d'emissió de gasos durant el compostatge

67

Taula 14. Caracterització de materials de l'explotació de l'experiència a): paràmetres relacionats amb la matèria orgànica (MO) i el nitrogen (N)

72

Taula 15. Caracterització de materials de la granja de l'experiència a): paràmetres determinats sobre un extracte aquós 1:5 (p:p)

73

Taula 16. Caracterització de materials de l'explotació de l'experiència a): paràmetres físics

74

Taula 17. Caracterització de materials de l'explotació de l'experiència b): paràmetres relacionats amb la matèria orgànica (MO) i el nitrogen (N)

76

Taula 18. Caracterització de materials de l'explotació de l'experiència b): paràmetres determinats sobre un extracte aquós 1:5 (p:p)

77

Taula 19. Caracterització de materials de l'explotació de l'experiència b): paràmetres físics

77

Taula 20. Caracterització de materials: paràmetres relacionats amb la matèria orgànica (MO) i el nitrogen (N)

78

Taula 21. Caracterització de materials; paràmetres determinats sobre un extracte aquós 1:5 (p:p)

79

Taula 22. Caracterització de materials: paràmetres físics

81

Taula 23. Caracterització de materials de l'experiència d): paràmetres relacionats amb la matèria orgànica (MO) i el nitrogen (N)

83

Taula 24. Caracterització de materials de l'experiència d): paràmetres determinats sobre un extracte aquós 1:5 (p:p)

84

Taula 25. Caracterització de materials de l'experiència d): paràmetres físics

85

Taula 26. Distribució (%) de la massa i del nitrogen de les dejeccions tractades en un procés de compostatge

89

Taula 27. Analítiques obligatòries a realitzar en el compost (sense registrar o registrat com a fertilitzant)

91

Taula 28. Classificació de la qualitat dels compost en funció de la concentració de metalls pesants

96

Índex d'esquemes

- Esquema 1.* Resum de les diferències entre els materials principals (dejeccions ramaderes sòlides) i materials estructurants
25
- Esquema 2.* Aspecte del material en descomposició de materials principals (dejeccions ramaderes sòlides) amb i sense estructurant. Cáceres, R. (adaptació de Haug, 1993)
26
- Esquema 3.* Fases del procés de compostatge de les dejeccions ramaderes i el diagrama de temperatura durant el procés
29
- Esquema 4.* Cicle del nitrogen en una pila de compostatge. N: nitrogen; NH_4^+ : ió amoni; NO_3^- : Nitrit; N_2 : nitrogen gas (dinitrogen); N_2O : òxid nítrós; NH_3 : amoníac. Adaptat de Cáceres i col. 2018
31
- Esquema 5.* Esquema dels elements bàsics del compostatge estàtic (en aquest cas, amb impulsió d'aire)
43
- Esquema 6.* Formació de piles i volteig amb arreu voltejador acoblat al tractor (compostatge dinàmic)
44
- Esquema 7.* Formes possibles de les piles de compostatge i capacitat de càrrega associada
45
- Esquema 8.* Procés de tramitació d'una planta de compostatge en origen per produir un fertilitzant registrat
93

Índex de figures

- Figura 1.* Perfil de temperatura (T) ideal de dejeccions sòlides en compostatge, on es distingeixen les fases de descomposició (escalfament i altiplà) i maduració (refredament i coincidència amb la temperatura ambient). Font: Cáceres i col, 2006; Cáceres, 2003
34
- Figura 2.* Paràmetres de control i accions realitzades en les piles de compostatge FS-E (Figura 2a, dalt a l'esquerra), FS-D (Figura 2b, dalt a l'esquerra) i FSP-D (Figura 2c, baix a la dreta). Font: Cáceres i col., 2006; Cáceres, 2003
55
- Figura 3.* Evolució de la reducció del volum durant el compostatge. Font: Cáceres, 2003
56
- Figura 4.* Evolució del pH (Figura 4, dalt) i la salinitat (conductivitat elèctrica-CE) (Figura 4 baix) durant el compostatge de la fracció sòlida del purí de vaquí. Font: Cáceres i col., 2006; Cáceres, 2003
58
- Figura 5.* Evolució del N amoniacal (dalt) i del N nítric (baix) durant el compostatge de la fracció sòlida del purí de vaquí. Font: Cáceres i col., 2006; Cáceres, 2003
59
- Figura 6.* Evolució de la matèria orgànica (MO) (dalt) i de la relació C/Norg (baix) durant el compostatge. Font: Cáceres, 2003
61
- Figura 7.* Evolució del grau d'estabilitat de la matèria orgànica durant el compostatge. Font: Cáceres, 2003
62

Agraïments

En primer lloc, els autors agraeixen a les persones que -a casa nostra- han contribuït de manera molt significativa a la formació de diverses generacions d'Enginyers Agrònoms en el camp del compostatge, agronomia i els sòls. En especial, i respectivament, a la Dra. Montserrat Soliva Torrentó (EPD), el Dr. Oriol Marfà i el Dr. Jaume Boixadera.

Agraïm la col·laboració amb moltes empreses dedicades a la transformació de subproductes orgànics (Tervex Terres Vegetals, Planta de compostatge de Juncosa de les Garrigues). També a les explotacions ramaderes (i cooperatives) que impulsen el compostatge descentralitzat (Mas Maians, Ous de Ponent, SELERGAN S.A, Granges Terragrisa, Màrius Gòdia-Treballs Agrícoles, Cooperativa d'Ivars).

Agraïm al personal del DACC (Ester Santolaria, Carlos Ortiz i Núria Canut) i ARC (Francesc Giró i Glòria Batlló) les seves contribucions.

També al personal de l'IRTA que ha donat suport tècnic aquest àmbit de recerca durant anys: Anna Puerta, Jesús Ortiz, Antonio Fernández, Alexis Barrionuevo, Toni Cano, José Montero i Cristian Morales. Així mateix, a la resta de personal del centre de Cabrils de l'IRTA.

Alguns dels resultats que apareixen en aquesta guia s'han pogut obtenir gràcies al finançament de:

Projecte LIFE AGRICLOSE. Improvement and disclosure of efficient techniques for manure management towards a circular and sustainable agriculture. Coordinador: DACC-Generalitat de Catalunya. Juliol 2018-Desembre 2022. LIFE 17 ENV/ES/000439.

Projecte Optimització del compostatge de subproductes orgànics orientat a l'obtenció de substrats. RTA2010-00112-00-00. Projecte INIA 2010-2013.



Generalitat de Catalunya
Departament d'Acció Climàtica,
Alimentació i Agenda Rural



agriclose

