



EPS

Escola Politècnica

UdG

Superior

Projecte/Treball Fi de Carrera

Estudi: Gr. Sup. en Tecnologia Ambiental. Pla 2001

Títol: GESTIÓ DE LES DEJECCIONS RAMADERES D'UNA EXPLOTACIÓ AVÍCOLA MITJANÇANT COMPOSTATGE

Document: Treball Fi de Carrera

Alumne: Joana Tarrés i Font

Director/Tutor: Joan Gaya i Fuertes

Departament: Eng. Química, Agrària i Tecn. Agroalimentària

Àrea: Enginyeria Química

Convocatòria (mes/any): 02/08

Voldria donar el meu agraïment a la Montse i a en Darius, de l'empresa FERVOSA, per la seva col·laboració indispensable en aquest estudi; a en Joan, el tutor del projecte, pel seu seguiment i paciència al llarg de tot el treball, i als meus pares i germà per a la seva assistència tan en el desenvolupament de les proves experimentals com en tota la seva redacció.

L'infinit és la suma de molts estels,

Moltes gràcies a tots

INDEX

1	ANTECEDENTS I OBJECTIUS DEL PROJECTE	03
1.1	ANTECEDENTS	03
1.2	OBJECTE	03
1.3	ABAST	03
1.4	ESTRUCTURA	04
2	INTRODUCCIÓ	05
2.1	APLICACIÓ DE RESIDUS ORGÀNICS AL SÒL	05
2.1.1	Condicionants legals	07
2.1.1.1	Regament CE nº 1774/2002	07
2.1.1.2	Real Decret 824/2005	09
2.1.1.3	Segon esborrany del document treball CE DG ENV E3-2001	11
2.2	EL COMPOSTATGE: PARÀMETRES MÉS INFLUENTS I SISTEMES TECNOLÒGICS PRINCIPALS	12
2.2.1	Definició i fonament científic	12
2.2.2	Condicions de treball i fases del procés de compostatge	15
2.2.2.1	Porositat	15
2.2.2.2	Aireació	16
2.2.2.3	Temperatura:	18
2.2.2.4	Humitat	21
2.2.2.5	pH	22
2.2.2.6	Relació C/N	22
2.2.2.7	La població microbiana	23
2.2.2.8	Variació dels paràmetres al llarg del procés	24
2.2.3	Qualitat del procés i producte	28
2.2.3.1	Control del material d'entrada	28
2.2.3.2	Seguiment del procés	30
2.2.3.3	Qualitat del producte final	30
2.2.4	Sistemes tecnològics de compostatge	30
2.2.4.1	Piles simples voltejades	31
2.2.4.2	Piles estàtiques airejades	32
2.2.4.3	Tambor de rotació lenta	32
2.2.4.4	Túnel	33
2.2.4.5	Contenedor	33
2.2.4.6	Nau automatitzada	33
3	EXPOSICIÓ DE LA PROBLEMÀTICA I JUSTIFICACIÓ DE LA PROVA PILOT	35
3.1	EXPOSICIÓ PROBLEMÀTICA	35
3.1.1	Activitat ramadera desenvolupada	35
3.1.2	Les dejeccions ramaderes originades	35
3.1.3	Gestió de les dejeccions ramaderes	39
3.2	Plantejament experimental	39
3.2.1	Estudis prèvis	39
3.2.2	Importància cabdal de l'agent estructurant	40
3.2.3	Plantejament de la prova pilot núm. 1	41
3.2.4	Plantejament de la prova pilot núm. 2	42
3.2.5	Resultats esperats	43
3.2.6	Col·laboració amb FERVOSA	43
4	MATERIALS I MÈTODES	45
4.1	PROVA PILOT NÚM 1	45
4.1.1	Sistema tecnològic emprat	45
4.1.1.1	Ubicació	45
4.1.2	Orígen del material	46
4.1.3	Paràmetres d'operació	47
4.1.3.1	Sistemes de presa de mostres	47
4.1.3.2	Caracterització del material d'entrada	47
4.1.3.3	Mescles	48
4.1.3.4	Seguiment del procés	49
4.1.3.5	Voltejos	50
4.1.3.6	Caracterització del producte de sortida	51

4.1.3.7	Balanç de matèria i energia	52
4.2	DISSENY DE LA PROVA PILOT NÚM. 2	53
4.2.1	Orígen del material	53
4.2.2	Paràmetres d'operació	53
4.2.2.1	Caracterització del material d'entrada i mescles	53
4.3	MÈTODES ANALÍTICS	55
5	RESULTATS	57
5.1	DESENVOLUPAMENT DE LA PROVA PILOT NÚM 1	57
5.1.1	Caracterització del material d'entrada i construcció de la pila	57
5.1.1.1	Caracterització del material d'entrada	57
5.1.1.2	Mescles oportunes	60
5.1.1.3	Construcció de la pila	60
5.1.2	SEGUIMENT DEL PROCÉS	62
5.1.2.1	Seguiment tèrmic i hídric	62
5.1.2.2	Observació visual del material al llarg del procés	63
5.1.2.3	Control de qualitat del material	64
5.1.3	CARACTERITZACIÓ DEL PRODUCTE DE SORTIDA	69
5.1.3.1	Caracterització del producte de sortida	69
5.1.3.2	Pes i volum finals	72
5.1.4	Balanç de matèria i energia	73
5.2	VALORACIÓ DEL PROCÉS DE COMPOSTATGE DE LA PROVA PILOT NÚM 1	74
5.3	PLANTEJAMENT PROVA PILOT NÚM. 2	76
5.3.1	Caracterització del material d'entrada i mescles oportunes	76
5.3.1.1	Determinació de la proporció floc gallinassa (F/G)	76
5.3.1.2	Cerca de la relació C/N òptima	78
6	DISCUSSIÓ I VALORACIÓ DELS RESULTATS OBTINGUTS	81
6.1	ANÀLISIS DELS RESULTATS ESPERATS I OBTINGUTS	82
6.1.1	Resultats esperats	82
6.1.2	Resultats obtinguts	82
6.1.3	Motius de divergència	83
6.1.3.1	Temporalitat i manca de previsió i coordinació	83
6.1.3.2	Manca d'ubicació adequada i espai	83
6.1.3.3	Incidències en les analítiques i alt temps de reacció	83
6.1.4	Replantejament de les proves pilot	84
6.1.4.1	Determinació de la proporció floc gallinassa	84
6.1.4.2	Cerca de la relació C/N òptima per al procés de compostatge de la dejecció ramadera problema.	85
6.1.4.3	Disseny de la planta	85
7	CONCLUSIONS	87
8	BIBLIOGRAFIA	89
8.1	RECURSOS BIBLIOGRÀFICS	89
8.2	RECURSOS ELECTRÒNICS	90
9.	ANNEXOS	91
ANNEX I:	CONDICIONANTS LEGALS	
ANNEX II:	ANNEX FOTOGRÀFIC	
ANNEX III:	MÈTODES ANALÍTICS	
ANNEX IV:	SEGUIMENT TEMPERATURA	
ANNEX V:	RESULTATS ANALÍTIQUES PROVA PILOT 1	
ANNEX VI:	RESULTATS ANALÍTIQUES PROVA PILOT 2	

1 ANTECEDENTS I OBJECTIUS DEL PROJECTE

1.1 ANTECEDENTS

Les dejeccions ramaderes són un subproducte de l'activitat ramadera molt valorat per l'agricultura. Actualment però, degut a la desvinculació entre ambdues activitats i l'existència de nombroses alternatives per a la fertilització dels camps, les dejeccions ramaderes es consideren residus i els cal una gestió adequada.

La redacció d'aquest treball es planteja per a donar solució a la problemàtica en la gestió de les dejeccions ramaderes presentada per una empresa dedicada a la integració avícola.

Degut a la manca de terres de cultiu on aplicar la gallinassa com a adob i la sobresaturació dels gestors de residus autoritzats més propers, l'empresa es planteja l'opció de tractar biològicament aquest residu mitjançant una planta de compostatge.

1.2 OBJECTE

L'objecte del treball era l'estudi de la viabilitat tècnica, econòmica i ambiental de tractar les dejeccions ramaderes en el marc de l'empresa. Tot i així, tal com s'explicarà més endavant, l'objecte del projecte s'ha vist reduït a una aproximació a aquest estudi.

1.3 ABAST

En primer lloc es farà un estudi del procés de compostatge: els paràmetres més influents i els sistemes tecnològics principals. A partir de l'assoliment d'aquests coneixements previs s'engegarà una prova pilot per tal de determinar si el compostatge del residu tal com surt de la granja és viable o cal afegir algun estructurant.

L'abast inicial del projecte plantejava, un cop realitzada l'experiència pilot, dur a terme el disseny de la planta i a l'estudi de la seva viabilitat, però degut a les condicions de l'entorn del projecte i dels resultats obtinguts a la primera prova experimental es va decidir deixar aquest disseny per a futurs treballs.

1.4 ESTRUCTURA

Per tant el treball s'estructura de la següent manera: Primer de tot hi ha una introducció on s'explica l'aplicació dels residus orgànics al sòl i el compostatge, sistema del qual es fa un estudi en profunditat. A continuació s'explica la problemàtica de l'empresa i es detalla la justificació de la realització de una prova pilot i quins resultats se n'espera obtenir. En l'apartat material i mètodes s'explica el disseny de la prova pilot, el seguiment d'aquesta i els mètodes analítics realitzats. En el següent apartat es presenten els resultats obtinguts i es realitzen les observacions pertinents. A continuació a l'apartat discussió es reflexiona sobre els resultats obtinguts i el que s'esperaria haver trobat i les implicacions que això comporta. Per últim es recullen les conclusions extretes al llarg del treball.

2 INTRODUCCIÓ

2.1 APLICACIÓ DE RESIDUS ORGÀNICS AL SÒL

Per tal d'aplicar un residu en el sòl és de gran importància conèixer la composició ja que si no aquest es pot veure alterat.

La matèria orgànica es la responsable d'aportar al sòl propietats com la esponjositat, que afavoreixen l'aireació, la retenció d'aigua, la prevenció de l'erosió i contribueix a la biodiversitat (Huerta et al., 2005) Aquestes propietats afavoreixen el creixement de les plantes, per tant és interessant la presència de matèria orgànica al sòl, sobretot per un ús agrícola, tot i que també ho és per a d'altres usos.

Segons l'European Soil Bureau (European Soil Bureau, 2000) els sòls mediterranis solen ser pobres en matèria orgànica, per tant, els residus orgànics en poden ser una font, tot i que en certs casos poden portar contaminants associats.

Malgrat que el sòl té capacitat depuradora i immobilitzadora i els vegetals poden reciclar nutrients, s'ha de tenir en compte no sobrepassar el llindar d'aquesta capacitat de resiliència i arribar a la degradació d'aquest sòl. Per tant l'aplicació dels residus del sòl s'ha de gestionar d'una manera conscient i coordinada: caracteritzant els residus que es volen aplicar, descartant els que no compleixin certs límits de qualitat i buscant la dosificació òptima d'aplicació del residu per tal de que no es malmeti el sòl, ja que aquest no és renovable a curt termini. També s'ha de tenir en compte la freqüència d'aplicació.

Per tal de determinar si un residu orgànic es apte per a la seva aplicació al sòl, la seva caracterització recau en fixar-se en les seves capacitats intrínseques que es detallen a continuació (Soliva, 2003):

- Potencial o valor esmena: és a dir la qualitat i quantitat de fracció orgànica que conté
- Potencial o valor fertilitzant: el contingut total i disponible en elements nutritius: N,P,K
- Potencial o càrrega contaminant: contaminants químics i biòtics.

Per tant és de gran importància fer una bona caracterització dels residus orgànics per a la seva aplicació al sòl, les analítiques principals a realitzar són les que es detallen a la figura 2.1.

El tractament biològic dels residus orgànics presenta beneficis com ara la estabilització de la matèria orgànica, la fixació dels nutrients, la reducció de males olors, la inactivació dels patògens i eliminació de llavors. A més, comporta una reducció del volum i disminució de la humitat que faciliten la manipulació d'aquests residus i milloren la distribució en l'aplicació.

Referència	04-011
Planta	
Material	Compost FORM
Observacions	Comercial
Data mostreig	10-mar-2004
pH (1/5)	7,69
CE (dS m ⁻¹) (1/5)	8,77
% Humitat	26,25
mg kg ⁻¹ N-NH ₄ ⁺ soluble (1/5) s.m.s.	527
mg kg ⁻¹ N-NO ₃ (1/5) s.m.s.	891
% MO s.m.s.	50,59
% N org s.m.s.	2,56
C/N s.m.s.	10
% MOR s.m.s.	24,54
% GE s.m.s.	48,51
% NnH s.m.s.	1,08
% NnH/Norg s.m.s.	42,25
% P s.m.s.	1,24
% K s.m.s.	1,69
% Na s.m.s.	0,73
% Ca s.m.s.	13,06
% Mg s.m.s.	0,95
% Fe s.m.s.	1,40
mg kg ⁻¹ Zn s.m.s.	426
mg kg ⁻¹ Mn s.m.s.	241
mg kg ⁻¹ Cu s.m.s.	136
mg kg ⁻¹ Ni s.m.s.	55
mg kg ⁻¹ Cr s.m.s.	58
mg kg ⁻¹ Pb s.m.s.	36
mg kg ⁻¹ Cd s.m.s.	0,66

Figura 2.1: Paràmetres a realitzar per a una bona caracterització dels residus orgànics

Font: Huerta i López, 2004

	Indicadors generals
	Matèria orgànica disponible i resistent, estabilitat i equilibri de nutrients
	Macronutrients: nitrogen orgànic, nitrogen resistent, nitrogen de disponibilitat immediata
	Paràmetres que informen dels micronutrients: P, K, Mg i Fe
	Paràmetres que informen de la presència de contaminants: metalls pesants

2.1.1 Condicionants legals

La legislació principal vigent en matèria de productes fertilitzants i utilització de subproductes animals és la següent:

- El Reglament CE nº 1774/2002 del Parlament Europeu i del Consell, de 3 d'octubre del 2002, per el que s'estableixen les normes sanitàries aplicables als subproductes animals no destinats al consum humà i obliga a modificar als estats membres la seva normativa, d'àmbit comunitari
- Real Decreto 824/2005, de 8 de juliol, sobre productes fertilitzants, d'àmbit estatal.

També és de destacar el segon esborrany del document treball de la Comissió Europea DG ENV E3-2001

A l'*ANNEX I: Condicionants legals* es fa un recull més extens de la legislació aplicable

2.1.1.1 Reglament CE nº1774/2002

El Reglament CE nº1774/2002 del Parlament Europeu i del Consell de 3 d'octubre del 2002, pel que s'estableixen les normes sanitàries aplicables als subproductes animals no destinats al consum humà. Aquest reglament entre d'altres ha fixat restriccions pels materials d'origen animal que s'utilitzin per a fer abonaments i esmenes orgàniques

Aquest permet que els fems i els materials del tub digestiu que correspon a la categoria 2 establerta pel reglament, es tractin en plantes de biogàs i compostatge subjectes a l'autoritat competent i en marca les condicions específiques aplicables a l'autorització de les plantes de biogàs i de compostatge.

Per a les plantes de compostatge, en el capítol II de l'annex VI, s'especifica les condicions en el cas que sigui propera a granges, les condicions d'higiene i emmagatzament i mètodes de desinfecció i les normes de transformació.

Dins d'aquestes normes de transformació s'estableix que les mostres dels residus de fermentació i de compost preses durant l'emmagatzament o el moment de sortida de magatzem situades en la planta de biogàs i compostatge hauran de complir:

Salmonella: ausència en 25 g: $n = 5$, $c = 0$, $m = 0$, $M = 0$

Enterobacteriaceae: $n = 5$, $c = 2$, $m = 10$, $M = 300$ en 1 g

on

n = número de mostres que s'han d'analitzar,

m = valor llindar del nombre de bactèries, el resultat es considera satisfactori si el nombre de bactèries en totes les mostres no es superior a m ,

M = valor màxim del nombre de bactèries, el resultat es considera insatisfactori si el nombre de bactèries en una o més mostres és igual o superior a M ,

c = nombre de mostres que el seu contingut bacterià pot estar entre m i M , la mostra es seguirà considerant acceptable si el contingut bacterià de les altres mostres és igual o inferior a m .

Al capítol III de l'annex VI es marquen les condicions aplicables als fems, als fems transformats i els productes a base de fem transformat. Concretament s'estableix que per a la posada al mercat del fem transformat i els productes a base de fem transformat procedents d'una planta tècnica degudament autoritzada conforme el reglament, s'hauran de complir les següents condicions

- Haver estat sotmesos a un tractament tèrmic d'almenys 70°C durant un mínim de 60 minuts o un tractament equivalent
- Estar lliures de
 - Salmonella: Ausent en 25 gr de producte elaborat
 - Enterobacteriaceae: < 1000 UFC per gram de producte elaborat
- Haver sigut sotmesos a un tractament de reducció de la presència de bactèries esporulades i toxígenes
- Emmagatzemar-se d'una forma que una vegada transformats sigui impossible la seva contaminació, infecció secundària o humitat: sitges ben tancades i aïllades i envasos ben tancats.

2.1.1.2 Real Decret 824/2005

Segons el Real Decret 824/2005 de 8 de Juliol sobre productes fertilitzants, el compost està inclòs dintre el grup 6 :esmenes orgàniques, amb el codi 6.02. Estableix que el compost és un producte higienitzat i estabilitzat obtingut mitjançant descomposició aeròbica, incloent fase termofílica, de materials orgànics biodegradables, incloses en l'Annex IV, sota condicions controlades. En el mateix grup es troba el compost de fem (compost de estiércol) 6.04 que presenta la mateixa definició però només pot ser obtingut a partir de fem exclusivament. S'estableixen els requisits per tal de que un compost pugui ser considerat fertilitzant, que s'enumeren a la taula 2.1

L'esmentat Real Decret estableix que les matèries primes d'origen animal utilitzades en l'elaboració dels productes fertilitzants hauran de complir els requisits marcats pel Reglament 1774/2002.

Taula 2.1: Requisits per tal de que un compost pugui ser considerat com a fertilitzant

RD 824/2005	6.02 COMPOST	6.04 COMPOST DE FEM
Max. humitat	30 %- 40 %	30 %- 40 %
MO (mínim)	>35 % (MOT)	>35 % (MOT)
C/N	< 20	< 20
Granulometria (Ø > 5 mm) Pedres i graves	< 5 %	0%
Granulometria (Ø > 2 mm) Impureses metalls vidres	< 3 %	0%
Granulometria (Ø < 25 mm)	90 % partícules	0%

Font: RD 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes

A diferència del compost, el compost de fem no podrà contenir cap impuresa ni inerts de cap tipus tals com pedres, graves, metalls, vidres o plàstics

En ambdós casos, en el cas que es comercialitzin a l'etiqueta cal informar sobre el pH, la CE, la relació C/N, la humitat mínima i màxima, matèries primes utilitzades i el tractament o procés d'elaboració. A més, el contingut en nutrients que cal declarar i

garantir són: matèria orgànica total, C orgànic, N total (si supera 1%), N orgànic (si supera 1%), N amoniacal (si supera 1%), P₂O₅ total (si supera 1%), K₂O total (si supera 1%), àcids húmics i la granulometria.

A l'Annex IV del Real Decret es recullen la llista de residus orgànics biodegradables segons el catàleg europeu de residus, que es poden utilitzar en el compost.

En l'annex V del Real Decret 824/2005 s'estableixen els criteris aplicables als productes fertilitzants elaborats amb residus i components orgànics a menys que els requisits específics marquin altres valors. Aquests es recullen a la taula 2.2

Taula 2.2: Criteris aplicables als productes fertilitzants elaborats amb residus i components orgànics

Paràmetre	Nivell	Comentaris
N orgànic	>85% del total	
Humitat	<14 % (percentatge en massa)	Abonament granulat o peletitzat
Granulometria <10 mm	90%	
Salmonella	Ausent en 25 gr de producte elaborat	
Eschericia Coli	< 1000 NMP per gram de producte elaborat	
Metalls pesants	Límit màxim de metalls pesats s'estableix en la taula 2.3	Segons el contingut de metalls els fertilitzants es classifiquen en la classe A, B o C.

Font: RD 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes

També s'estableix que la càrrega microbiana no pot superar els valors màxims establerts en el reglament CE 1774/2002, en la matèria primera transformada per a ser utilitzada com a ingredient per a abonaments orgànics d'origen mineral.

Els productes de la Classes C no es podran aplicar sobre sòl agrícola en dosis superiors a 5 Tn de matèria seca per hectàrea i any i en zones d'especial protecció les comunitats autònomes regularan sobre la matèria.

Taula 2.3: límit màxim de metalls pesants per a productes fertilitzants i la seva classificació en classes.

Metall Pesat	Límits de concentració		
	Sòlids: mg/kg matèria seca		
	Líquids: mg/kg		
	Classe A	Classe B	Classe C
Cadmi	0,7	2	3
Coure	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plom	45	150	200
Zinc	200	500	1000
Mercuri	0,4	1,5	2,5
Crom (total)	70	250	300
Crom (VI)	0	0	0

Font: RD 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes

2.1.1.3 Segon esborrany del document de treball de la Comissió Europea DG ENV E3-2001

Segons el segon esborrany del treball de la Comissió Europea DG ENV E3-2001, el control de la higienització posterior al tractament cal que asseguri:

- Absència de *Salmonella streptococchi* en 50 g del producte final
- Absència de *Clostridium perfringens* en 1 g del producte final
- Assaig de germinació de males herbes: germinació de < 3 llavors per L

Segons aquest mateix esborrany els usos dels residus orgànics al sòl poden ser els següents

Compost i digerit

Clase 1: segons millors pràctiques agronòmiques i sense cap restricció específica

Clase 2: < 30 t ms per ha durant una mitjana de tres anys

2.2 EL COMPOSTATGE: PARÀMETRES MÉS INFLUENTS I SISTEMES TECNOLÒGICS PRINCIPALS

2.2.1 Definició i fonament científic

El compostatge es defineix com la fermentació aeròbica controlada de la matèria orgànica obtenint-se matèria orgànica estabilitzada. Els microorganismes són presents a la matèria orgànica residual que es composta.

Amb la degradació biològica del compostatge es redueix el pes, el volum i la humitat de la matèria orgànica i s'innactiven els patògens degut a les elevades temperatures que s'assoleixen. També s'eliminen les males olors per descomposició dels compostos orgànics volàtils i la matèria orgànica s'estabilitza. Pel que fa als nutrients, part del nitrogen amoniacal es transforma en nitrogen orgànic i si les condicions de treball són ideals no es produeixen pèrdues, però en condicions reals, es produeixen pèrdues de nitrogen amoniacal que cal evitar.

El producte que s'obté d'aquesta tècnica s'anomena compost i es pot aplicar com a fertilitzant. Els avantatges d'aquest respecte al residu sense tractar, són que és un producte més estable i manejable, on els patògens estan morts i que es redueix el volum i el pes en un 40-50%. Els usos que pot tenir el compost són com a fertilitzant¹ en agricultura o jardineria o com a esmena orgànica² per a la restauració d'espais degradats o reforestació. També es pot utilitzar com a rebliment.

¹ Fertilitzant: Material que té com a objectiu aplicar nutrients al sòl.

² Esmena orgànica: millora les propietats del sòl. Destaca l'estabilitat de la matèria orgànica i el contingut en matèria orgànica.

El fonament científic del compostatge es basa en el cicle de Krebs (figura 2.2)

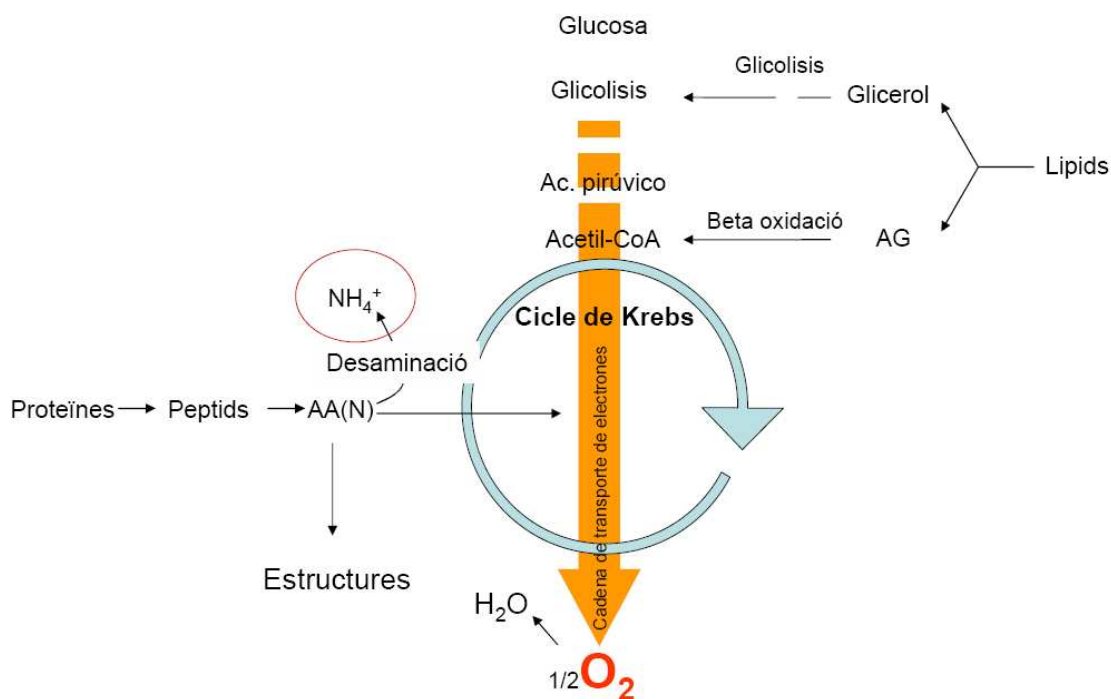
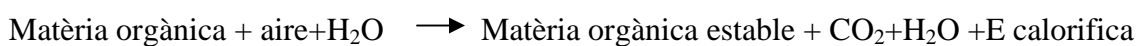


Figura 2.2: Cicle de Krebs

Font: Huerta et. Al. 2005

A grans trets, l'equació general del procés seria la següent:



Els microorganismes agafen els nutrients i l'energia que necessiten per viure i estableixen la matèria orgànica. Aquesta activitat microbiològica desprèn energia en forma de calor (Figura 2.3 i 2.4).

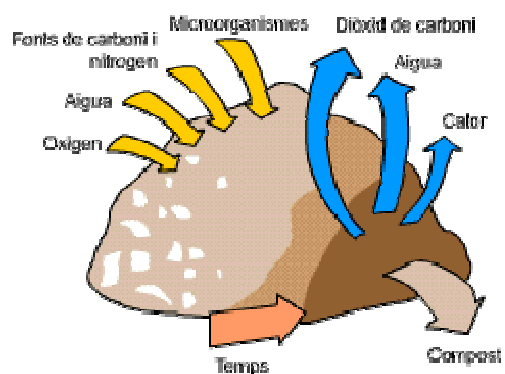


Figura 2.3: Esquema gràfic del procés del compostatge

Font: Campos E. Et. al, 2004

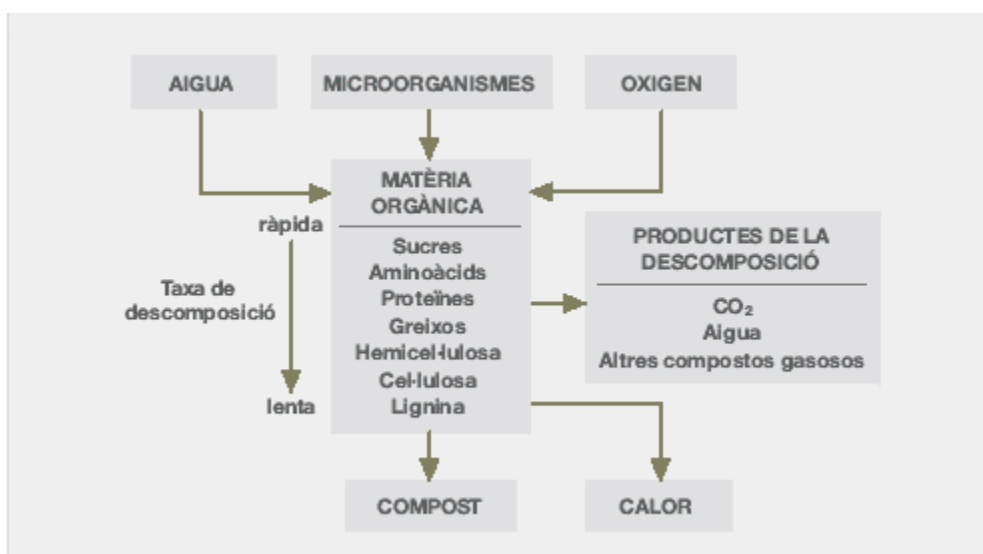


Figura 2.4: Esquema del procés del compostatge

Font: Campos E. Et. al, 2004

2.2.2 Condicions de treball i fases del procés de compostatge

El procés del compostatge té diferents fases, que a continuació es descriuen:

1. **Fase de descomposició:** És la primera fase, on les molècules complexes es degraden a molècules més senzilles.
2. **Fase de maduració:** En aquesta fase es construeixen molècules complexes a partir de molècules senzilles.

Al tractar-se d'un procés microbiològic cal que es mantinguin una sèrie de condicions que afavoreixin als microorganismes per tal d'obtenir un producte amb les característiques d'estabilització i higiene òptimes . Aquestes condicions són:

- Porositat i aireació
- Temperatura
- Humitat
- pH
- Relació C/N
- Població microbiana

L'observació d'aquestes condicions és vital ja que poden comportar variacions i problemes en el procés de compostatge i per tant és d'interès conèixer les relacions entre aquestes.

A continuació s'estudiarà cadascuna d'aquestes condicions, la seva evolució al llarg del procés, la influència sobre aquest i la relació entre d'altres paràmetres. També es vol plantejar com incidir sobre aquests en la gestió i el maneig del procés, quins es poden controlar directament i quins indirectament.

2.2.2.1 Porositat

Per tal de que els microorganismes puguin dur a terme la fermentació aeròbia és imprescindible la presència d'oxigen, per tant es requereix que el material a compostar tingui porositat que permeti el pas de l'oxigen i així no es creïn zones on es produeixi la fermentació anaeròbica, fet que podria provocar males olors. Es requereix una porositat

del 30 - 50 %. Si el material a compostar està format per partícules petites se li ha d'afegir material estructurant.

El material estructurant s'encarrega de donar macroporositat a la mescla a compostar i evitar que la mescla col·lapsi pel seu propi pes. Cal tenir en compte la microporositat, que té la partícula de residu, es tracta de la porositat interna.

El coneixement de les proporcions d'estructurant/residu (E/R) que s'ha de barrejar és important per al disseny de la planta, ja que a partir del coneixement del residu que es tractarà a cada pila, es podrà conèixer la superfície necessària per al tractament de la totalitat dels residus a tractar. Cal destacar que aquesta proporció ha de ser la mínima possible per aconseguir la màxima capacitat de tractament. Quan més gran és la proporció E/R menys capacitat de tractament tindrà la planta, (Haug, 1993). A més una proporció mal feta allarga també el temps de compostatge.

La proporció estructurant/residu es calcula a partir del coneixement de la porositat d'ambdós materials i la grandària mitjana dels porus.

Aquesta porositat també juga un paper important en el consum energètic de la planta de compostatge si l'aireació és forçada, ja que a porus més petits, la pèrdua de càrrega és major i es necessita més energia per impulsar el mateix cabal d'aire que si els porus són més grans.

En materials humits, com ara els fangs, l'estructurant pot absorbir la humitat d'aquest.

A mesura que passen els dies, en sistemes de compostatge estàtics, la porositat disminueix pel col·lapse de la pila, per això cal calcular l'aireació forçada adequada o voltejar periòdicament.

L'estructurant, sol tenir una relació C/N elevada, per tant, com es veurà més endavant, contribueix a equilibrar els nutrients.

2.2.2.2 Aireació

L'aireació és un paràmetre directament relacionat amb la porositat, ja que és a través dels porus per on es desplaça l'oxigen. El control d'aquest paràmetre és molt important per a cobrir la demanda d'oxigen necessari per a la fermentació. A més també és

necessari per evacuar la calor generada durant el procés, per tenir així una major regulació de la temperatura (Soliva, 2001). Per altra banda però, un excés d'aireació pot assecar el compost i minvar l'activitat microbiològica i fins i tot crear un risc d'incendi degut a l'assecamment del material, per tant cal tenir un control acurat de la humitat.

Amb l'aireació cal assegurar uns nivells mínims d'oxigen superiors al 10% (Saña J, 2005). a tota la pila per assegurar una màxima activitat descomposadora i per evitar la generació de compostos pudents.

D'altra banda, l'aireació ajuda també a mantenir l'estructura del material un cop aquest es va degradant i garanteix la presència d'oxigen.

Cal tenir en compte que l'aireació és un paràmetre crític de disseny. L'aireació necessària dependrà del tipus de material a compostar, la textura i la humitat, com també de si es volteja la pila o no i amb quina freqüència.

Els materials que són rics en matèria orgànica fàcilment degradable tenen una velocitat de consum d'oxigen superior als materials més difícils de degradar.

Com es veurà en els propers apartats, l'aireació es pot fer per volteig o forçada: succió o insulfació. El volteig és necessari també per a homogeneïtzar la pila i fer que la temperatura sigui uniforme a totes les zones de la pila. Després de cada volteig la temperatura disminueix però després torna a pujar.

L'efecte xemeneia (figura 2.5) és un mecanisme d'aireació natural que juga amb les diferents densitats de l'aire fred i calent. L'aire calent és menys dens i té tendència a ascendir, provocant un buit dins la pila que fa que succioni aire fred a través dels porus. D'aquesta manera a part d'airejar-se la pila, es refreda i s'assecar.

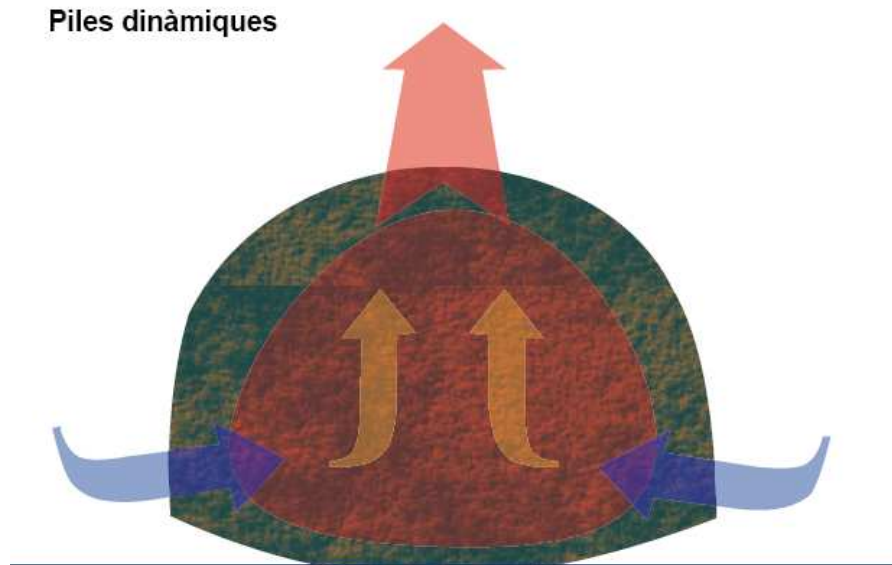


Figura 2.5: Il·lustració de l'efecte xemeneia

Font: Huerta et. al. 2005

2.2.2.3 Temperatura:

La temperatura és un dels altres factors claus en el procés de compostatge ja que és la que afavoreix o limita el rendiment dels microorganismes. En el compostatge es combinen fases mesòfiles (15 a 45°) i termòfiles (45 a 70°), en cadascuna d'aquestes fases actuaran uns microorganismes determinats en funció de la seva temperatura òptima d'activitat.

Taula 2.4: Microorganismes dominants en funció de la Temperatura

	Naturalesa de les fases	Temperatura	Grups de microorganismes dominants
Descomposició	Mesòfila	De 30 a 40°C	Bacteris i fongs
	Termòfila	Fins a 70°C	Bacteris, fongs i actinomicets
Maduració	Refredament	40°C a temperatura ambient	Bacteris i fongs
	Estabilització	Temperatura ambient	Activitat microbiana reduïda

Font: Huerta et. al. 2005

La màxima diversitat microbiana s'aconsegueix entre 35 i 40°C, la màxima biodegradabilitat entre 45 i 55 °C i la higienització superant els 55 °C, (Soliva, 2001).

Els microorganismes a l'oxidar la matèria orgànica alliberen energia en forma de calor i per tant s'incrementa la temperatura del material, per exemple, en condicions aeròbiques, un mol de glucosa desprèn en ser consumida entre 485 i 675 Kcal (Gotaas, 1956). Aquesta calor farà variar la temperatura de la pila (figura 2.6). Aquesta variació dependrà de la grandària de la pila, ja que la calor produïda serà proporcional al volum o massa de la pila, però la pèrdua ho serà en superfície. Per tant el residu actua com una massa autoaïllant, ja que a més volum, més calor generada i menor superfície d'evacuació. Aquest fet s'haurà de tenir en compte a l'hora de dissenyar les piles. També s'ha de tenir en consideració la morfologia de la pila, ja sigui en pila o altipla.

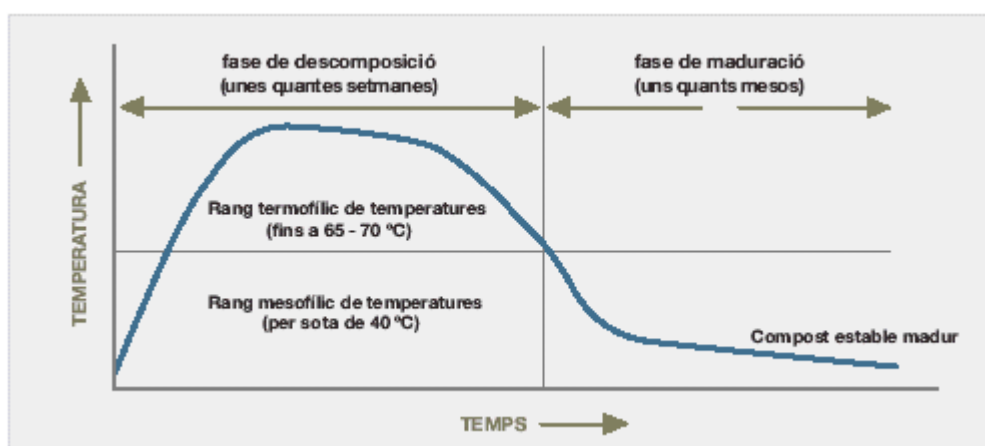


Figura 2.6: Variació de la temperatura al llarg del procés del compostatge.
Font: Campos E. Et. al, 2004

En funció del tipus de material que es composti, la velocitat amb què incrementa la temperatura és major o inferior. Generalment, al cap de dos dies d'haver-se format la pila, la temperatura ja pot haver arribat a 50°C.

Quan s'assoleixin temperatures al voltant de 70° començarà a disminuir l'activitat microbiològica i els microorganismes s'inactivaran o fins i tot moriran, i com a conseqüència la temperatura anirà disminuint. Un altre factor que contribueix a la disminució de l'activitat microbiològica és l'esgotament dels nutrients fàcilment disponibles (figura 2.7).

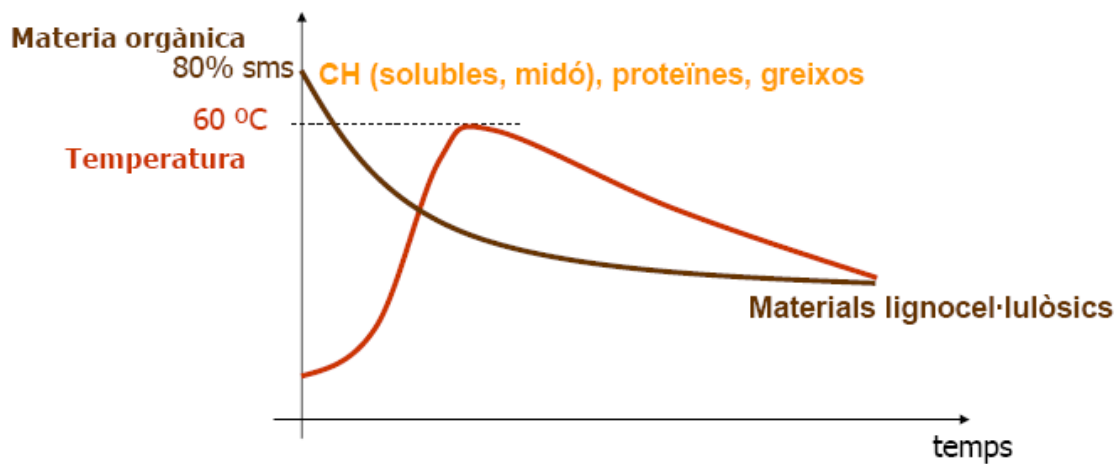


Figura 2.7: Evolució del paràmetre temperatura i disponibilitat de nutrients
 Font: Adaptació ESAB Haug, 1993

La higienització, segons Soliva (Soliva, 2001), té tres objectius principals, la prevenció del creixement i disseminació de patògens, destruir-ne els presents i obtenir un producte final no recolonitzable.

Per tal d'eliminar bona part dels patògens, ous i larves d'insectes, cal que es mantinguin les temperatures superiors als 55°C durant dues setmanes o superiors als 65°C durant una setmana, segons la *Guia dels tractaments de les dejeccions ramaderes*, de la Generalitat de Catalunya (Campos et.al., 2004) i el segon esborrany del treball de la Comissió Europea DG ENV E3 – 2001. Tot i així els organismes patògens també es poden eliminar per competència microbiana. En la taula 2.5 es recull la temperatura límit de supervivència de diversos patògens i paràsits (Poincelot, 1975).

Cal afavorir la dissipació de calor per tal d'evitar un sobreescalfament del procés ja que es podria crear el risc d'incendi de les piles. La dissipació del calor s'aconsegueix amb un control de l'aireació.

La interpretació dels canvis de temperatura són molt importants per a fer un bon diagnòstic del procés, (Soliva, 2001).

Taula 2.5: Temperatura límit de supervivència de diversos patògens i paràsits comuns

Taula 13
TEMPERATURA LÍMIT DE SUPERVIVÈNCIA DE DIVERSOS PATÒGENS
I PARÀSITS COMUNS (Golueke, 1972)

Organisme	Temperatura	Temps supervivència
<i>Salmonella typhosa</i>	< 46 °C 55 a 60 °C	No creix 30 minuts
<i>Salmonella spp.</i>	56 °C 60 °C	1 hora De 15 a 20 minuts
<i>Shigella spp.</i>	55 °C	1 hora
<i>Escherichia coli</i>	55 °C 60 °C	1 hora De 15 a 20 minuts
<i>Endamoeba histolytica</i>	68 °C	
<i>Taenia saginata</i>	71 °C	5 minuts
<i>Trichinella spiralis larvae</i>	50 °C 62 a 72 °C	Inefectivitat
<i>Necator americanus</i>	45 °C	50 minuts
<i>Brucella abortus et suis</i>	61 °C	3 minuts
<i>Micrococcus pyogenes var. aureus</i>	50 °C	10 minuts
<i>Streptococcus pyogenes</i>	54 °C	10 minuts
<i>Mycobacterium tuberculosis var. hominis</i>	66 °C	De 15 a 20 minuts
<i>Mycobacterium diphtheriae</i>	55 °C	45 minuts

Font: Soliva, 2001

2.2.2.4 Humitat

L'ambient en què els microorganismes desenvolupen la seva activitat és humit ja que aquests només poden utilitzar les matèries orgàniques si estan dissoltes en aigua (Soliva, 2001). Per tant cal que el compost es mantingui amb certa humitat, generalment del 40 - 60%, tot i que l'òptim seria entre 55-60 % Si hi ha més humitat, l'aigua desplaçaria l'oxigen dels porus i s'afavoririen condicions anaeròbies. A més es generarien més lixiviats.

Si manca humitat el procés de degradació s'alenteix i en casos extrems es corre el risc d'incendi de la pila.

Per tal de mantenir aquestes condicions s'ha de regar periòdicament la pila , ja que es perd aigua en el volteig i l'aireig, i per evaporació degut a la calor. En la pèrdua d'humitat hi juga un paper important l'efecte xemeneia, definit anteriorment.

La humitat al llarg del procés té tendència a disminuir, (Saña J et. al. 1987), fins a assolir aproximadament un 30 – 40 %.

2.2.2.5 pH

El pH es troba entre valors de 5-7 i oscil·la en funció de la fase en la que es troba. Un pH proper a 7 propicia que la població microbiana sigui lo més variada possible. Aquest paràmetre s'autoregula a causa de la formació de gas carbònic i amoníac (Soliva, 2001).

L'evolució d'aquest paràmetre al llarg del procés és a l'alça, tot i que al principi del procés baixa lleugerament per la formació d'àcids lliures (Saña J. et. al., 1987). Si la disminució del pH fos acusada indicaria la presència de fermentació anaeròbica.

Si el pH augmentés considerablement, es propiciaria la pèrdua de nitrogen amoniacal.

2.2.2.6 Relació C/N

Cal una bona relació C/N per tal de que es fixi el màxim nitrogen possible, un dels objectius del compostatge. Si no hi ha una bona relació part del nitrogen es volatilitzarà en forma d'amoníac o es perdrà en els lixiviats ocasionant possibles contaminacions, a més de la minva de qualitat del compost. La relació òptima és de 25 a 35. Segons Gotaas (Gotaas, 1956) un augment de C/N de 20 a 30 provoca un augment el 30% en la conservació del nitrogen i d'entre un 54 a un 70 % segons Hansen (Hansen et.al., 1993) si l'increment d'aquesta relació de 15 a 20.

Aquest és un dels motius pels quals s'afegeix esmena i/o material estructurant, ja que solen consistir amb materials amb la relació C/N elevada, per tant contenen molt de carboni i així compensen la manca d'aquest element en el material a compostar que sol tenir més presència de nitrogen.

Cal diferenciar però entre la relació C/N_{total} i la relació C/N_{real}. La primera relació contempla els carbohidrats biodegradables i els carbohidrats resistents (lignínics), en canvi la relació C/N_{real} conté tan sols els carbohidrats biodegradables. Per tant, a l'hora de fer un balanç de nutrients, cal utilitzar la C/N_{real} perquè és la que ens aporta la informació sobre el carboni útil per a fixar el nitrogen.

2.2.2.7 La població microbiana

La població microbiana es la peça clau perquè es dugui a terme el compostatge. En aquest hi prenen part una àmplia gamma de poblacions de bacteris, fongs i actinomicets lligats a diferents ambients definits per la humitat, la temperatura, tipus de residu, entre d'altres que complementen la seva activitat.

La presència d'aquestes poblacions no és simultània, sinó que quan una està al seu màxim rendiment una altra pot desaparèixer o tot just començar.

Aquestes poblacions es troben a l'atmosfera, a l'aigua, al sòl o als residus.

L'activitat dels microorganismes va lligada a la temperatura (taula 2.4 de l'apartat temperatura). Aquesta també regula la seva distribució en la pila, conjuntament amb l'aireig.

A temperatures superiors de 70°C l'activitat microbiana cessa. Al llarg de tot el procés, però, les espècies que en són capaces, creen formes resistents quan la temperatura fa inviablable la seva activitat normal. Un cop la temperatura torna a baixar reapareixen les seves formes actives.

En la fase de refredament, un cop el material compostat està més estabilitzat, actuen també els protozoos, nemàtodes, miriàpodes, etc...

Pel que fa a la seva distribució al llarg de la pila, els bacteris es poden trobar a tota la pila, mentre que en la capa més superficial 5-15 cm hi predominen els fongs i actinomicets, (Gotaas, 1956 i Golueke, 1976).

Els actinomicets utilitzen formes d'energia més complexes, com la cel·lulosa i l'hemicel·lulosa. Aquests fongs són importants en les etapes finals, quan la temperatura comença a baixar i donen un aspecte característic a les capes més superficials de les piles de compostatge, (Soliva, 2001)

Cada tipus de microorganisme té preferència per algun grup funcional de la matèria orgànica. (Saña, J. 1987)

És important destacar, tot i que ja s'ha fet a l'apartat de la temperatura, que el compostatge higienitza el residu. La eliminació dels microorganismes patògens, però, no només es deu a l'assoliment d'altres temperatures, sinó que també hi participen factors com la competència pels nutrients, els antagonismes microbians, els antibiòtics produïts per alguns microorganismes, (Taula 2.5). Per a una correcta higienització del material, cal voltejar-lo per assegurar que tot el material que conforma la pila ha assolit temperatures superiors a 50°C.

2.2.2.8 Variació dels paràmetres al llarg del procés

En el principi del procés es descomposen les molècules fàcilment degradables, a conseqüència de l'activitat biològica augmenta la temperatura de la pila (figura 2.6) i el pH disminueix per a la producció d'àcids orgànics (figura 2.9).

Posteriorment el pH s'alcalinitza degut a que les proteïnes es van descomposant en pèptids, aminoàcids fins arribar a amoníac. L'amoníac estarà amb equilibri amb el ió amoni i amb l'hidròxid amònic (figura 2.8). Si les condicions de temperatura, pH, humitat, barreja inicial són adequades, l'amoníac quedarà retingut formant part de la proteïna microbiana. (Soliva 2001). Per tant la tendència que ha de seguir el nitrogen amoniacal al llarg del procés de compostatge és a la baixa, ja que aquest es volatiliza, passa a nitrat o s'integra en molècules més estables. Si el nitrogen amoniacal augmenta significa que el procés s'ha dut a terme en condicions anaeròbiques o que la relació C/N es baixa i força a la massa microbial a desaminar per a obtenir energia i es perdria nitrogen en forma d'amoníac. Si el procés es du a terme en condicions aeròbiques, part del nitrogen amoniacal es transforma en nítric. Per tant la tendència del nitrogen al llarg del procés hauria de ser el manteniment del nitrogen que es manifestaria en un increment relatiu del contingut en nitrogen orgànic (Figura 2.14) i uns continguts més alts de nitrogen nítric alhora que continguts més baixos de nitrogen amoniacal (figura 2.12).

També els nitrogens no hidrolitzables o resistents formats durant el compostatge presenten grups reactius on es poden fixar formes de nitrogen orgànic i part del nitrogen amoniacal (Soliva, 2001).

Al llarg del procés, augmenta el pH (figura 2.9) i la conductivitat elèctrica (figura 2.10) ja que baixa la humitat (figura 2.11) i hi ha més matèria mineral i més presència de ions.

La matèria orgànica (fig 2.13) present al material és descomposada per l'activitat biològica i posteriorment estabilitzada, obtenint-se matèria orgànica estabilitzada. Per tant la tendència d'aquesta és a disminuir.

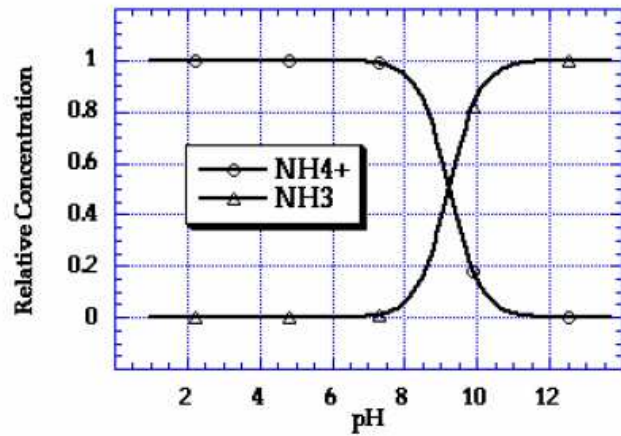


Figura 2.8: Evolució de la concentració de NH_4^+ i NH_3

Font: Soliva, 2001

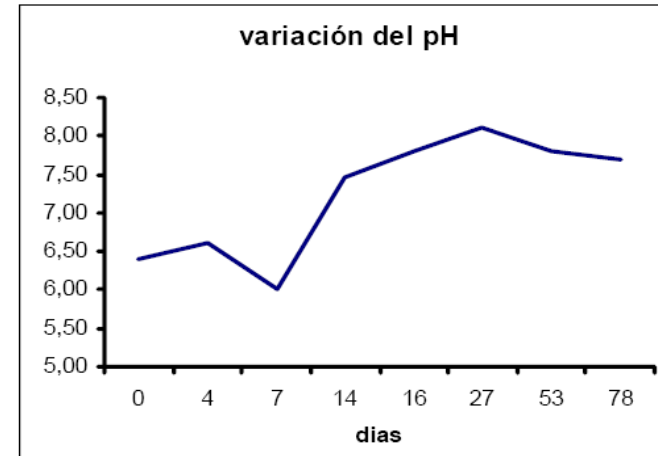


Figura 2.9: Variació del pH amb el temps

Font: Soliva, 2001

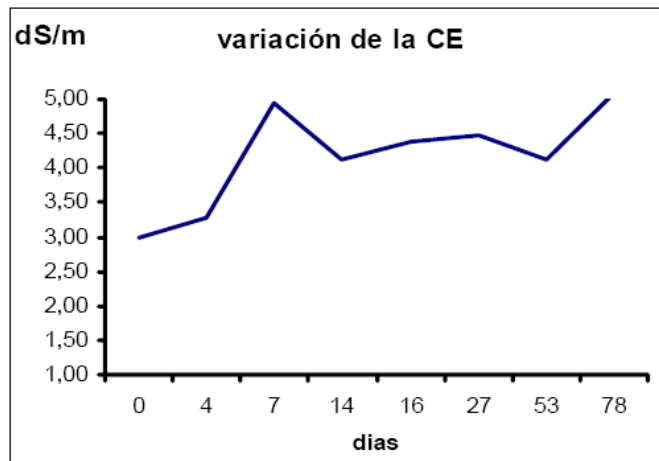


Figura 2.10: Variació de la Conductivitat elèctrica amb el temps

Font: Soliva, 2001

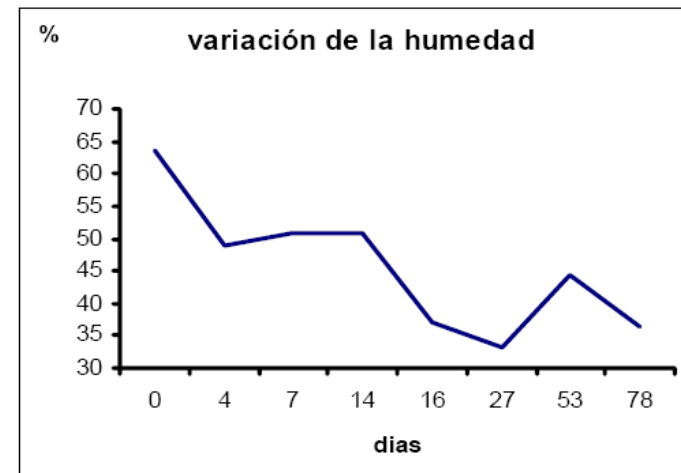


Figura 2.11: Variació del % d'humitat amb el temps

Font: Soliva, 2001

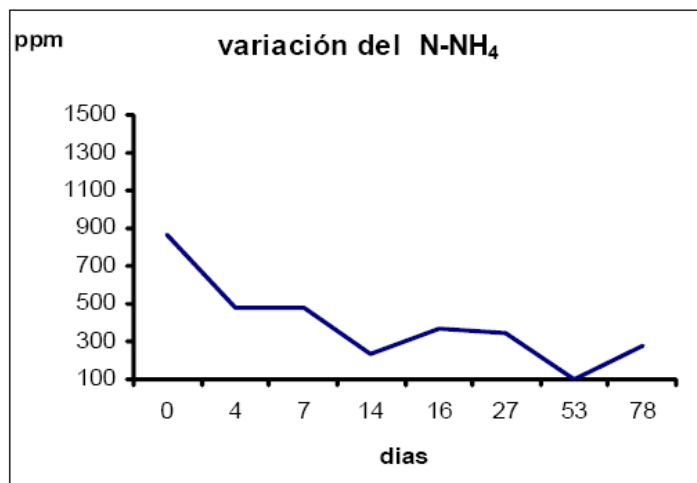


Figura 2.12: Variació del N-NH₄ amb el temps

Font: Soliva, 2001

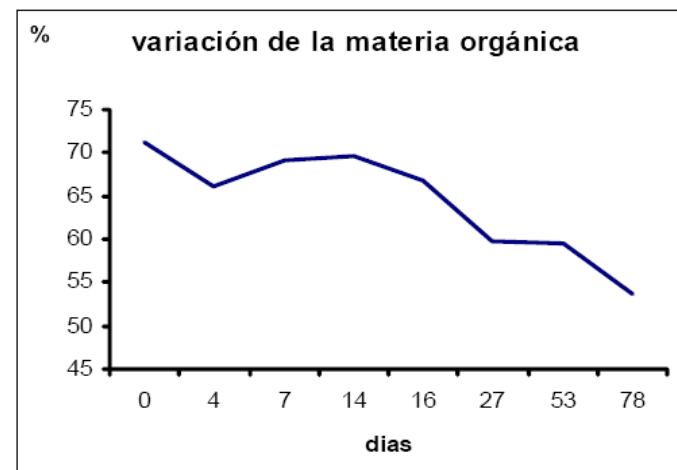


Figura 2.13: Variació del % Matèria orgànica amb el temps

Font: Soliva, 2001

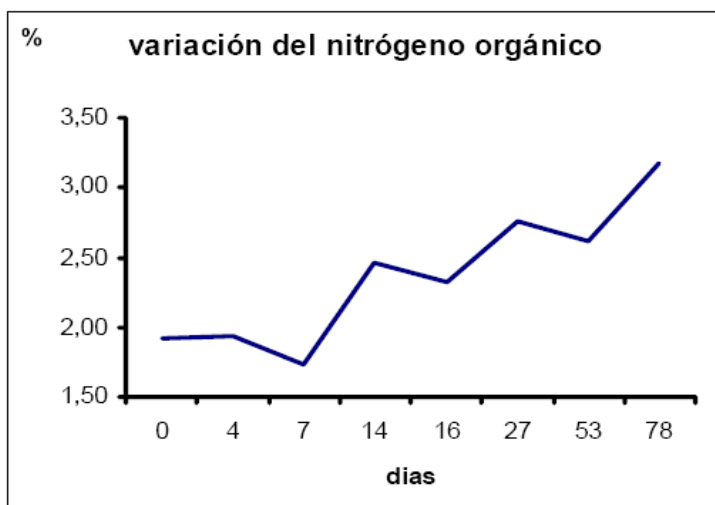


Figura 2.14: Variació del nitrogen orgànic amb el temps

Font: Soliva, 2001

2.2.3 Qualitat del procés i producte

És molt important controlar la qualitat del procés i del producte per saber si els objectius marcats a l'inici del procés es compleixen.

Segons l'article 14 del Real Decret 824/2005 de 8 de Juliol sobre productes fertilitzants, el fabricant d'un producte fertilitzant cal que realitzi un seguiment analític tant dels ingredients utilitzats en la fabricació tal com del producte final per assegurar que es mantenen les riqueses garantides i especifica pels fabricants de productes amb components orgànics, que aquests han de vetllar pel manteniment de la composició, la riquesa i altres característiques garantides mitjançant l'anàlisi de control amb periodicitat almenys trimestral. Per a complir amb aquestes obligacions cal que els fabricants disposin per mitjans propis o externs d'una persona qualificada, responsable del control de qualitat de la planta elaboradora del producte, un laboratori pels controls analítics corresponents i un pla de control de qualitat que prevegi procediments, periodicitat, freqüència de presa de mostres i anàlisis, tant dels ingredients com del producte final.

2.2.3.1 Control del material d'entrada

La qualitat del procés i del producte final depèn principalment del material d'entrada.

Segons Haug, 1993 a l'hora de dissenyar una planta de compostatge, al tractar-se d'un procés microbiològic, existeixen poques àrees sobre de les quals es pugui exercir un control. Una d'aquestes àrees és el control de la composició del material a compostar. Aquest material s'ha d'ajustar per tal de satisfer el balanç d'energia i evitar limitacions i pèrdues de nutrients deguts a la manca o excés d'humitat, porositat o un balanç desequilibrat de nutrients.

Per això si s'escau és convenient dur a terme un pre-tractament del material per tal de millorar-ne les condicions de compost realitzant barreges dels materials i/ o un acondicionament mecànic per a separar impropis o adequar la mida de les partícules a compostar.

Per tant és de gran importància conèixer les propietats físiques químiques i biològiques d'aquest material d'entrada.

Taula 2.6: Indicadors de qualitat del material inicial, procés de compostatge i del producte obtingut

Qualitat	Propietats	Analítiques
Qualitat física	Granulometria,	
	Capacitat de retenció d'aigua,	
	Humitat,	
	Presència de partícules estranyes	
	Olor.	
Qualitat química	Contingut i estabilitat de la matèria orgànica	Matèria orgànica total (MOT) Estabilitat de la matèria orgànica
	Contingut i velocitat de mineralització dels nutrients	Nitrogen total Formes de nitrogen Estabilitat del nitrogen Micro i macro nutrients
	Presència de contaminants inorgànics i orgànics	Impropis i metalls pesants
Qualitat biològica	Presència de llavors de males herbes	Higienització
	Patògens primaris i secundaris.	Higienització

Font : Huerta et. al., 2005

Taula 2.7 : Alguns dels requisits del material d'entrada per tal d'optimitzar el procés de compostatge.

REQUISITS	
Granulometria	1.3-7.6 cm
Humitat	40-60 %
Porositat	30-50 %
Relació C/N	25:1-35:1

Font: Elaboració pròpia

Les quantitats de materials a barrejar cal que siguin conegudes per tal de poder procedir a un correcte dimensionament de la planta i evitar possibles problemes futurs de sobresaturació.

Per tal d'acondiconar el material d'entrada, aquest es pot barrejar amb agent estructurant (*bulking* en anglès), amb esmenes (*amendment* en anglès) o amb compost reciclat entre d'altres. Segons Soliva (Soliva, 2001), cal diferenciar entre agent estructurant i esmena. El primer dona estructura al material a compostar, és a dir es tracta normalment d'un material rígid que evita la compactació del material i en permet l'aireació, però depenen de la seva mida o composició generalment no pot participar en les reaccions biològiques que intervenen al procés, ja que sol estar format per materials

resistents a la degradació. L'esmena és un material que aporta algun nutrient necessari per al bon desenvolupament del procés i en certa mesura també pot donar estructura, però és menys rígid. Ambdós tipus de materials, si són porosos, poden absorbir part de la humitat del material a compostar.

2.2.3.2 Seguiment del procés

La qualitat del procés depèn també del sistema de gestió de la planta de compostatge. Cal seguir la evolució de la pila a partir dels paràmetres de control com ara la temperatura, la humitat, etc...i actuar en el cas que sigui necessari ja sigui adequant la freqüència de volteig o regular l'aireació, en funció del tipus de compostatge del qual es tracti, regar, afegir esmenes o controlar les olors.

La freqüència de mostreig i analítica pot variar en funció del tipus de planta i de sistema.

2.2.3.3 Qualitat del producte final

El producte final obtingut, el compost, pot ser utilitzat per a diferents usos en funció dels paràmetres de qualitat que presenti. El compost pot ser utilitzat com a abonament, esmena de sòls, o es pot barrejar amb altres productes per a obtenir fertilitzants. També es pot utilitzar per a rebliment de sòls i fins i tot en certs casos, l'objectiu del compost és reduir en pes i volum el residu i estabilitzar-lo per tal de que ocupi menys lloc en els dipòsits controlats.

És molt important dur a terme controls de qualitat al finalitzar el procés per tal de garantir que el producte obtingut compleix la legislació vigent en matèria de fertilitzants, subproductes animals i residus en funció de l'ús que se li vulgui donar.

2.2.4 Sistemes tecnològics de compostatge

El procés tecnològic del compostatge es divideix en les següents etapes(Haug, 1993):

1. Pretractament: Condicionament del material a compostar
2. Descomposició
3. Maduració
4. Post tractament: refinament del compost obtingut

Per tal de dur a terme el procés de descomposició i maduració existeixen diverses tecnologies de compostatge, que poden ser no intensives o intensives. En funció del tipus de tecnologia seleccionada, les etapes de pre i post tractament variaran.

Les tecnologies de compostatge es poden dividir en sistemes intensius i sistemes no intensius. Els sistemes no intensius solen requerir més temps i més espai però la inversió econòmica és menor.

En aquest apartat s'anomenaran algunes de les tecnologies de compostatge més importants tot i que no s'hi entrarà en detall, ja que aquest no és l'objecte d'aquest treball.

2.2.4.1 Piles simples voltejades

Els materials es disposen formant piles, de forma i mida determinades. Les mides òptimes solen ser de 1.2 - 2 m d'alçada i de 2-4 m d'amplada..

Les piles es ventilen per convecció natural (efecte xemeneia), l'aire calent puja des del centre de la pila i crea un buit dins els porus que aspira aire pels laterals.

Cal voltejar la pila amb una màquina voltejadora per tal de regenerar l'aire de l'interior i augmentar la porositat. La freqüència del volteig depèn de diferents paràmetres: principalment temperatura i oxígen. El procés de compostatge anirà més ràpid si es voltegen les piles freqüentment però fins a un límit, perquè existeix el risc de refredar la pila i alentir el procés.

El procés de compostatge amb aquest sistema sol durar entre tres i quatre mesos, sense comptar la maduració

2.2.4.2 Piles estàtiques airejades

Aquest sistema és una variació de l'anterior, també es tracta d'un sistema no intensiu. Consisteix en posar una pila estàtica sobre un paviment perforat connectat a un sistema que aspira o insufla aire a través de la pila.

Aquí no es volteja la pila perquè l'aireació és forçada. Si s'excedeix la temperatura òptima, uns sensors que controlen la temperatura ordenen al ventilador que injecti més aire per refredar la pila o aspiri.

L'aspirador o insuflador pot funcionar en continu o mitjançant un temporitzador o un control feedback de temperatura.

Aquest sistema és més ràpid que l'anterior ja que hi ha excés d'oxigen i els microorganismes poden treballar sense restriccions. A més també és més econòmic perquè no necessita tanta intervenció mecànica, això sí, la inversió inicial és més costosa.

El procés airejat sol durar aproximadament sis setmanes ventilant i dues setmanes madurant. Les piles amb canal natural de ventilació la fase termòfila sol durar vuit setmanes i 4 setmanes la fase de maduració.

2.2.4.3 Tambor de rotació lenta

Es tracta d'un sistema intensiu, és a dir un sistema mecanitzat i d'alt cost. Però amb el que s'accelera el procés de compostatge i s'obté un rendiment més alt.

El procés de compostatge té lloc en un tambor de rotació lenta. Aquest sistema pot treballar en continu o per càrregues i són de diferents mides i formes. L'alimentació del residu es fa de forma totalment automàtica.

L'interès de la rotació intermitent del tambor és que homogeneïtzi el material i el desfibrili.

Aquest tambor està connectat a un sistema de ventilació que extreu les emissions d'olor i les dirigeix a un biofiltre per tal de reduir-les o eliminar-les.

2.2.4.4 Túnel

També es tracta d'un sistema intensiu. El procés té lloc en un túnel tancat amb una ventilació controlada. Aquí el residu està estàtic. En aquest túnel hi ha sensors que detecten la concentració d'oxígen, la humitat i la temperatura i regulen la ventilació necessària en cada moment.

S'extreu del túnel per a una posterior maduració .

2.2.4.5 Contenedor

Es tracta d'una tecnologia molt similar a l'anterior però el compostatge es fa en contenidors de ferro. Aquests poden treballar en continu, entrant material per la part superior i extraient material per la inferior.

2.2.4.6 Nau automatitzada

El compostatge es realitza en una nau tancada on es realitza ventilació forçada per la part inferior i mitjançant voltejadores automàtiques es volteja la pila. Aquestes es mouen mitjançant grues.

3 EXPOSICIÓ DE LA PROBLEMÀTICA I JUSTIFICACIÓ DE LES PROVES PILOT

3.1 EXPOSICIÓ PROBLEMÀTICA

3.1.1 Activitat ramadera desenvolupada

Tal com s'ha comentat, la redacció d'aquest treball es planteja per a donar solució a la problemàtica en la gestió de les dejeccions ramaderes presentada per l'empresa Terra-Avant S.A. dedicada a la integració avícola.

L'empresa Terra-Avant S.A. centra la seva activitat en l'explotació de gallines reproductores i en la incubació dels ous. La cria dels pollastres d'engreix es realitza en granges integrades. L'activitat de l'empresa finalitza amb la venda del pollastre d'engreix a l'escorxador. Cadascuna de les etapes: polletes de recia, gallines reproductores i pollastres d'engreix es realitza en granges diferents.

L'esmentada empresa tan sols ha de gestionar la gallinassa procedent de les granges de polletes de recia i de gallines reproductores, ja que cada granja integrada és responsable de la gestió de les seves dejeccions ramaderes.

3.1.2 Les dejeccions ramaderes originades

La dejecció ramadera que es genera s'anomena gallinassa. Segons el sistema productiu que s'utilitzi i del tipus d'aviram que es produeixi, la gallinassa pot variar la seva composició, textura i consistència.

Taula 3.1: Caracterització de la gallinassa segons el sistema productiu

SISTEMA PRODUCTIU	CARACTERITZACIÓ DE LA GALLINASSA
Amb gàbies	Excrement semi-líquid de l'aviram
Sense gàbies	L'excrement de l'aviram barrejat amb materials del llit de la granja (palla, flocs, etc...)

Font: Elaboració pròpia

En el cas que ens ocupa, les aus no estan engabiades sinó que estan lliures en naus sobre llits de flocs. Per tant, la gallinassa recollida serà l'excrement de l'au barrejat amb el material que forma el llit, per tant es tracta d'un subproducte sec i estructurat. La

gallinassa es recull un cop s'ha finalitzat l'etapa productiva, quan es porten les aus a l'escorxador.

El material utilitzat com a llit de les aus es tracta de floc de fusta de aproximadament 1 cm de llargada.

Tal com s'ha comentat, cadascuna de les granges integrades ha de gestionar les dejeccions ramaderes generades pels pollastres d'engreix, per tant Terra-Avant S.A. tan sols ha de gestionar les dejeccions ramaderes produïdes per les polletes de recria (0 a 24 setmanes) i les gallines reproductores, (24 setmanes fins aproximadament un any) . Cal esmentar que es destaca la diferència entre etapes de les aus, ja que en funció de la fase productiva la gallinassa tindrà més o menys contingut en nitrogen i se'n generarà més o menys quantitat.

Taula 3.2: Caracterització gallinassa en funció del tipus d'aviram i fase productiva

	Nitrogen KgN/plaç.a.any	Purí M³/plaç.a.any	Fem T/plaç.a.any	Densitat T/m³
Avicultura de posta	0.5	0.037	0.04	0.9
Polletes de recria	0.08	-	0.0073	-
Engreix de pollastres	0.22	-	0.02	0.5

Font: Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca.

Segons un altre autor (Ramírez, 1983) cada au genera unes dejeccions diàries aproximadament corresponents al 5% del seu pes corporal.

Les característiques de la gallinassa variaran en funció de diversos paràmetres com ara l'alimentació, l'estat fisiològic dels animals, el tipus d'abeuradors. Fins i tot l'aviram aprofita la mateixa alimentació de diferent manera segons l'edat i per tant en les diferents èpoques de l'any el fem variarà la seva composició. El millor és fer anàlisis periòdiques de la gallinassa generada per conèixer-ne la composició.

S'ha trobat diversos autors amb diferent composició de la gallinassa que es recullen en les taules següents:

Taula 3.3: Composició nutritiva de la gallinassa

Mat. Sólida %	Mat. Mineral %	N g/l	P g/l	K g/l	Dbo g/l	Dqo g/l
15	6	13	11	6	30	60

Font: Pla de Gestió de Residus Agropequaris de la Comunitat Valenciana

Taula 3.4: Composició nutritiva de les dejeccions ramaderes

	N total Kg/m³	%	N orgànic Kg/m³	%	N amoni Kg/m³	%	P₂O₅ Kg/m³	K₂O Kg/m³
Gallinassa	12.9	100	2.2	12	10.7	82	15.6	10.2
Llit aus engreix	30.7	100	20.8	68	9.9	32	28.6	19.8
Fem porcí	4.7	100	4.2	90	0.5	10	4.5	5.5
Purí porcí	4.3	100	1.3	30	3.0	70	3.2	2.8

Font : Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca,

Taula 3.5 Composició nutritiva de les dejeccions ramaderes en matèria fresca

Orígen de la dejecció	M.S. (%)	N kg/t	P₂O₅ kg/t	K₂O kg/t	MgO kg/t	S kg/t
Vacú	32	7	6	8	4	-
Ovella	35	14	5	12	3	0.9
Porc	25	5	3	5	1.3	1.4
Gallinassa	28	15	16	9	4.5	-
Purí	8	2	0.5	3	0.4	-

Font: Alcántara, 1993

Observant les taules 3.4 i 3.5, es veu que la dejecció d'aviram té un alt contingut amb nitrogen, fòsfor i potassi, molt més alt que la dejecció porcina i vacuna. Es veu que la gallinassa (considerada com a purí) té un 82% del nitrogen total en forma de nitrogen amoniacal, en canvi el llit d'au d'engreix (fem) tan sols en té un 32% en forma amoniacal i el restant en forma orgànica. Tot i així el llit d'aus d'engreix presenta més nitrogen total que la gallinassa.

El fet de que el purí (gallinassa) tingui més nitrogen amoniacal que el fem es repeteix en la dejecció porcina, per tant es creu que això és degut a que el fem és el purí barrejat

amb un altre material més ric en carboni (C) com ara la fusta o palla, per tant la relació C:N està més equilibrada i els microorganismes han començat a degradar la matèria orgànica a la granja o femer i incorporant el nitrogen.

Com es pot veure aquestes taules fan referència a gallinassa líquida, tal com es pot veure a la taula 3.5 ja que es considera que té un 28 % de matèria seca. A continuació es presenten els resultats trobats a la bibliografia que fan referència a gallinassa barrejada amb llit, que es tractaria d'una dejecció ramadera similar a la que es produeix a l'empresa esmentada, tot i que es desconeix quin tipus de llit es va utilitzar en el material analitzat i si és tracta del mateix tipus del que s'utilitza en el cas que ens ocupa.

Taula 3.6: Característiques d'una gallinassa barrejada amb llit

Matèria seca %	79.5
Pes específic g/cm³	0.5
pH (H₂O)	5.0-8.0
matèria orgànica %	80.0
N orgànic %	3.00
C/N	15.5
P total %	1.82
C/P	25.5

Font: Ramírez, 1983

Com es pot veure en la taula 3.6 aquest material és molt més sec, ja que el llit absorbeix la humitat. La densitat coincideix amb la determinada a la taula 3.2. per a pollastres d'engreix. Més endavant es compararan aquestes dades trobades a la bibliografia amb les dades obtingudes en l'anàlisi del material que es vol compostar.

A la taula 3.7 es mostra la composició i solubilitat dels nutrients procedents de gallinasses i destaca l'elevat percentatge de N, P, K que es capaç de passar a dissolució aquosa (Navarro et.al, 1995). Segons els mateixos autors, si aquest material es composta es millora la relació C/N, així com la disponibilitat de nutrients com el P o el K. Echaendia i Menoyo al 1990 van desenvolupar un reactor rectangular on es compostava la gallinassa amb escorça de pi. Els mateixos autors indiquen que aquesta dejecció ramadera també té un elevat potencial de generació d'energia si es fermenta en condicions anaeròbies.

Taula 3.7: Composició i solubilitat dels nutrients en la gallinassa

		Contingut (%)	Solubilitat (% del total)
Extracte en aigua	N	3.00	30-34
	K	1.27	31-50
Extracte amb KCl 1 N	Ca	1.55	5-17
	Mg	0.57	5-12
Extracte amb NaHCO 0.5N+EDTA 0.01 N	P	1.82	20-30
		Contingut (ppm)	
	Fe	2830	0.006
	Mn	196	11-23
	Cu	32	12-50
	Zn	135	11-12

Font: Navarro, et.al. 1995

3.1.3 Gestió de les dejeccions ramaderes

Gràcies a les seves capacitats fertilitzants, tradicionalment la gallinassa s'ha reutilitzat com a adob, habitualment a la mateixa explotació en l'aplicació d'aquestes com a fertilitzant i esmena al sòl agrícola.

Degut a la manca de terres de cultiu on aplicar la gallinassa com a adob i la sobresaturació dels gestors de residus autoritzats més propers, l'empresa Terra-Avant S.A., es planteja l'opció de tractar biològicament aquest residu en el marc de l'empresa, mitjançant compost. L'objectiu principal és estabilitzar el residu i reduir-ne el volum, fet que en facilitarà el maneig i transport i en segon lloc obtenir-ne un compost de qualitat que es pugui comercialitzar.

3.2 Plantejament experimental

3.2.1 Estudis prèvis

Prèviament al desenvolupament d'aquest treball es realitzà un treball sobre la gestió i tractament de la gallinassa. L'objecte d'aquest treball fou l'estudi de la gestió de la gallinassa i de les diferents tecnologies de tractament i valorització d'aquesta dejecció. Un cop estudiades les diferents opcions de tractament es va procedir a seleccionar la solució tecnològica més adient per tractar la gallinassa generada per l'empresa avícola.

Per tal de decidir quina de les solucions tecnològiques estudiades podia ser la més adequada pel residu en qüestió, es va seguir una metodologia de presa de decisions extreta de la *Guia dels tractaments de les dejeccions ramaderes* de la Generalitat de Catalunya (Campos E., et.al, 2004). Mitjançant aquesta, es va arribar a la conclusió que el tractament més adequat pel residu esmentat era el compostatge i es va fer un disseny d'una possible planta.

Aquest treball per tant, es tracta d'un estudi previ per al projecte que ara es planteja

A partir de les informacions extretes de l'esmentat estudi previ es va procedir a programar el disseny d'un tractament de la gallinassa de l'empresa generada.

Es va decidir dur a terme un prova pilot de compostatge per tal de comprovar la viabilitat del compostatge de la dejecció ramadera i si requeria afegir algun agent estructurant o una adequació de nutrients i quina és la quantitat òptima que garanteixi l'assoliment dels objectius de qualitat plantejats i el maneig eficient de la planta

3.2.2 Importància cabdal de l'agent estructurant

Tal com s'ha comentat en l'apartat d'introducció el compostatge depèn de diversos factors que regulen i influeixen directament amb la qualitat del procés i del producte final.

Un d'ells és la bona relació C/N que eviti les pèrdues de N en el cas de que es composti materials com la gallinassa, que contenen un elevat contingut en nitrogen fàcilment degradable (Hansen, 1993).

A l'afegir un agent estructurant o una esmena a aquest material es pot corregir la relació C/N d'aquest optimitzant-la per al procés de compostatge.

Hansen va estudiar la influència de diferents tipus de barreges de gallinassa amb agent estructurant, amb diferents relacions C/N, grandàries de partícula, tipus de barrejadora, freqüència de volteig i control de la temperatura, i va trobar que el factor que afavoreix la màxima reducció de massa i les mínimes pèrdues de nitrogen és el fet d'iniciar el procés amb una C/N i barreja adequats. (Hansen, 1993)

Els resultats trobats per aquest autor, recomanen augmentar la relació C/N fins a 30 tal com diu la literatura del compost.

Però segons Hansen, afegir carboni biodegradable com a agent estructurant introdueix costos afegits, no només en termes del cost del material extra, si no també costos de maneig i disminució de la capacitat de tractament de la planta. A la taula 3.8 es mostra un exemple del seu estudi on es veu que per a obtenir una relació C/N de 20 cal el doble d'esmena que per a obtenir una relació C/N de 15.

Taula 3.8 Comparativa dels materials necessaris per tal d'obtenir una relació C/N=15 i C/N=20

Materials	C/N = 15		C/N=20	
	lbs	kg	lbs	kg
Gallinassa de gàbia	2000	907,18	2000	907,18
Panotxa de blat de moro	646	293,02	1228	557,01
Aigua	726	329,31	1382	626,86
Total	3372	1529,51	4610	2091,06

1lbs=0.453 592 37 kg

Font: Hansen, et.al. 1993

Per tant és de gran importància conèixer la quantitat d'agent estructurant òptima a afegir per tal d'aconseguir una relació C/N que garanteixi els objectius de qualitat que s'han establert per al producte final i això és el que es pretén amb la prova experimental.

3.2.3 Plantejament de la prova pilot núm. 1

Per tal de dur a terme aquesta prova es van realitzar una sèrie de plantejaments que s'exposen a continuació i s'expliquen els motius de la seva selecció o refús.

Opció núm 1: Tres piles de gallinassa amb diferent tipus d'estructurant per veure quin dona millors resultats.

Opció núm. 2: Compostar directament el material tal com surt de la granja i dur a terme altres piles afegint més proporció de floc.

La opció de dur a terme més d'una pila simultàniament es va descartar ja que no es disposava d'espai suficient. Es va optar per l'opció 2, ja que el material que surt de la

granja està compostat de floc i dejecció ramadera, per tant es va creure més convenient utilitzar només floc com a additiu i si al llarg del procés de compostatge es detectava manca de porositat plantejar-se en properes proves la incorporació d'algun agent estructurant més rígid.

En un principi es va plantejar dur a terme el seguiment d'aquesta prova directament amb els recursos de la explotació. Tot i així es va veure que mancaven recursos per a poder desenvolupar la prova correctament i amb fiabilitat. Per tant es va decidir que seria convenient trobar alguna planta de compostatge que donés col·laboració en el projecte. Com s'explicarà més endavant, l'empresa FERVOSA, una empresa de compostatge amb seu a Manlleu i autoritzada com a gestor de residus per a valorització V83 compostatge, va col·laborar en el projecte.

A partir d'aquí es va decidir dissenyar una prova pilot a escala industrial, però no es va trobar l'espai adequat per a poder dur a terme aquest tipus de prova, i per tant, es va decidir fer-la a escala més petita, per no enrederir més l'inici de la prova pilot, ja que es tracta d'un experiment de llarga durada.

La prova pilot del compostatge del material tal com surt de la granja, es va dur a terme des del mes de maig del 2006 fins a finals de juliol del 2006. Tal com s'explica amb més detall més endavant, es realitza un seguiment de la prova per veure'n la seva evolució en la fase de descomposició i quan triga a arribar al seu grau de maduresa.

3.2.4 Plantejament de la prova pilot núm. 2

Un cop realitzada la prova pilot núm 1 i vistos els resultats obtinguts i els punts a millorar, es va considerar oportuna la realització d'una nova prova pilot. Aquest cop evitant tots els possibles errors i problemàtiques que s'havien detectat en la prova anterior.

Ja que la relació C/N inicial del material que es va compostar a la primera pila era baixa es va creure oportú abans de realitzar la prova veure amb quina proporció de floc afegit s'assolia una relació C/N òptima, per tal d'iniciar la nova prova amb aquesta barreja de material i veure si l'evolució del compostatge era millor que la prova anterior o no variava significativament. Per això es van analitzar diferents barreges de gallinassa amb floc.

Per motius temporals es va decidir no engegar la prova pilot núm.2.

3.2.5 Resultats esperats

Els resultats esperats de les proves experimentals són:

- Caracterització del material que surt de la granja
- Determinar la viabilitat del procés del compostatge del material tal com surt de la granja i amb l'addició de més floc
 - Trobar quina és la relació C/N òptima i conseqüentment la quantitat de floc a afegir per tal de garantir l'assoliment dels objectius de qualitat del producte final establerts, amb la mínima despesa associada.
 - Realització d'un balanç de matèria i energia dels processos
- Caracterització del material de sortida del procés del compostatge en cada cas i establir si es pot utilitzar directament com a fertilitzant o és apte per a barrejar amb altres productes.

Amb aquests resultats s'hauria de procedir al disseny d'una planta de compostatge per al tractament de la totalitat de les dejeccions ramaderes generades per l'empresa Terra-Avant S.A.

3.2.6 Col·laboració amb FERVOSA

Paral·lelament a la realització d'aquest projecte. L'empresa Terra-Avant S.A. es va posar en contacte amb diferents gestors de residus autoritzats per a gestionar la dejecció ramadera que es genera. Es va aprofitar aquesta ronda de contactes per tal de trobar alguna d'aquestes empreses que estigues disposada a donar suport al projecte.

Al març del 2006, es va aconseguir el suport de l'empresa FERVOSA, de Manlleu, la qual es va comprometre a donar suport tècnic a la prova. Aquest suport ha sigut essencial per al desenvolupament d'aquest projecte.

El recolzament d'aquesta empresa en el projecte ha consistit en l'assessorament en la creació de la pila, la realització d'analítiques de seguiment periòdiques del material en el seu laboratori i l'enviament de mostres als laboratoris d'Applus per a la realització d'altres analítiques i la cessió dels instruments analítics necessaris per a poder seguir paràmetres in-situ i la discussió de l'evolució de la pila i dels resultats obtinguts.

4 MATERIALS I MÈTODES

4.1 PROVA PILOT NÚM 1

La primera prova pilot consisteix en el compostatge d'una pila de gallinassa tal com surt directament de la granja per veure si es viable el seu compostatge sense afegir estructurant, cosa que permetria un estalvi en els costos d'operació i gestió de la futura planta.

4.1.1 Sistema tecnològic emprat

El sistema tecnològic emprat es tracta del sistema de piles simples voltejades.

Com s'ha comentat es tracta d'un sistema no intensiu on el material es disposa formant piles. Les mides òptimes solen ser de 1.2 - 2 m d'alçada i de 2-4 m d'amplada. La forma tendeix a ser de trapezi tot i que en zones en què plou molt sol ser semicircular per afavorir el drenatge. Tot i així la forma i la mida òptima de la pila depenen de la granulometria, el contingut d'humitat, la porositat i el nivell de descomposició.

Les piles es ventilen per convecció natural, l'aire calent puja des del centre de la pila i crea un buit dins els porus que aspira aire pels cantons. Es dissenya la pila perquè l'aire pugui circular al llarg de la pila i es mantinguin les temperatures adequades.

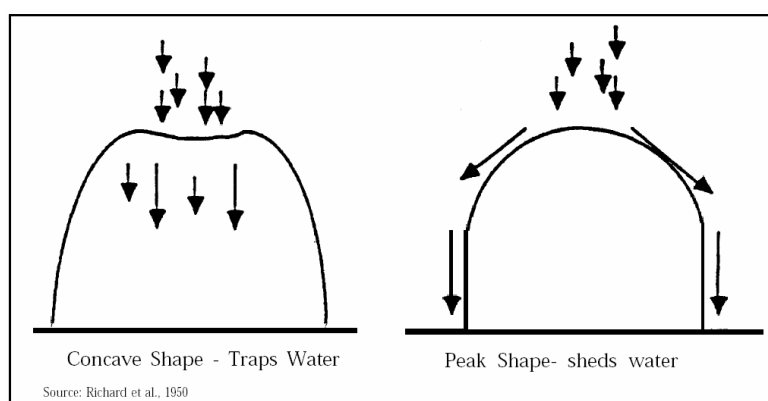


Figura 4.1: Forma de la pila per afavorir la infiltració.

Font: Beyea, J, et.al 1994

Cal voltejar la pila amb una màquina voltejadora per tal de regenerar l'aire de l'interior i augmentar la porositat. La freqüència del volteig depèn de diferents paràmetres, es sol

fer un cop cada 6-10 dies. D'aquesta manera també s'homogenitza la pila i es controla la temperatura i la humitat. Després de cada volteig la temperatura descendeix entre 5-10°C i torna a pujar si encara no s'ha acabat el procés. El procés de compostatge anirà més ràpid si es voltegen les piles freqüentment.



Figura 4.2: Volteig d'una pila amb una màquina voltejadora.
Font: empresa SEKOSPA

Aquest sistema amb poques complicacions dóna bons resultats si es controla les condicions aeròbiques i el contingut d'humitat.

El procés de compostatge amb aquest sistema sol durar entre tres i quatre mesos, sense comptar la maduració

Més endavant s'explicarà les dimensions de les piles utilitzades

4.1.1.1 Ubicació

La pila es va situar al municipi d'Anglès en un terreny propietat de l'empresa Terra-Avant S.A, situat entre dues granges de gallines reproductores propietat de l'empresa.

4.1.2 Orígen del material

La dejecció ramadera prové d'una granja situada al terme municipal d'Anglès. Aquesta granja, que anomenarem GRANJA A, ha allotjat gallines reproductores durant 9 mesos. La nau té una superfície de 500 m² amb capacitat per 2420 caps.

El material a compostar es tracta de dejecció ramadera barrejada amb el llit de flocs que hi ha a la granja.

4.1.3 Paràmetres d'operació

4.1.3.1 Sistemes de presa de mostres

L'obtenció de mostres integrades i representatives d'una pila, en qualsevol estadi dins el procés de compostatge, de manera que sigui útil per a una caracterització completa, seguirà el següent procediment:

- S'establiran 20 punts de mostreig aleatori. En funció de la variabilitat obtinguda es considerarà la reducció o l'increment dels punts de mostratge.
- En cada punt, en projecció perpendicular a la pila es prendrà una mostra del material. Es procurar sempre d'agafar el mateix volum en tots els punts.
- Les diferents mostres de cada punt s'ajuntaran en una bossa neta negra opaca i s'homogenitzaran per tal de tenir una mostra integrada i representativa. En total es tindrà aproximadament 1 kg de mostra.
- La mostra presa s'identificarà amb una etiqueta:
 - Data de Presa del mostreig dd-mm-aa
 - on:
 - dd dia del mostreig
 - mm mes del mostreig
 - aa dues últimes xifres de l'any
 - Nom de la mostra: Mostra n on n es el número de mostra
 - Granja i municipi de procedència
 - Nom del mostrejador
- Es conservarà en el frigorífic
- S'envia tan aviat com es possible al laboratori d'anàlisi de FERVOSA

En la prova pilot número 1 es van prendre un total de 8 mostres.

4.1.3.2 Caracterització del material d'entrada

La mescla oportuna de components i quantitats permet l'obtenció d'un fertilitzant orgànic de qualitat. Per tal de garantir una bona mescla cal caracteritzar el producte d'entrada.

Per tal de caracteritzar el residu d'entrada es realitzen les següents operacions:

- Pes i volum del material
- Observació visual
 - Humitat
 - Granulometria
 - Esponjositat
 - Coloració
- Analítica:
 - pH amb dilució (1/2.5). Potenciometria. PH micropH 2001 CRISON
 - Conductivitat elèctrica (CE) amb dilució (1/5). Potenciometria. Conductímetre 524 Crison
 - Humitat %
 - Sòlids totals %
 - Matèria orgànica (en SV). Per incineració a 550 °C . Segons APHA, AWWA & WPCF (1989).
 - Densitat aparent sense compactació (Dai). Volumetria + pesada. Segons normes ISO 787/11
 - Densitat aparent amb compactació (Da). Volumetria + pesada. Segons normes ISO 787/11
 - Densitat real (Dr). Volumetria + pesada
 - Compactació (C). Volumetria + pesada. Segons normes ISO 787/11
 - Espai porós sense compactació (Ep). Volumetria + pesada. Segons normes ISO 787/11.
 - Espai porós amb compactació (Epc). Volumetria + pesada. Segons normes ISO 787/11.
 - Anàlisi granulomètric. USDA. Amb tamizador FILTRA per criat amb mostra seca
 - Grau de maduresa

Aquestes analítiques es van dur a terme als laboratoris de l'empresa FERVOSA.

Per a una millor caracterització del material a compostar, s'analitzen a més altres paràmetres. Aquests paràmetres es van analitzar a Applus. Aquests són els següents:

- Relació C/N
- N Kjeldhal m. Seca (N)
- N amoniacal m. Fres (N)
- Fosfor (P)
- Potassi (K)

4.1.3.3 Mescles

La barreja de diferents materials ajuda a millorar les condicions per fer un compostatge òptim.

En el cas que ens ocupa s'ha volgut provar la viabilitat del compostatge del material tal com surt de la granja per a tal d'estalviar costos.

4.1.3.4 Seguiment del procés

4.1.3.4.1 Seguiment tèrmic

Durant la fase termòfila la temperatura s'ha de situar per sobre els 40°C i per sobre de 35° C en l'estadi mesòfil.

Cada dia es mesura la temperatura de la pila, si pot ser en dues ocasions per controlar la tendència que aquesta segueix, que és reflex de l'activitat dels microorganismes. La temperatura es mesura amb un Termòmetre 63 K de la casa CRISON amb sondes de temperatura tipus K, a 50 cm de fondària des de la superfície de la paret lateral de la pila. En la fotografia 4 de l'ANNEX II: *Seguiment fotogràfic* es pot veure aquesta sonda de temperatura.

Es duen a terme quatre punts de mostreig de temperatura, un a cada lateral de la pila per tenir així una millor representativitat de la temperatura de la pila. El valor que s'utilitza és una mitjana d'aquests quatre valors.

La primera mesura es fa en el costat nord de la pila i les altres segueixen el sentit contrari de les agulles del rellotge.

Amb cada medicció es registra la temperatura ambient. El recull de mesures realitzades es pot trobar a l'ANNEX IV: *Seguiment de la temperatura*.

4.1.3.4.2 Seguiment hídric

La humitat òptima es troba entre 40-60%.

A part de l'anàlisi de la humitat que es realitza cada 15 dies a FERVOSA, es fa un seguiment visual de l'estat de la pila. Quan es creu que està seca es rega amb un dipòsit de 400 l d'aigua.

4.1.3.4.3 Control de qualitat del material

Per tal de fer un seguiment del procés, cada 15 dies els laboratoris de FERVOSA es du a terme les analítiques següents. Puntualment es fa algun anàlisi de granulometria.

- Analítica de diferents paràmetres:
 - pH
 - CE (dS/m)
 - Humitat %
 - Sòlids totals %
 - MO % smf
 - MO % sms
 - Densitat aparent g/cm³
 - Densitat real g/cm³
 - Compactació %
 - Espai porós %
 - Grau de maduresa

Les analítiques es troben en l'Annex V: *Resultats de les analítiques*

4.1.3.5 Voltejos:

Es preveu voltejar la pila cada 15 dies. S'agafa com a indicador el descens de la temperatura.

La pila es volteja amb una pala de tractor de l'empresa Terra-Avant SA.

Amb els voltejos es sol aprofitar per a regar, en funció de la sequedat de la pila. S'utilitza un dipòsit de 400 l.

Al cap d'una hora d'haver voltejat s'ha de prendre la temperatura ja que aquesta davalla després del volteig. Hores després la temperatura torna a pujar després de cada volteig generalment per sobre dels 40°C. Quan després d'un volteig la temperatura no puja més de 35°C es considera que ha entrat a fase mesòfila

4.1.3.6 Caracterització del producte de sortida

Per tal de caracteritzar el producte de sortida i comparar-lo amb la normativa vigent es realitzaran les mateixes operacions que pel producte d'entrada:

- Pes i volum del material
- Observació visual
 - Humitat
 - Granulometria
 - Esponjositat
 - Coloració
- Anàlisi de diferents paràmetres
 - pH
 - CE (dS/m
 - Humitat %
 - Sòlids totals %
 - MO % smf
 - MO % sms
 - Densitat aparent g/cm³
 - Densitat real g/cm³
 - Compactació %
 - Espai porós %
 - Grau de maduresa

Aquestes anàlises es van dur a terme als laboratoris de l'empresa FERVOSA.

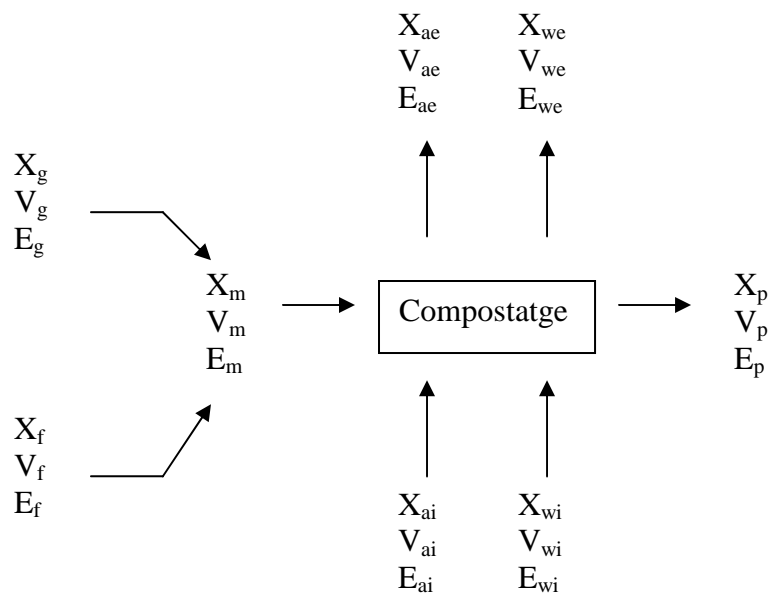
Per a una millor caracterització del material compostat, s'analitzen a més altres paràmetres. Aquests paràmetres es van analitzar a Applus. Aquests són els següents:

- Relació C/N
- N Kjeldhal m. Seca (N)
- N amoniacal m. Fresc (N)
- Fosfor (P)
- Potassi (K)

Amb les dades obtingudes amb la caracterització final es podrà comparar amb els requisits marcats per la legislació aplicable i veure si el producte obtingut es pot considerar com a fertilitzant o quines són les mancances que presenta.

4.1.3.7 Balanç de matèria i energia

Amb les dades obtingudes es realitzarà un balanç de matèria i energia per tal de conèixer quina és la quantitat obtinguda i quan de material s'ha afegit.



On

X: kg de material

V: m³ de material

E: cal/g ratio energia

^g: gallinassa

^f: floc

^m: mescla

^{ai}: aire entrada

^{wi}: aigua entrada

^{ae}: aire sortida

^{we}: aigua sortida

^p: producte final compost

4.2 DISSENY DE LA PROVA PILOT NÚM. 2

Vistes les conclusions extretes de la prova pilot núm. 1 es va decidir plantejar una nova prova pilot de compostatge d'una pila de gallinassa incrementant la proporció de floc al material que surt directament de la granja per veure quines millores hi ha en el procés de compostatge respecte al realitzat amb el material tal com surt de la granja.

Degut a la manca de temps, es va descartar la opció de dur a terme aquesta prova, però es va decidir procedir al seu plantejament per a un possible futur desenvolupament.

4.2.1 Orígen del material

La dejecció ramadera prové d'una granja situada al terme municipal d'Anglès. Aquesta granja, que anomenarem GRANJA B, ha allotjat gallines reproductores durant 9 mesos. La nau té una superfície de 544 m² amb capacitat per 2700 caps.

El material a compostar es tracta de dejecció ramadera barrejada amb el llit de flocs que hi ha a la granja. Aquest material però s'enriqueix amb floc per tal de millorar la relació C/N del material a compostar i fer-lo més porós.

4.2.2 Paràmetres d'operació

4.2.2.1 Caracterització del material d'entrada i mescles

A l'hora de fer una mescla és molt important conèixer quina és la proporció d'ambdòs materials que es barregen per tal de reproduir aquesta mescla posteriorment. Per tant en el cas que ens ocupa és important conèixer la proporció exacte de floc que ja conté el material tan bon punt es treu de la granja.

4.2.2.1.1 *Determinació proporció floc gallinassa*

Per tal de poder conèixer la composició de les barreges, és de gran importància conèixer quina és la proporció floc gallinassa (F/G d'ara endavant) del material tal com surt de la granja. Es van plantejar diverses opcions per a calcular-la:

1. Pesar el floc que es posa a la granja i pesar la gallinassa més floc (d'ara endavant gallinassa-floc) que s'extreu de la granja. S'obtindria una proporció floc gallinassa en pes

2. Estimar a través de la porositat del floc i de la gallinassa-floc la proporció floc gallinassa en volum

La opció 1 es va desestimar per motius de temps, el floc es va introduint a la granja al llarg de tot el període en què l'aviram està establert, per tant s'hauria de fer un seguiment durant tot aquest temps que acostuma a ser de 9 mesos.

Per tant es va optar per l'opció 2. S'ha utilitzat un mètode simplificat i aproximat utilitzat per a determinar quina és la proporció estructurant/fang idònia per al compostatge de fangs. Aquesta metodologia es va explicar en una ponència del Sr. Josep Saña al curs de compostatge organitzat per el Col·legi d'Enginyers Tècnics de Catalunya al Novembre del 2005 a Girona. Aquest mètode consisteix en el següent:

$$%Pe \cdot Ve = Vpe$$

$$Vpe - Vf = Vpef$$

$$Vpef/Ve = \%Pef$$

$$E/F = Ve/Vf$$

On : %Pe = Porositat estructurant
 Ve = Volum estructurant
 Vpe = Volum de porus a l'estructurant
 Vf = Volum del fang
 Vpef = Volum de porus en la mescla estructurant fang
 %Pef = Porositat estructurant fang.

Per tal d'utilitzar aquesta metodologia es necessita conèixer la porositat de l'estructurant, en aquest cas el floc i la porositat de la mescla final (floc i gallinassa). La determinació de la porositat d'ambdós materials fou realitzada als laboratoris de FERVOSA.

4.2.2.1.2 Cerca de la relació C/N òptima

Per tal de determinar quina proporció de floc gallinassa és la que dona una relació C/N òptima per tal d'iniciar el compostatge es van fer una sèrie de mescles amb diferents proporcions de floc i es van enviar a Applus, a on es van analitzar els següents paràmetres claus en el procés de compostatge:

1. Relació C/N
2. Matèria seca
3. Matèria orgànica
4. N Kjeldhal

A la taula 4.1 es mostren les mostres amb la diferent proporció de volum de floc afegit a un volum de floc gallinassa (material que surt directament de la granja)

Taula 4.1: Proporció de volum de floc afegit a les mostres

Mostra	Proporció de volum de floc afegit a un volum de floc gallinassa
A	1:1
B	0.5:1
C	0:1 (material directe de granja)

Font: Elaboració pròpia

Un cop es conegui la proporció F/G del material directe de granja, es podrà expressar aquestes mescles segons proporció F/G total.

Els resultats es troben a l'ANNEX VI.

4.3 MÈTODES ANALÍTICS

Els materials i mètodes emprats per tal de dur a terme les analítiques dels paràmetres esmentats anteriorment es detallen en l'ANNEX III: *Mètodes analítics*

5 RESULTATS

5.1 DESENVOLUPAMENT DE LA PROVA PILOT NÚM 1

5.1.1 Caracterització del material d'entrada i construcció de la pila

5.1.1.1 Caracterització del material d'entrada

Es descriurà el material segons observació visual i dels paràmetres analitzats en el laboratori.

El material a compostar es tracta de dejecció ramadera barrejada amb el llit de flocs que hi ha a la granja

5.1.1.1.1 Observació visual

Observant el material visualment es pot determinar que es tracta d'un material sec ja que el floc absorbeix la humitat de la dejecció ramadera. En les figures 5.1 i 5.2 es pot visualitzar la gallinassa barrejada amb floc, es a dir el material que surt de la granja i el floc sol.

Pel que fa a granulometria sol ser de 1 a 5 mm, trobant-se de tant en tant grumolls més grans, el material es disgrega fàcilment. Presenta un color marró fosc, que quan més humit està més fosc és. És un material esponjós que es pot compactar. Deixa residu a la mà.

Els flocs que s'utilitzen com a llit solen tenir una mida d'1 cm. Aquest material absorbeix la humitat de la dejecció de les gallines i serveix en certa mesura de material estructurant, tot i que es trenca fàcilment i quan es mulla es compacta.

5.1.1.1.2 Caracterització del material a FERVOSA i Applus

La caracterització del material és la que es recull a la taula 5.1 i 5.2. Com que part de les analítiques es varen dur a terme a FERVOSA i l'altra part a APPLUS, s'ha considerat oportú separar els resultats en dues taules.



Figura 5.1: Gallinassa barrejada amb floc

Font: Elaboració pròpia



Figura 5.2: Floc sol.

Font: Elaboració pròpia

Taula 5.1: Caracterització del material d'entrada, analítiques FERVOSA

Data de mostreig	04/05/2006	
Data anàlisi	11/05/2006	
Producte	Gallinassa amb floc	
Referència	Mostra-1	
Laboratori	FERVOSA	
Paràmetre analitzat	Valor	Recomanat
pH	7,73	5-7
CE (dS/m)	7,43	
Humitat %	48,49	40-60%
Sòlids Totals %	51,51	
MO % smf	34,92	
MO % sms	67,79	

Font: Elaboració pròpia

Taula 5.2: Caracterització del material d'entrada, analítiques APPLUS

Data de mostreig	04/05/2006	
Data anàlisi	15/05/2006	
Producte	Gallinassa amb floc	
Referència	Mostra-1	
Laboratori	Applus	
Paràmetre analitzat	Valor	Recomanat
pH	8,2	5-7
CE (dS/m)	13,22	
Matèria seca % smf	53,4	
Matèria orgànica	65,6	
Relació C/N	17,7	25-35
N kjeldahl m. seca	1,85	
(N) % sms		
N amoniacal m. fresca (N) % sms	1,74	
P % sms	1,81	
K % sms	2,23	

Font: Elaboració pròpia

Cal destacar que alguns dels paràmetres es van analitzar als dos laboratoris, aquests paràmetres estan assenyalats amb blau. Els paràmetres assenyalats amb verd signifiquen paràmetres que permeten arribar a la mateixa informació.

Taula 5.3 : Comparativa dels resultats obtinguts amb les característiques trobades a la bibliografia

	<i>Ramirez 1983</i>	<i>FERVOSA</i>	<i>Applus</i>	<i>Estimacions pròpies</i>
Matèria seca %	79.5	51.51 ¹	53.4	–
Pes específic g/cm3	0.5	–	–	0.543
pH (H₂O)	5.0-8.0	7.73	8.2	–
matèria orgànica %	80.0	67.79	65.6	–
N orgànic %	3.00	–	1.85 ²	–
C/N	15.5	–	17.7	–
P total %	1.82	–	1.81	–
C/P	25.5	–	–	–

¹Calculat a partir de la humitat o sòlids totals

²Es tracta de nitrogen Kjeldhal (N orgànic + ió amoni)

Font: Elaboració pròpia

Observant les analítiques el residu inicial destaca per una baixa relació C/N en comparació amb els valors recomanats per a l'inici d'un bon procés de compostatge. Segons Ramírez, la gallinassa amb llit té una relació C/N de 15.5. Altres fonts bibliogràfiques, com ara (Campos, E. et.al, 2004) li donen una relació C/N de 13. El valor obtingut de 17.7:1 és proper al trobat en la bibliografia.

Es troba diferència entre ambdós valors de la CE determinats pels diferents laboratoris. Tot i així ambdós valors són més elevats que els valors que s'han observat a bibliografia que es troba a l'entorn de 3 dS/m. Tot i així s'ha trobat alguna referència de una CE de 17 dS/m.

Pel que fa a la humitat aquesta es troba al voltant del 48% per tant es considera un valor apropiat per a l'inici del compostatge. El material determinat per Ramírez, (Ramírez, 1983) és més sec.

Pel que fa la matèria orgànica, els valors de la bibliografia són més alts que en la mostra real analitzada. Tot i així es tracta d'un valor adequat per a l'inici del compostatge.

El valor del nitrogen orgànic segons la bibliografia és del 3%, mentre que a la mostra problema es va analitzar el Nitrogen Kjeldahl aquest és inferior, 1.85 %. Cal tenir en compte que a dins la mesura de Nitrogen Kjeldahl s'inclou el nitrogen amoniacal, el nitrogen orgànic, els nitrats i els nitrits. Els nitrats i nitrits solen ser valors molt baixos. Per tant la mostra conté menys nitrogen orgànic que a la bibliografia, per tant es tractaria d'un material menys estabilitzat.

Els valors de P són molt similars.

Per tant es considera que el material és apropiat per a l'inici del compostatge sense afegir cap altra material, tot i que la relació C/N és considerada baixa.

5.1.1.2 Mescles oportunes

S'ha volgut provar la viabilitat del compostatge del material tal com surt de la granja per a estalviar costos.

Tot i així s'ha detectat en el material inicial una relació C/N baixa que es podria compensar afegint més floc. Aquesta addició de floc no es va dur a terme en aquesta prova, ja que es volia comprovar la viabilitat de compostar el material tal com surt de la granja i a més es va detectar aquesta relació C/N baixa posteriorment a l'inici del procés de compostatge de la prova pilot.

5.1.1.3 Construcció de la pila

Al buidar la granja el dia 4 de maig del 2006 es va decidir iniciar la prova pilot. Es va carregar un camió i es va pesar la gallinassa que contenia i es va construir una pila de forma triangular de 8,525 m³.

Taula 5.4: Pes i volum del material a compostar

Volum del camió	Pes brut	Tara camió	Pes net	Densitat
8,600 m ³	8100 kg	3430 kg	4670 kg	0,543 g/m ³

Font: Elaboració pròpia

El valor experimental que s'ha obtingut coincideix amb el que estableix el Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca per a pollastres d'engreix (taula 3.2) . El valor que la taula del DARP estableix per a la gallinassa es considera que es refereix a la dejecció ramadera sense barrejar amb llit, ja que la densitat és molt propera a la de l'aigua i per tant es tractaria d'un líquid que no és el cas que ens ocupa. Per això, s'opta per agafar el valor que marca la taula per a pollastres que generalment estan establats amb granges amb llit.

Amb aquest material s'ha construït una pila de dimensions 5,5*3,10*1 m. Per tal de calcular un volum s'ha aproximat la pila a una forma triangular, d'aquesta manera trobem un valor de 8,525 m³.

En les fotografies de la 1 a la 3 de l'ANNEX II: es pot veure l'aspecte de la pila el dia 9 de maig del 2006, 5 dies després d'haver estat construïda.

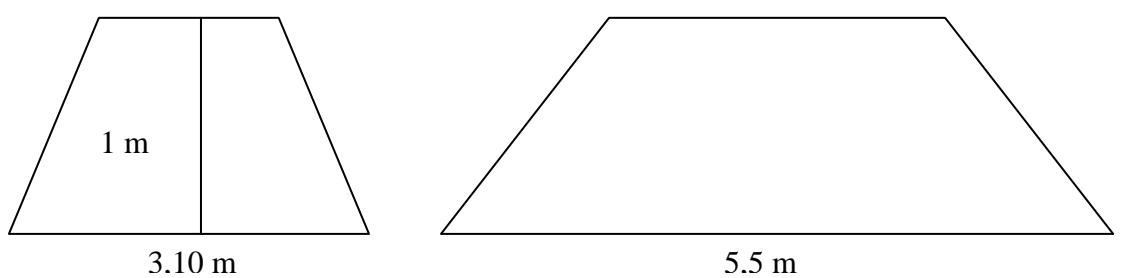


Figura 5.3: Esquema de la pila construïda
Font: Elaboració pròpia

5.1.2 SEGUIMENT DEL PROCÉS

5.1.2.1 Seguiment tèrmic i hídric



↑ Volteig

↑ Volteig més reg (400 l d'aigua)

Figura 5.4: Seguiment tèrmic i hídric
Font: Elaboració pròpia

En el gràfic es veu clarament com en els 6 primers dies la temperatura va fer un increment de 30 °C. A continuació es va mantenir estable a l'entorn de 55°C. Quan es va observar que la temperatura començava a disminuir es va fer el primer volteig el dia 10 de la pila. Immediatament després de realitzar el volteig la temperatura va descendir fins a 40 °C però unes hores després es tornà a enfilar fins a 60°C. Aquest fet s'explica degut a que la pila es refreda però la renovació de l'aire dins d'aquesta fa augmentar l'activitat microbiològica que allibera energia. Seguint aquests pics es pot veure clarament quan s'han dut a terme els voltejos de la pila, tot i així per a fer-ho més visual s'han remarcat aquests punts amb fletxes.

En total s'han fet sis voltejos, amb dos dels quals s'ha aprofitat per a regar la pila amb 400 l d'aigua. El volteig núm. 5 es va fer el dia 67 de la pila, però no s'observa gràficament perquè no es va prendre la temperatura a la pila una hora més tard del volteig. Aquest volteig es va fer per a retirar la crosta que es va formar després de pluja.

Les decisions de regar la pila es van fer mitjançant observació visual del material. Es va detectar una pèrdua d'humitat i per això es va decidir regar, ja que durant el període de temps que es va dur a terme l'experiment no hi va haver gaires dies de pluja. Quan plou però generalment l'aigua tan sols s'infiltra aproximadament 5 cm (Fotografia núm 13 de *l'ANNEX II*) Després d'haver plogut s'observa la formació d'una crosta a la part superficial de la pila d'aproximadament 1 cm de gruix, fet que dificulta el pas de l'aire a l'interior de la pila, com es comentarà més endavant.

Segons el treball de la Comissió Europea DG ENV E3-2001, 2n esborrany, per tal de garantir la higienització del material, quan es composta en piles, cal que estigui a 55°C durant dues setmanes i cinc voltejos o a 65° a una setmana i dos voltejos. Aquest aspecte s'ha complert ja que gairebé s'ha estat sempre per sobre de 60°C i s'ha voltejat 6 vegades.

No s'observa cap fluctuació de la temperatura de la pila relacionada amb la temperatura ambient.

Coneixement de les fases termòfila i mesòfila

En els voltejos realitzats la temperatura de la pila ha tornat a pujar per sobre dels 40 °C cada vegada, tot i així, en l'últim volteig, la temperatura va trigar més a augmentar i quan es va finalitzar la pila, al cap dels tres dies del volteig, la temperatura no havia assolit encara els valors de 65 °C.

5.1.2.2 Observació visual del material al llarg del procés

Observant l'evolució del material al llarg del procés, s'ha observat que aquest s'ha anat tornant més esponjós i homogeni. Tot i així a l'inici el material té tendència a formar grumolls es considera necessari homogenitzar el material mecànicament que es durà a terme en futures proves.

És de destacar també, que al cap d'un mes d'haver iniciat la pila, va aparèixer a la part interior de la capa més superficial, un fong blanc, indicador de bona qualitat del procés (Fotografia 8 de *l'ANNEX II*). Els actinomicets són importants en les etapes finals, quan la temperatura comença a baixar i donen un aspecte característic a les capes més superficials de les piles de compostatge, (Soliva, 2001)

Després de dies plujosos s'ha vist la formació d'una crosta a la capa més superficial. En els dies de pluja més abundant la humitat penetrava fins a 5 cm de profunditat i la resta del material estava sec (Fotografia 13 de l'*ANNEX II*). La crosta formada es creu que podria repercutir en l'aïració de la pila, dificultant-ne l'entrada d'oxigen, ja que es perd la porositat del material.

5.1.2.3 Control de qualitat del material

A continuació es mostra l'evolució dels paràmetres analitzats amb una periodicitat de quinze dies als laboratoris de FERVOSA:

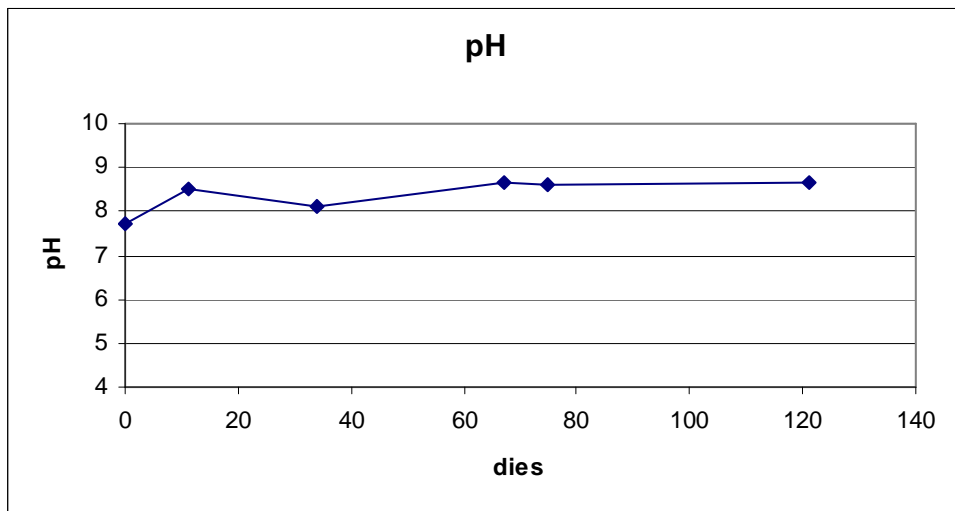


Figura 5.5: Evolució del pH

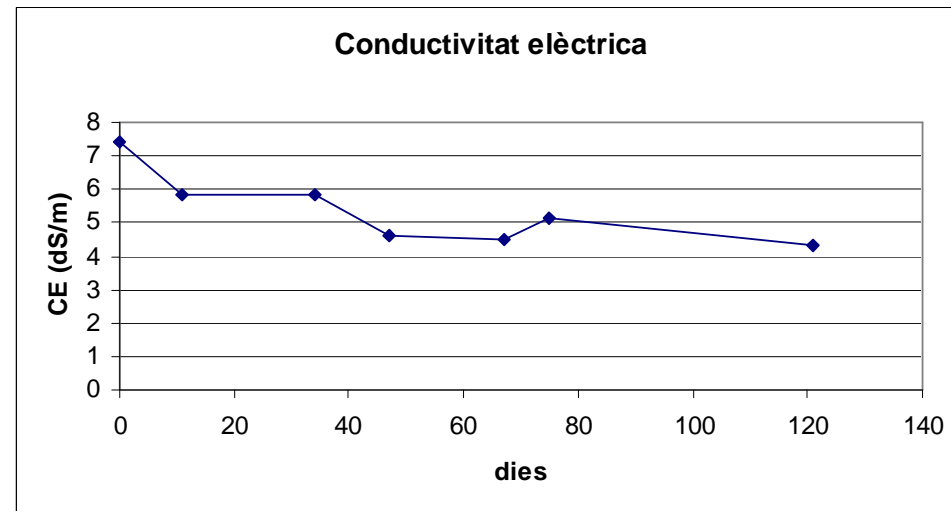


Figura 5.6: Evolució de la Conductivitat Elèctrica

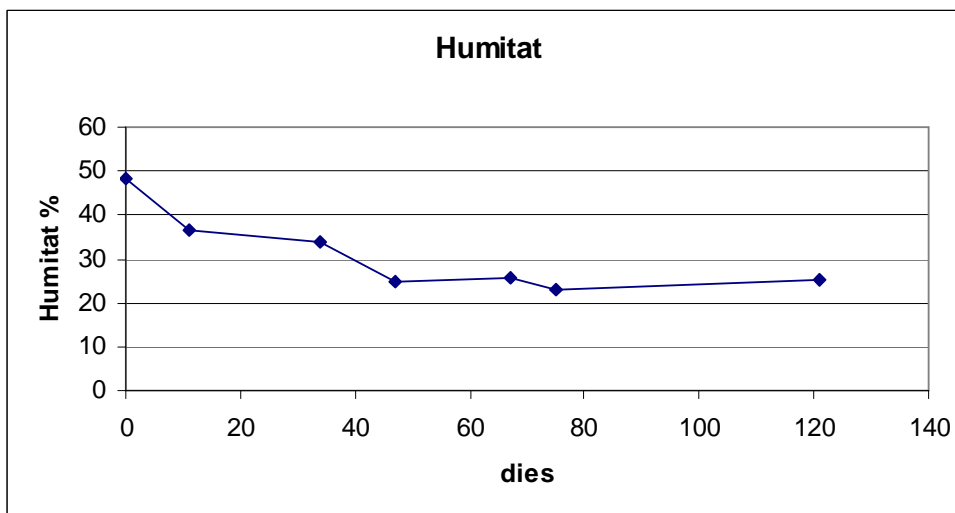


Figura 5.7: Evolució de la humitat



Figura 5.8: Evolució dels Sòlids Totals

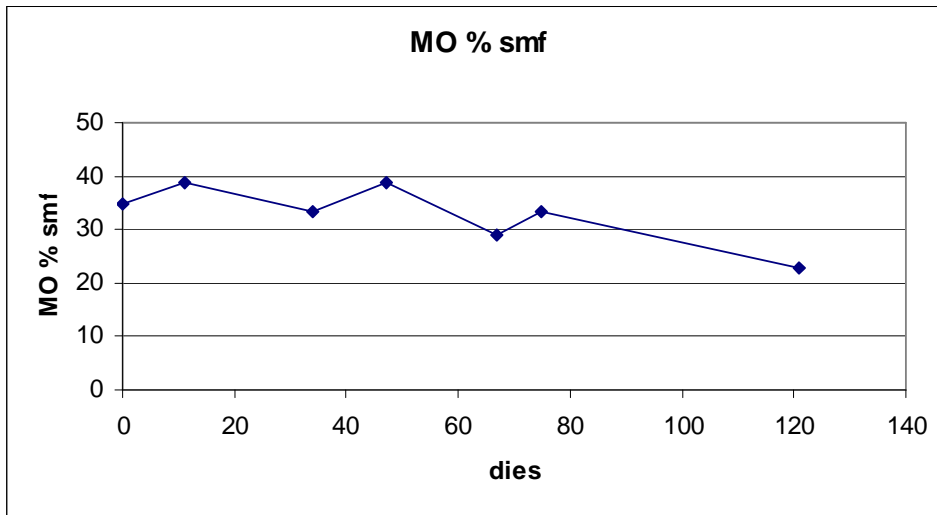


Figura 5.9: Evolució de la MO % smf

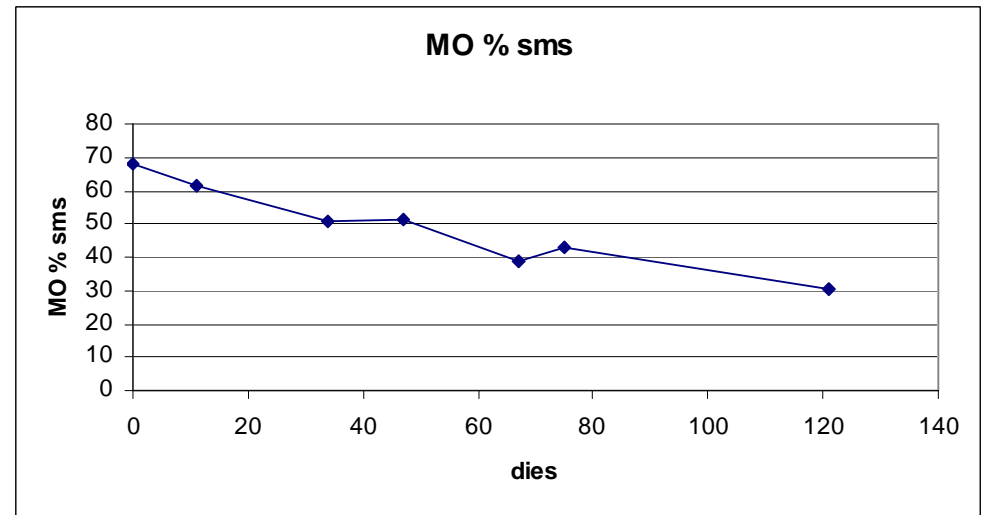


Figura 5.10: Evolució de la MO % sms

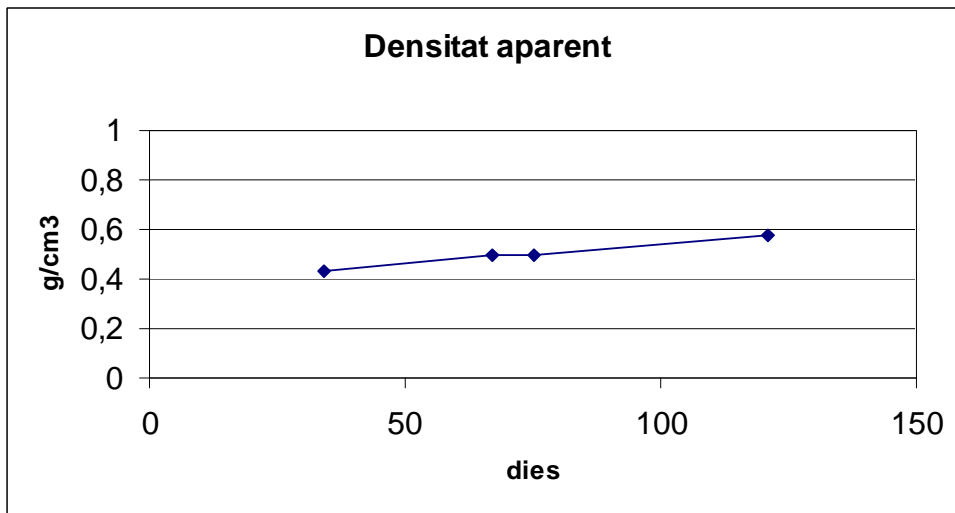


Figura 5.11: Evolució de la Densitat aparent

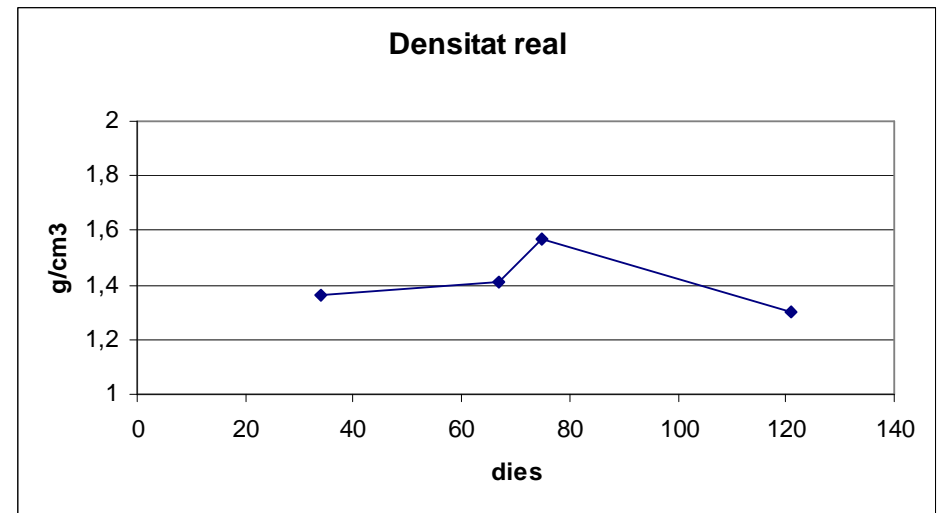


Figura 5.12: Evolució de la Densitat real

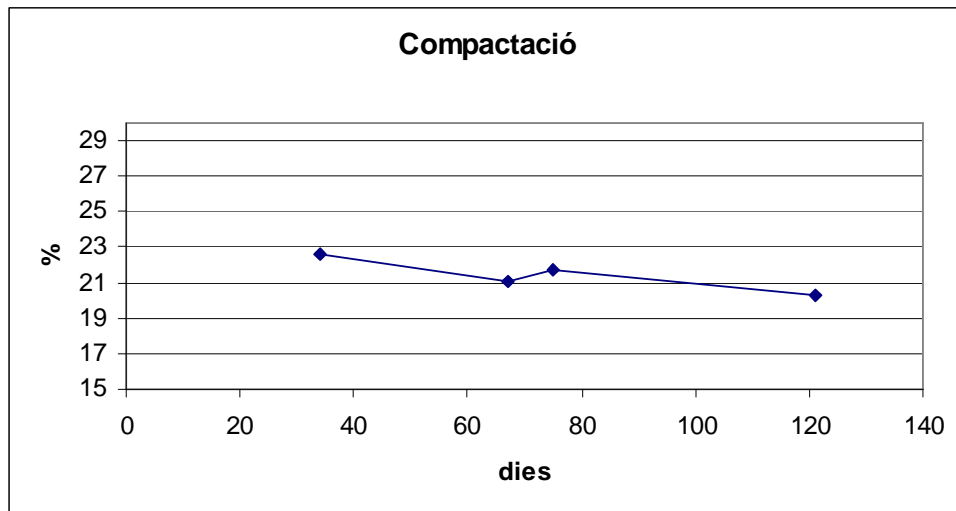


Figura 5.13: Evolució de la compactació

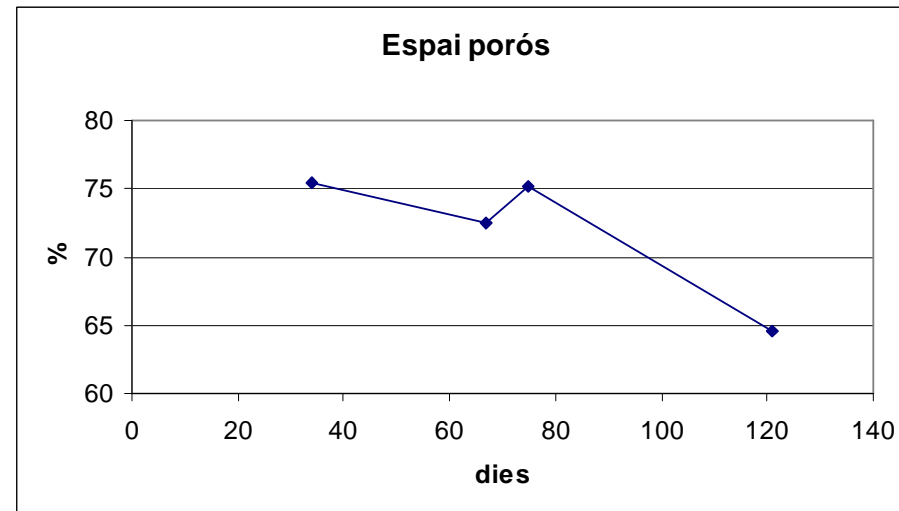


Figura 5.14: Evolució de l'espai porós

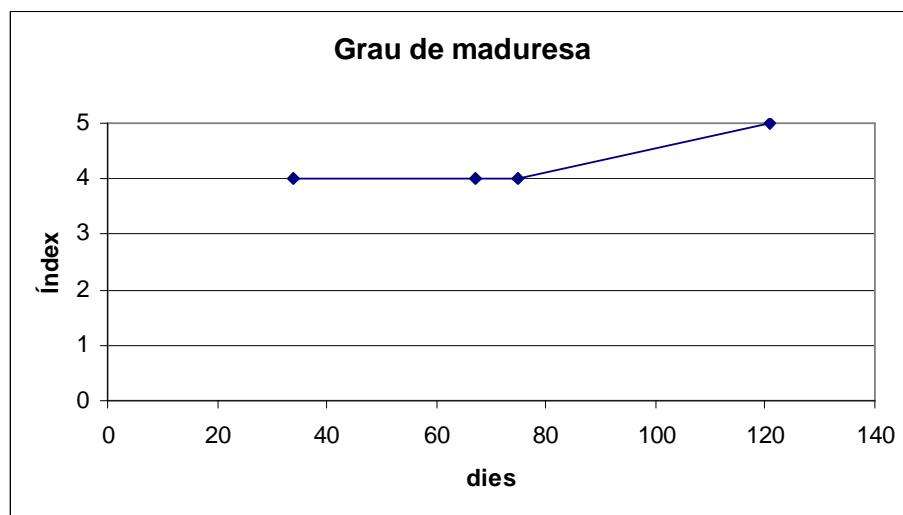


Figura 5.15: Evolució del grau de maduresa

Cal comentar que certs paràmetres, com ara la porositat, les densitats, etc.. es van analitzar a partir de la mostra número 3.

Un altre factor a tenir en compte als comentaris següents és que la pila es va aturar el dia 88, però degut a una incidència, la mostra núm. 7 corresponent al final de la pila no es va analitzar a FERVOSA. Al detectar-se el problema, es va procedir a una nova presa de mostra (mostra 8) del producte compostat que es trobava emmagatzemat. Aquest problema es va detectar al cap de dos mesos. Per tant la mostra núm. 8 correspondria al dia 121 de la pila, tot i que el material ja no estava en la pila si no que es trobava emmagatzemat. Tot i així s'ha cregut oportú comentar tots els resultats obtinguts.

El pH s'ha mantingut estable al llarg del procés a l'entorn de 8. Tot i així des de l'inici de la pila fins al final ha augmentat lleugerament. Aquest fet, tot i trobar-se dins de la normalitat, pot indicar un lleuger alliberament d'amoníac.

La conductivitat elèctrica ha disminuït al llarg del període, fet contrari a la tendència que sol seguir habitualment. Generalment augmenta fruit de la pèrdua d'humitat, i l'increment de matèria mineral i ions.

La humitat també ha disminuït fins arribar gairebé fins al 20 % des del dia 45 de la pila. Això indica una sequedat excessiva de la pila i que s'hauria d'haver regat més sovint per tal d'assolir situar la humitat als valors recomanats del 40 %.

La matèria orgànica sobre matèria seca ha disminuït des de gairebé el 70 % fins a un 45 %, a la mostra 6 i fins un 30% a la mostra 8 Per comercialitzar interessa 35 % matèria orgànica com a mínim, per tant es tractaria d'un bon resultat.

La densitat aparent s'ha mantingut estable a l'entorn de $0,55 \text{ g/cm}^3$ i la densitat real ha augmentat fins a $1,6 \text{ g/cm}^3$, i l'espai porós a l'entorn del 75 %. Tot i així en la mostra 8 presa el dia 121 després d'estar el material emmagatzemat, l'espai porós i la densitat real ha disminuït situant-se a $1,2 \text{ g/cm}^3$ i al 65 % respectivament. Aquest fet es pot deure a que el material estava emmagatzemat i més compactat, ja que no es realitzaven voltejos.

Des del dia que es va analitzar el paràmetre, en la mostra 3, el dia 34 de la pila, el Grau de Maduresa va ser de 4. Un valor que indica que el material és madur. Cal comentar

que al dia 121 el grau de maduresa va ser de 5, fet que indica que el material va seguir madurant.

5.1.3 CARACTERITZACIÓ DEL PRODUCTE DE SORTIDA

5.1.3.1 Caracterització del producte de sortida

Tal com s'ha fet amb el material d'entrada, es descriurà el producte de sortida segons observació visual i dels paràmetres analitzats en el laboratori.

5.1.3.1.1 Observació visual

Com s'ha comentat en l'apartat anterior, el producte de sortida és més esponjós i homogeni que a l'inici. Ja no es distingeix la presència de floc i el material ja no forma grumoll.

La tonalitat del color marronós s'ha tornat més clara

5.1.3.1.2 Caracterització del material a FERVOSA i Applus

Quan es va donar la mostra per finalitzada es va dur a terme una caracterització del producte de sortida a l'igual que es va fer amb el material d'entrada. Aquests resultats es recullen en les taules 5.5 i 5.6, a l'igual que s'ha fet a l'inici, els resultats es divideixen amb dues taules segons el laboratori que ha efectuat les analítiques.

Cal comentar la incidència de que la mostra núm 7 corresponent al dia 88 fi del procés de compostatge, per error no es va analitzar a FERVOSA. Al detectar-se el problema, es va procedir a una nova presa de mostra (mostra 8) del producte compostat que es trobava emmagatzemat. Aquest problema es va detectar al cap de dos mesos. Per tant els resultats que s'exposen a continuació són els resultats de la mostra 8 analitzada a FERVOSA i els de la mostra 7 analitzada a Applus. S'ha considerat oportú posar també els resultats de la mostra 6 presa 13 dies abans de la mostra 7 i per tant es considera més propera als possibles valors de la mostra 7.

Taula 5.5: Caracterització del producte de sortida, analítiques FERVOSA

Data de mostreig	18/07/06	02/10/2006
Data anàlisi	18/07/06	18/10/2006
Producte	Compost	Compost
Referència	Mostra 6	Mostra-8
Laboratori	FERVOSA	FERVOSA

Paràmetre analitzat	Valor M6	Valor M8	RD 824/2005
pH	8,61	8.66	
CE (dS/m)	5,14	4.33	
Humitat %	22,80	25.08	30-40 %
Sòlids Totals %	77,20	74.92	
MO % smf	33,24	22.69	
MO % sms	43,06	30.29	> 35 % (MOT)
Da (g/cm3)	0,50	0.58	
Dr (g/cm3)	1,57	1.30	
Compactació %	21,74	20.24	
Espai porós %	75,23	64.56	
Grau de Maduresa	4,00	5	5 ¹

¹Valor recomanat no recollit a la legislació

Font: Elaboració pròpia

Taula 5.6: Caracterització del producte de sortida, analítiques APPLUS

Data de mostreig	31/07/2006
Data anàlisi	03/08/2006
Producte	Compost
Referència	Mostra-7
Laboratori	Applus

Paràmetre analitzat	Valor	RD 824/2005
pH	8,1	
CE (dS/m)	11,68	
Matèria seca % smf	77,1	30-40 % ¹
Matèria orgànica	66,8	> 35 % (MOT)
Relació C/N	12,7	< 20
N kjeldahl m. seca (N) % sms	2,62	> 1% ²
N amoniacal m. fresca (N) % sms	0,57	> 1% ²
P % sms	1,85	> 1% ²
K % sms	2,55	> 1% ²

¹Dades referents a humitat

²Cal declarar el contingut si supera aquest límit

Font: Elaboració pròpia

L'evolució del pH tal com s'ha comentat anteriorment ha set a l'alça i la de la CE ha sigut a la baixa. La diferència que es veu en la CE de les mostres analitzades a FERVOSA i a Applus, tot i tractar-se de mostres diferents, ja s'observava al principi. Cal dir que en les analítiques d'Applus també es pot observar una disminució de la CE.

La humitat tot i tractar-se de mostres diferents es manté força constant a l'entorn del 23 % i es troba per sota dels marges establerts pel RD 824/2005.

Pel que fa a la matèria orgànica, la mostra 6 amb una Matèria orgànica del 43 % compleix els requisits marcats pel RD 824/2005 per tal d'utilitzar el compost com a fertilitzant. Tot i així s'observa que a la mostra 8 aquest valor és més baix. El valor obtingut per la mostra 7 a Applus es considera erroni.

La relació C/N es troba per sota de 20 tal com marca el RD 824/2005, concretament a 12.

El N Kjeldahl ha augmentat i l'amoniacal ha disminuït, això significa un augment del nitrogen orgànic, fet que es considera positiu, ja que suposa que el nitrogen amoniacal ha passat a formes de nitrogen més estables, tot i que certa part es pot haver volatilitzat degut a condicions no adequades.

Si considerem el N Kjeldahl com a el nitrogen total i restem d'aquest valor el nitrogen amoniacal tenim que el nitrogen orgànic és el 80% del nitrogen total. Això significa que no arriba al llindar establert pel RD 824/2005 que marca que els fertilitzants orgànics han de tenir el 85% del nitrogen total en forma de nitrogen orgànic.

El P i el K s'han mantingut estables

Pel que fa a la mostra 6 es van dur a terme un anàlisi granulomètric que es detalla a la taula 5.7. Aquesta analítica només es va dur a terme a aquesta mostra, ja que en la data que va ser analitzada es va visitar els laboratoris de FERVOSA, per tal de veure el procediment analític realitzat a les mostres.

Taula 5.7: Granulometria mostra 6, analítiques FERVOSA

Interval	%
% > 10	3,36
% 10 - 2	22,43
% 2 - 1	20,29
% 1 - 0,5	20,64
% 0,5 - 0,25	15,14
% 0,25 - 0,1	11,14
% 0,1 - 0,05	4,57
% < 0,05	2,43
Total	100,00

Font: Elaboració pròpia

5.1.3.2 Pes i volum finals

Taula 5.8: Pes i volum del compost

Pes brut	Tara camió	Pes net	Densitat
8870 kg	3430 kg	5440 kg	0,93 g/cm ³

Font: Elaboració pròpia

El pes del material final és un 16,4 % més elevat que el del material inicial. Aquest fet és sorprenent, ja que el pes del material hauria d'haver disminuït gairebé a la meitat. Es troben dos motius que poden explicar aquest fet:

- La incorporació de terra en cada volteig, ja que la pila està sobre terra no pavimentat. Tot i així no s'explica aquest augment tan considerable de pes.
- El fet de que no s'hagi pesat el material tan bon punt es va realitzar l'última analítica fa pensar que potser les pluges abundants del mes d'agost hagin fet augmentar el pes del material.

Pel que fa el volum, degut als successius voltejos, en els últims dies la pila tenia forma de con (Fotografies 9 a 11 de l'ANNEX II). Per tal de calcular el seu volum es va utilitzar la fórmula següent:

$$V = 1/3 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Al tractar-se d'un con no simètric es van mesurar dos diàmetres i es va fer una mitjana. Per tal de mesurar la alçada de la pila, es va utilitzar una estimació. Es van mesurar 3 diagonals de la pila i mitjançant el teorema de pitàgoras es va trobar l'alçada. Amb aquestes dades es va calcular el volum final.

Taula 5.9: Càlcul del Volum

Volum		5,83 m³			
R1	2,4 m			Rm	2,325 m
R2	2,25 m				
Hip 1	2,41 m	Hipm	2,536 m	h	1,03 m
Hip 2	2,7 m				
Hip 3	2,5 m				

Font: Elaboració pròpia

D'aquests càlculs en resulta un volum de $5,83 \text{ m}^3$, això significa que s'ha reduït el volum en un 30 %, ja que el volum inicial era de $8,525 \text{ m}^3$.

Pel que fa a la densitat que s'obté amb el pes i volum mesurats a la pila és més elevada que es va mesurar al laboratori per la mostra 6 i 8, tot i que haurien de coincidir. Es desconeix el motiu però es mouen diverses hipòtesis: errada en l'anàliti, errada en la pesada i errada en la mesura del volum. L'errada analítica es poc probable, ja que la mostra 6 i la mostra 8 donen valors molt similars. Per tant s'aposta més per l'errada de pesada o de càlcul de volum.

5.1.4 Balanç de matèria i energia

Degut als resultats obtinguts no es pot dur a terme un balanç de matèria i energia per aquesta pila.

5.2 VALORACIÓ DEL PROCÉS DE COMPOSTATGE DE LA PROVA PILOT NÚM 1

El dia 88 de la pila, al cap de gairebé 3 mesos, es va decidir finalitzar la pila, ja que s'assolia un bon grau de maduresa i així es podia començar a plantejar una segona prova.

Es pot dir que el material compostat està en bona part dins dels límits marcats segons el RD 824/2005, de 19 de juliol, per a poder utilitzar-se com a fertilitzant, tot i que hauria de rebre un post tractament o barrejar-lo amb altres materials per millorar aquestes qualitats.

Pel que fa a higienització s'ha complert el que marca el segon esborrany de la Comissió Europea, tot i així, al finalitzar el procés no es va fer un control d'higienització per tal de determinar l'absència de *Salmonella streptococchi* en 25 g del producte final i de *Escherichia coli* < 1000 NMP per gram de producte elaborat.

Tampoc s'ha dut a terme cap control dels metalls pesats inclosos, que en estudis de més detall s'haurien de contemplar.

Es tracta per tant, d'un compost que ja es podria aplicar al sòl. Això també ho confirma el grau de maduresa, que és de 4, que segons la classificació d'estabilitats (Taula 5.10) es traca d'un compost madur, apte per a jardineria i horticultura. Cal dir que en la mostra que es va fer dos mesos més tard de finalitzar la pila, el grau de maduresa era de 5.

Tot i així, el fet de que el pes del material compostat hagi augmentat fa dubtar de la qualitat del procés. Si la hipòtesis de la incorporació de terra en el volteig és certa, pot fer doncs que el compost sigui més madur del que realment seria si el mateix procés s'hagués dut a terme en un lloc pavimentat.

D'altra banda el fet de que el material fos madur no concorda amb l'augment de temperatures per sobre dels 50 °C després de cada volteig, fet que demostra que encara es trobava en la fase termòfila.

Un dels factors que podria explicar la bona evolució de la pila seria la manca de pluja al llarg del període estudiat, ja que es va observar que després de la pluja es formava una

crosta superficial que es creu que dificultava la aireació de la pila. De fet després d'aquestes pluges la temperatura trigava més a pujar. Tot i així no es pot trobar una relació directa, ja que els dies de pluja van coincidir al final de la pila quan el material era més madur i la pila no s'escalfava tan ràpid.

Taula 5.10 : Classificació de l'estabilitat del compost

Diferència temperatura (°C)	Grau de maduresa	Tipus de compost	Aplicació recomanada
< 10	V	Estable	Compost de màxima estabilitat, òptim per a jardineria fina i viverisme
< 20	IV	Estable	Compost madur, apte per jardineria i horticultura
< 30	III	Actiu	Compost mig, per jardineria de base i arboricultura (vinya, oliveres, fruiters)
< 40	II	Actiu	Compost fresc, per a paisatgisme i agricultura extensiva
> 40	I	Fresc	Compost inacabat, massa fresc, pot fer mala olor i donar problemes (fitotoxiciatat)

Font: TMECC 2002

En conclusió, en aquesta prova pilot s'han detectat una sèrie de problemes que en propers experiments s'han d'evitar o millorar:

- **Caracterització inicial:** S'ha de fer una caracterització del material abans de formar la pila per tal de contrarestar alguna mancança que es detecti mitjançant la mescla d'altres materials. Com per exemple augmentar la relació C/N del material d'entrada per tal de fixar el nitrogen i per tal de minimitzar la volatilització del nitrogen en forma d'amoníac
- **Volteig després de la pluja:** Després d'uns dies de pluja és millor voltejar el material per a trencar la crosta superficial que es forma i que pot dificultar l'aireació de la pila.
- **Pavimentació del terreny:** Intentar fer el segon experiment en un terra pavimentat per evitar la incorporació de terra i impropis que poden alterar l'evolució del procés i del material final.

5.3 PLANTEJAMENT PROVA PILOT NÚM. 2

Vistes les conclusions extretes de la prova pilot núm. 1 es va decidir plantejar una nova prova pilot de compostatge d'una pila de gallinassa incrementant la proporció de floc al material que surt directament de la granja per veure quines millores hi ha en el procés i en el producte final.

Degut a la manca de temps, es va descartar la opció de dur a terme aquesta prova, però es va decidir procedir al seu plantejament per a un possible futur desenvolupament

5.3.1 Caracterització del material d'entrada i mescles oportunes

A l'hora de fer una mescla és molt important conèixer quina és la proporció d'ambdós materials que es barregen per tal de reproduir aquesta mescla posteriorment.

Per tant, segons Hansen (Hansen, 1993) és de gran importància conèixer la quantitat d'agent estructurant òptima a afegir per tal d'aconseguir una relació C/N que garanteixi els objectius de qualitat que s'han establert per al producte final però minimitzant els costos d'explotació i maneig de la planta.

5.3.1.1 Determinació de la proporció floc gallinassa (F/G)

Tal com s'ha comentat a l'apartat de material i mètodes, el coneixement de la F/G és clau per a poder caracteritzar les barreges de material.

A continuació es determinarà la proporció floc gallinassa del material tal com surt directament de la granja segons el mètode explicat a materials i mètodes.

Una mostra de material provinent d'una granja i una mostra de floc van ser enviades a FERVOSA per tal de determinar-ne la seva porositat. (*Annex VI: Resultats de les analítiques 2*)

Els valors de porositat d'ambdós materials obtinguts són els següents:

%Pe= 89,07

% Pfg= 71,90

Coneixent aquests valors s'ha procedit al càlcul mitjançant la metodologia per a determinar quina és la millor proporció d'estructurant fang per a un fang.

$$0.89 \cdot V_e - V_f = V_{pfe}$$

$$V_{pfe}/V_e = 0.719$$

$$E/F = V_e/V_f$$

Pas 1

$$0.89 V_e - V_f = 0.719 V_e$$

Pas 2

$$0.171 V_e = V_f$$

Pas 3

$$0.171 = V_f/V_e$$

Pas 4

$$E/F = V_e/V_f = 5,85$$

Per tant, segons aquesta metodologia, el resultat és d' una proporció F:G de 5,84:1

Coneixent la proporció de mescles en volum que es va fer per tal de trobar la relació C/N òptima (taula 4.1) i segons la proporció F/G del material directe de granja, podem expressar a continuació les mescles fetes en funció de proporció F/G que es recullen a la taula 5.11

Per arribar a aquests resultats s'ha considerat que en una relació 6:1 de floc gallinassa hi ha 6 parts de volum de floc per una part de volum de gallinassa líquida. Per tant si afegim un volum igual de només floc, tindrem 7 parts de volum de floc.

Taula 5.11: Proporció F/G de cadascuna de les mostres

	Mostra A	Mostra B	Mostra C Material directe de granja
Vf/Vg	1/1	0,5/1	0/1
Floc	$6/7 + 7/7 = 13/7$	$6/7 + 3,5/7 = 9,5/7$	6/7
Gallinassa	1/7	1/7	1/7
Relació F/G	13:1	9,5:1	6:1

Font: Elaboració pròpia

El resultat obtingut és orientatiu, ja que el mètode utilitzat per a determinar la proporció floc-gallinassa, s'ha extrapolat del mètode per a calcular la proporció estructurant fang en compostatge de fangs. Aquest mètode es basa en considerar l'estructurant com un material rígid que no perd volum al barrejar-se amb materials líquids i que aquests omplen els buits que deixa l'estructurant, sent els espais no ocupats el que es considera la porositat del material resultant. Això és cert en el compostatge de fangs ja que es sol utilitzar estella de pi com a estructurant que té unes característiques diferents al floc pel que fa a estructura i a rigidesa. En canvi el floc un cop barrejat amb un altre material no manté el volum original ni el volum de porus, es trenca i s'aixafa. Per tant aquesta proporció F/G en volum calculada no és la real, si no que hauria de ser superior, ja que si es trenca l'estructurant i s'aixafa, es necessita més estructurant per a tenir la mateixa porositat.

Per tant caldria trobar un sistema més adequat per tal de calcular aquesta proporció de floc/gallinassa.

5.3.1.2 Cerca de la relació C/N òptima

Per tal de conèixer com afectava en la relació C/N la proporció de floc en la mostra, es van analitzar les mostres A, B i C a Applus. (*Annex VI: Resultats de les analítiques 2*)

A la taula 5.12 es mostren els diferents valors de la relació C/N, matèria seca, matèria orgànica i Nitrogen Kjeldhal per a les tres mostres amb diferents proporcions de floc i gallinassa:

Taula 5.12: Relació C/N i altres paràmetres de les mostres amb diferent proporció F/G

Data de mostreig	25/07/06	25/07/06	25/07/06	25/07/06
Data anàlisi	03/08/06	03/08/06	03/08/06	?
Proporció F/G	13:1	9,5:1	6:1	6:1
Referència	Mostra A	Mostra B	Mostra C ₁	Mostra C ₂
Laboratori	Applus	Applus	Applus	FERVOSA
Paràmetre analitzat	Valor	Valor	Valor	Valor
Matèria seca % smf	80,8	80,7	85,8	78.17*
Matèria orgànica	77	73,8	25,05	65.60
Relació C/N	17,4	16,6	12,4	–
N kjeldahl m. seca (N)	2,21	2,22	1,03	-
% sms				

* Matèria seca determinada a partir del % humitat

Font: Elaboració pròpia

La relació C/N és més alta quan més floc hi ha, fet lògic ja que el floc és un material ric en carboni.

Els altres paràmetres segueixen una evolució no tan evident. Segons les dades la mostra amb menys floc és la més seca, cosa que no hauria de ser així, ja que el floc és un material absorbent. Segons FERVOSA, aquestes variacions d'humitat no són significatives, per tant es pot considerar que la humitat no varia.

Pel que fa la matèria orgànica, el fet de que la mostra A amb més floc, sigui la que més matèria orgànica tingui, és coherent, ja que el floc és un material ric en matèria orgànica vegetal. El que és estrany és que la mostra C presenti uns valors tan baixos de matèria orgànica, fet que fa pensar que potser hi ha hagut algun error amb l'anàlisi. Pel que fa el Nitrogen disminueix molt en el cas de la mostra C, i també es podria explicar per aquest motiu. Per això es va decidir reproduir les analítiques. Tot i així les analítiques es van repetir a FERVOSA i per tant no es van dur a terme la relació C/N i el Nitrogen Kjeldhal. A més, la determinació de la matèria seca s'ha calculat a partir del % de humitat. En les noves analítiques, el % de matèria orgànica de la mostra C es considera un valor més fiable, ja que es proper als valors de les altres mesclades i similar al del material que es va utilitzar per a realitzar la prova pilot número 1. I per tant es veu que

l'evolució de la matèria orgànica és similar a la relació C/N, quan més floc més augmenta.

Tot i així, si es comparen les dades obtingudes amb les dades del material directe de granja compostat en la primera experiència pilot (taula 5.2) veiem que la relació C/N d'aquest és igual a la relació C/N de la mostra A, on hem doblat la proporció de floc. Aquest fet significa que el material és diferent a cadascuna de les granges i que la variabilitat de la proporció F/G de cadascun d'aquests és considerable.

Taula 5.13: Comparació entre el material directe de granja per a la prova pilot 1 i 2

Mostra	Mostra 1 (prova pilot 1)	Mostra A (prova pilot 2)	Mostra C (prova pilot 2)
Granja	Granja A	Granja B	Granja B
Data anàlisi	Maig 2006	Agost 2006	Agost 2006
Tipus de material	Material directe de granja	Material directe de granja enriquit amb floc	Material directe de granja
Relació C/N	17.7	17.4	12.4

Font: Elaboració pròpia

No es va procedir a realitzar la pila per a fer una segona experiència de compostatge perquè l'objectiu era compostar un material amb una relació C/N al voltant de 20. Per tant s'hauria d'haver tornat a repetir l'anàlisi de la relació C/N de gallinassa de la granja B afegint quantitats més grans de flocs. Això es va descartar per motius de temporalitat.

Per tant, d'aquesta experiència s'extreu que no es pot concretar de manera general quina és la quantitat de floc que s'ha d'afegir al material que surt de la granja per tal d'obtenir una relació C/N òptima, ja que la proporció F/G del material és diferent en cada granja, i per tant també la seva relació C/N.

S'hauria de trobar un sistema general que permetés saber de forma senzilla en funció d'algun paràmetre quina F/G té el material de la granja en cada cas i a partir d'aquí arribar a obtenir la proporció F/G que tingui la relació C/N òptima.

En aquest punt es va parar el desenvolupament del projecte final de carrera i es marquen les bases per a un futur treball.

6 DISCUSSIÓ I VALORACIÓ DELS RESULTATS OBTINGUTS

L'objectiu i abast inicial era molt ambiciós: l'estudi de la viabilitat tècnica, econòmica i ambiental de tractar les dejeccions ramaderes en el marc de l'empresa, realitzant en una primera fase unes proves experimentals per tal de caracteritzar el procés de compostatge amb el material problema. Amb els resultats obtinguts s'hauria de procedir al disseny d'una planta de compostatge.

Tal com s'ha comentat des de l'inici del treball, l'objecte i l'abast del projecte s'han replantejat al llarg del desenvolupament d'aquest.

Els motius de la reducció de l'objectiu i l'abast han sigut diversos: retràs en el plantejament de la prova pilot, llarga durada d'aquesta, resultats no esperats, manca de previsió, precarietat de les instal·lacions, lligat amb factors externs tan personals com laborals.

Però tot i no assolir els objectius esperats per a poder procedir al disseny d'una planta de compostatge, aquest treball ha sigut una experiència extremadament didàctica en aplicar una solució teòrica a un problema pràctic. És a dir afrontar la solució d'un problema, veure que els plantejaments esperats no es realitzen i comprendre que en una situació experimental no es pot menystenir cap factor ja que qualsevol imprevist pot ser clau en el desenvolupament del procés. I sobretot entendre que els processos necessiten els seus temps i la importància de ser previsor i estudiar detalladament tots els factors abans de posar una cosa a la pràctica.

En aquest apartat es pretén fer una reflexió sobre els resultats esperats, els resultats obtinguts, identificar els problemes principals i quines poden ser les possibles solucions de cares a marcar les bases per a un futur replantejament del treball.

6.1 Anàlisis dels resultats esperats i obtinguts

6.1.1 Resultats esperats

En l'apartat 3.2.6 *Resultats esperats* es detallaven els resultats esperats de les proves experimentals, que es detallen a continuació:

- Caracterització del material que surt de la granja
- Determinar la viabilitat del procés del compostatge del material tal com surt de la granja i amb l'addició de més floc
 - Trobar quina és la relació C/N òptima i conseqüentment la quantitat de floc a afegir per tal de garantir l'assoliment dels objectius de qualitat del producte final establerts, amb la mínima despesa associada.
 - Realització d'un balanç de matèria i energia dels processos
- Caracterització del material de sortida del procés del compostatge en cada cas i establir si es pot utilitzar directament com a fertilitzant o és apte per a barrejar amb altres productes.

6.1.2 Resultats obtinguts

Els resultats que s'han obtingut són els següents:

- **Caracterització del material que surt de la granja:** S'han realitzat les anàlitzes del material que surt de la granja als laboratoris de FERVOSA i Applus, per tant es té una primera aproximació del material problema. Tot i així s'ha detectat una variabilitat en el material de la granja segons el seu origen que indica que la proporció de floc i gallinassa a cada granja és diferent.
- **Viabilitat del procés de compostatge directament de granja i caracterització del material de sortida:** El compost obtingut a la prova pilot núm. 1, en la qual es compostava el material directament tal com surt de granja, presenta unes bones característiques de maduresa al cap de tres mesos que indiquen que el compostatge sense addició d'esmenes o agent estructurant al material problema pot ser viable, tot i que l'increment de pes que hi ha en el compost de sortida respecte al material d'entrada fa restar credibilitat als resultats obtinguts i caldria dur a terme una altra prova per a poder assegurar aquesta viabilitat.

- **Proporció floc- gallinassa que doni la relació C/N òptima:** Degut a la variabilitat del material en funció de les granges d'origen i la dificultat per a conèixer-ne la proporció floc-gallinassa, en aquest treball no s'ha pogut establir quina quantitat de floc a afegir dona una relació C/N òptima amb la mínima despesa associada. Però si s'ha demostrat que si es varia la proporció de floc gallinassa es varia també la relació C/N i que amb una unificació del maneig del llit de flocs de fusta a les diferents granges, es podria obtenir un material similar en elles, que minimitzés la necessitat d'un pre-tractament abans del compostatge.
- **Realització d'un balanç de matèria i energia dels processos:** no s'ha pogut realitzar un balanç de matèria i energia del procés degut als resultats inesperats.

6.1.3 Motius de divergència

6.1.3.1 Temporalitat i manca de previsió i coordinació

Degut a que el plantejament inicial del projecte i la recerca de col·laboradors va ser llarg, el plantejament de les proves pilot es va fer precipitadament per a guanyar temps.

L'inici de la prova pilot núm. 1 va ser sobtat ja que es va aprofitar que es buidava una granja per tal d'iniciar la prova, ja que la propera granja no es buidava fins al cap de 2 mesos. Per tant es va iniciar la prova sense fer una caracterització prèvia del material a compostar, que hagués permès fer un pre-tractament d'aquest. Tot i així la voluntat de la primera prova pilot era demostrar la viabilitat de compostar el material directe tal com surt de granja per a minimitzar costos.

6.1.3.2 Manca d'ubicació adequada i espai

Maularadament no es disposava d'espai suficient per a dur a terme proves pilots de manera simultània que hagués permès la obtenció de resultats amb menys temps o fins i tot la realització de rèpliques.

Tampoc es disposava d'un espai pavimentat per evitar la incorporació de terra al voltejar la pila.

6.1.3.3 Incidències en les analítiques i alt temps de reacció

Per confusió la mostra 7, la que corresponia a l'última mostra de la prova pilot núm. 1, no va ser analitzada a FERVOSA i va ser analitzada només per Applus, per tant hi ha paràmetres que no s'han pogut comparar i s'ha tingut que basar l'anàlisi final en la mostra 6, tretze dies anterior a la finalització de la prova pilot núm 1 i amb la mostra 8 realitzada dos mesos després de finalitzar la prova quan el material ja estava emmagatzemat.

La manca dels resultats per la mostra 7 es va detectar un mes i mig més tard degut a que per motius personals es va paraitzar el projecte. Si s'hagués detectat abans els resultats de la mostra 8 haurien sigut més fiables.

Val a dir també que a vegades calia fer rèpliques dels resultats obtinguts i això també alienta el procés.

6.1.4 Replantejament de les proves pilot

Havent analitzat els resultats obtinguts al llarg d'aquest projecte i detectant quins han sigut els problemes i quines poden ser les solucions, a continuació es fa un replantejament del projecte, amb el qual es creu que es podrien millorar els resultats i realitzar els experiments de manera més eficient si es vol reprendre aquest estudi posteriorment.

6.1.4.1 Determinació de la proporció floc gallinassa

Al llarg del projecte s'ha remarcat que la relació C/N és de gran importància en el procés de compostatge i per tant és un paràmetre que cal conèixer. Com s'ha vist, el material a compostar, tot i provenir de granges d'una mateixa empresa amb el mateix sistema de producció, presenta variacions pel que fa a aquesta relació C/N que depenen de la proporció de floc gallinassa que té el material.

Per tant es considera prioritari trobar quina és la proporció floc gallinassa del material i quina relació C/N presenta.

Per això es proposa obtenir els dos materials per separat i procedir a fer diferents mescles. A partir d'aquí es seguiria la metodologia establerta per Haug (Haug, 1993)

per tal de determinar quina és la proporció volumètrica de la mescla i posteriorment analitzar quina és la relació C/N de cada mescla. A més també convindria analitzar d'altres paràmetres com la matèria orgànica, la humitat, nitrogen per veure si es pot obtenir alguna relació d'un d'aquests paràmetres amb la proporció floc gallinassa i la relació C/N i així poder-la conèixer a través d'analítiques menys costoses.

La cerca d'aquesta relació és per a conèixer quina quantitat de floc s'ha d'afegir a una mostra problema per tal de fer que la seva proporció de floc gallinassa doni una relació C/N òptima per a iniciar el procés de compostatge

6.1.4.2 Cerca de la relació C/N òptima per al procés de compostatge de la dejecció ramadera problema.

Per tal de saber quina és la relació C/N òptima s'haurien de realitzar dues o tres proves pilots simultànies, amb material provinent de la mateixa granja, amb diferents proporcions de floc gallinassa. És a dir, una pila s'hauria de compostar amb el material tal com surt de la granja i les altres dues afegint-hi una quantitat coneguda de floc.

Per tant el primer pas seria analitzar la relació C/N de la mostra problema, a partir d'aquí establir quina proporció de floc gallinassa té i a partir d'aquí conèixer quina és la quantitat de floc a afegir per a trobar relacions C/N més elevades, per exemple de 20 i 25.

Anotar les diferències en el procés i resultats i veure si a l'augmentar la relació C/N de la pila els resultats milloren o són similars.

Al llarg d'aquestes noves proves pilots caldria tenir en compte alguns aspectes bàsics que en la prova realitzada s'han passat per alt o no s'han pogut contemplar:

- Trobar una ubicació adequada i pavimentada
- Actuar sobre la pila tan bon punt arribin les analítiques segons els resultats d'aquestes.
- Realitzar també, si és possible analítiques de metalls pesants i d'activitat biològica.

6.1.4.3 Disseny de la planta

Amb els resultats obtinguts dur a terme el disseny de la pila

7 CONCLUSIONS

Les conclusions que es poden extreure de la realització d'aquest treball són

- El material que surt de la granja (dejecció ramadera barrejada amb floc) presenta una gran variabilitat en la seva composició ja que pot tenir més o menys proporció de floc. Per tant es podria homogeneïtzar aquesta composició seguint el mateix procediment de maneig del floc a cada granja, o homogeneïtzar aquest material afegint més floc prèviament al compostatge.
- La relació C/N del material que surt a la granja és molt variable, però té tendència a ser més baixa que l'òptima segons la bibliografia. Per tant es creu que afegint més material estructurant permetria augmentar aquesta relació i millorar el procés de compostatge.
- Tot i així dels experiments realitzats en el marc d'aquest treball no s'ha pogut concretar de manera general quina és la quantitat de floc que s'ha d'afegir al material que surt de la granja per tal d'obtenir una relació C/N òptima, ja que la proporció F/G del material és diferent en cada granja, i per tant també la seva relació C/N
- Es conclou que s'hauria de trobar un sistema general que permetés saber de forma senzilla quina F/G té el material de la granja en cada cas i a partir d'aquí arribar a obtenir la proporció F/G que tingui la relació C/N òptima i consegüentment saber quina quantitat de material estructurant s'hauria d'afegir.
- Tot i així en l'experiment realitzat, s'ha vist com el compostatge del material tal com surt de la granja pot ser viable. En un període de temps de tres mesos s'ha vist una bona evolució dels paràmetres característics i la presència d'indicadors de bona evolució del procés com ara presència de fongs a la capa superficial. A més s'ha assolit un bon grau de maduresa del compost, tot i que aquest resultat pot estar emmascarat degut al supòsit de la incorporació de terra i impropis en el material durant els voltejos. La prova no es va dur a terme sobre sòl impermeabilitzat ja que no es disposava d'un espai amb aquestes característiques
- Per aquest mateix supòsit no s'han pogut realitzar els balanços de matèria i energia ja que el pes del producte final és superior al pes del material d'entrada.
- Pel que fa a procediments d'operació, s'ha vist que després de ploure, es forma una crosta a la superfície de la pila, de menor o major gruix en funció del temps que duri

la precipitació. Es creu que un volteig posterior a la pluja es favorable per tal de trencar aquesta crosta que podria dificultar la aireació i s'homogeneïtza així el material altra vegada. Una altra solució seria fer-ho en recinte tancat.

- Tot i no assolir els objectius esperats per a poder procedir al disseny d'una planta de compostatge, es considera que aquest treball ha sigut una experiència extremadament didàctica en aplicar una solució teòrica a un problema pràctic.
- Es planteja la nova realització de proves pilots en un futur i es marquen les pautes per tal realitzar aquests experiments.
- Es considera primordial primer trobar la proporció de floc gallinassa del material problema i veure com pot variar la relació C/N en funció d'aquesta per a després plantejar diferents proves pilots simultànies amb diferents proporcions F/G i veure quina és la que dona millors resultats.

8 BIBLIOGRAFIA

8.1 RECURSOS BIBLIOGRÀFICS

Alcántara, A.F. 1993. *Residuos agrícolas, forestales, ganaderos e industriales*. Ed. Instituto de Investigaciones Ecológicas. Málaga.

Beyea, J. Et. al., 1994 *Composting of yard trimmings and municipal solid waste* U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response.

Boixadera, J. Sió, J. Et. Al. 2000 *Manual del codi de bones pràctiques agràries: Nitrogen*. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca.

Campos, E., Illa, J. Et. Al. 2004 *Guia dels tractaments de les dejeccions ramaderes*. Agència de Residus de Catalunya. Generalitat de Catalunya.

EC (2001), European Commission. DG-Env. E3- 2001. Waste management. Working Document on Biological Treatment of Biowaste

EC (2003). Reference document in Best Available Techniques for intensive rearing of poultry and pigs, IPPC. European Comission,.

European Soil Bureau, 2000. Map: Topsoil organic carbon content

Gotaas, H.B. 1956 *Composting. Sanitary disposal and reclamation of organic wastes*. World Health Organization

Hansen R.C.; Keener, C.M., Dick, W.A. and Hoitink, H. A. J. 1993 *Composting of poultry manure. A science and Engineering of composting*. Editat per Hoitink, H.A.J. i Keener H.M. Pags 131-135

Haug, R.T. 1993 *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers.

Hoitinik, H.A.J; Keener, H M, 1993 *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Renaissance publications

Huerta, O.; López, M. 2004. *Informe de Qualitat de Compost a Catalunya 2004*. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Diputació de Barcelona.

Huerta, O.; López, M.; Soliva, M. 2005. *El procés de compostatge de la FORM. Dins el curs: Els residus orgànics i el seu aprofitament a través del compostatge*, impartit en el Col.legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles de Girona. Novembre 2005

Navarro Pedreño et al, 1995, *Residuos orgánicos y agricultura*, Universidad de Alicante

Ramírez, G. 1983. Compostaje y uso de residuos orgánicos en Costa Rica. En «El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América latina», 200-205. Ed. FAO, Roma (Italia).

Saña J, 2005. *Compostatge de residus ramaders, Dins el curs: Els residus orgànics i el seu aprofitament a través del compostatge*, impartit en el Col.legi Oficial d'Enginyers Tècnics Agrícoles de Girona. Novembre 2005

Saña, J. Soliva, M. (1987). *El compostatge. procés, sistemes i aplicacions*. (Quaderns d'ecologia aplicada n.11. Servei del Medi Ambient; Diputació de Barcelona.)

Soliva M. 1993 *Control de la qualitat del compost. A: La gestió municipal dels residus sòlids urbans*. Diputació de Barcelona

Soliva, M. 2001. *Compostatge i gestió de residus orgànics*. Estudis i Monografies, 21. Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. 111pp

Soliva, M. 2003. *Assignatura: Tractament i Reutilització de Residus Orgànics*. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. UPC

8.2 RECURSOS ELECTRÒNICS

Agència de Residus de Catalunya

www.arc-cat.net

Empresa Emison

www.emison.com

Empresa SEKO

www.sekospa.es

Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca

www.gencat.net/darp

Diputació de Castelló

www.dipc.as

Pla de gestió de residus agropecuàris. Generalitat valenciana

www.cma.gva.es/