

*Convenio ARC-ESAB/UPC*

**Condiciones para el compostaje *in situ* de  
deyecciones ganaderas sólidas**

*Josep Saña*

*Montserrat Soliva*

*Escuela Superior de Agricultura de Barcelona-UPC*

1. <i>Introducción</i>	4
2. <u><i>Las deyecciones ganaderas sólidas</i></u>	4
3. <u><i>La composición de las deyecciones ganaderas</i></u>	6
<b>3.1 La vía analítica</b>	<b>6</b>
3.1.1 LA IMPORTANCIA DEL MUESTREO	6
3.1.2 TOMA DE MUESTRAS DE DEYECCIONES LÍQUIDAS	7
3.1.3 TOMA DE MUESTRAS DE ESTIÉRCOLES PASTOSOS Y SÓLIDOS	8
3.1.4 COMPOSICIÓN DE DEYECCIONES GANADERAS	9
<b>3.2 La vía de los balances</b>	<b>10</b>
4. <u><i>Transformaciones de las deyecciones ganaderas</i></u>	14
<b>4.1 Deshidrataciones por medios físicos</b>	<b>15</b>
4.1.1 SEPARACIÓN FÍSICA SÓLIDO/LÍQUIDO POR GRAVEDAD	15
4.1.2 SEPARACIONES FÍSICAS SÓLIDO/LÍQUIDO CON APORTACIÓN ENERGÉTICA	16
<b>4.2 Transformaciones microbiológicas</b>	<b>18</b>
4.2.1 EL EFECTO DE LA TEMPERATURA	18
4.2.2 EL EFECTO DE LA PRESENCIA DE OXÍGENO (O <sub>2</sub> )	18
5. <u><i>EL compostaje</i></u>	22
<b>5.1 Ventajas del compostaje</b>	<b>23</b>
<b>5.2 Requisitos para el compostaje</b>	<b>23</b>
<b>5.3 Cambios que comporta el compostaje</b>	<b>24</b>
6. <u><i>Situaciones que se presentan en el compostaje de las deyecciones ganaderas</i></u>	31
<b>6.1 Estiércoles muy pastosos</b>	<b>31</b>
<b>6.2 Deshidratados de purines</b>	<b>35</b>
6.2.1 INTERÉS DE LA DESHIDRATACIÓN	35
6.2.2 COMPOSICIÓN DEL DESHIDRATADO	39
6.2.3 CONDICIONES PARA EL COMPOSTAJE DEL DESHIDRATADO	39
6.2.4 NIVEL DE DESHIDRATACIÓN QUE SE HA DE LOGRAR	45
<b>6.3 Estiércoles con abundante lecho de ganado</b>	<b>47</b>
<b>6.4 La gallinaza sólida</b>	<b>48</b>
7. <u><i>El interés de los materiales complementarios</i></u>	48
8. <u><i>Otras opciones para el tratamiento de deyecciones ganaderas sólidas</i></u>	49
9. <u><i>El biosecado</i></u>	51

<b>Anejo.</b> Ejemplos de instalaciones de compostaje de deyecciones ganaderas	59
--	----

# CONDICIONES PARA EL COMPOSTAJE DE DEYECCIONES GANADERAS SÓLIDAS EN LA PROPIA EXPLOTACIÓN

## 1. INTRODUCCIÓN

La situación actual de nuestra sociedad impulsa a controlar cada vez más exhaustivamente la generación y la gestión de las deyecciones ganaderas, la prevención de la contaminación de las aguas y la conservación de los suelos. En la perspectiva de estas nuevas exigencias ambientales, todo lo que facilite y mejore la gestión de las deyecciones ganaderas en la granja se ha de valorar como un beneficio, aunque cueste hacerlo cuadrar económicamente

La buena gestión de las deyecciones ganaderas no es tan sólo imprescindible para mejorar su eficiencia como abonos y para prevenir problemas de contaminación, sino también para evitar los cada vez más frecuentes problemas de convivencia entre los ganaderos y una población mayoritariamente urbana y alejada de la mentalidad agraria. El ciudadano, en general, tiene otra percepción de los problemas ambientales, y hacer una buena gestión de las deyecciones ganaderas, junto al correspondiente trabajo de información y divulgación, puede hacer mejorar la comprensión de las actividades agropecuarias y las relaciones vecinales.

Este panorama obliga a los ganaderos a ser responsables de sus residuos como en cualquier otro tipo de actividad o de industria. Y desde este trabajo lo que procuraremos es aportar un mínimo de información técnica y de criterios para poder valorar, en cada caso particular, cuál es la mejor opción, tanto en lo que respecta a los costes como en función del destino que se le quiera o sea necesario dar a determinados tipos de deyecciones ganaderas. No estaría de más recordar lo que aparecía en los «*Contractes de masoveria*», siglo XIX: «*Lo masover deurà cuydar ab lo major esmero de la conservació y bon ús de la palla, invertinla tota en fems y abono de les terres*» «*Lo masover tindrà la obligació de adobar la terra ab 225 boichs per cada jornal o ab quinze cargass de fems*»<sup>1</sup> de los contratos de masoveria del propietario Joaquim de Nuix (Segarra). Extraído de *La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica*. 1996, R. Garrabou y J.M. Naredo.

A pesar de que los materiales orgánicos residuales que se generan en mayor cantidad son los ganaderos, no se puede olvidar que existen otros de origen diferente —lodos de depuradora, compost de residuos urbanos, etc.—, cuyo destino también puede ser la agricultura, y que a veces entran en competencia con los primeros. Es por tanto imprescindible compaginar el uso de todo este conjunto de potenciales abonos orgánicos, estableciendo criterios de calidad y normas de aplicación comparables y, en determinadas situaciones, también prioridades.

## 2. LAS DEYECCIONES GANADERAS SÓLIDAS

Las características de las deyecciones ganaderas pueden ser muy diferentes según la especie, edad del ganado, tipo de granja, alimentación, manejo, etc.

---

<sup>1</sup> «El masovero deberá cuidar con el mayor esmero de la conservación y buen uso de la paja, invirtiéndola toda en estiércol y abono de las tierras». «El masovero tendrá la obligación de abonar la tierra con 225 boics por cada jornal o con quince cargas de estiércol».

También son muchas las posibilidades de almacenamiento, aplicación y tratamiento. Todo ello comporta que para poder definir las pautas para su correcta gestión sea necesario abordar los puntos siguientes:

- i) Su composición. Sin conocerla es difícil establecer cómo utilizarlos correctamente en el que habría de ser su destino natural, es decir, la fertilización de los suelos. Existen tablas que proporcionan la producción de excrementos según el tipo de ganado y otras que informan sobre la composición elemental, pero puede ser que tanto unas como otras estén poco actualizadas o no se adecuen a las características de la propia granja. En consecuencia, será necesario saber cómo hacerlo para obtener una información útil y fiable y que sea a la vez fácilmente manejable, tanto para los granjeros como para los técnicos.
- ii) Su aspecto físico. Si nos centramos en el caso de las deyecciones ganaderas sólidas —que de manera genérica aquí llamaremos estiércoles, aunque no siempre tengan el aspecto con el que tradicionalmente identificamos estos materiales—, no todas tienen las mismas características y, por tanto, no se deberán o podrán manipular y utilizar de la misma manera. Como la terminología es posiblemente poco clarificadora, aquí proponemos una desde el punto de vista de los tratamientos a los que se los puede someter para realizar una mejor gestión:
  - Estiércol con abundante contenido de lecho de ganado<sup>2</sup>.
  - Estiércoles muy pastosos<sup>3</sup>.
  - Fracción sólida resultante de la deshidratación de los purines o de los estiércoles muy pastosos por medios físicos.
  - Fracción sólida resultante del secado térmico de purines.

Quisiéramos remarcar que, a pesar de que aquí hablamos de tratamientos de deyecciones ganaderas, no queremos decir que necesariamente se haya de hacer algo diferente a lo que se venía haciendo habitualmente, ya que muy frecuentemente la alternativa más válida, agronómica o ambientalmente, es seguir actuando igual que se ha hecho hasta ahora o con ligeras modificaciones. Ahora bien, lo que aquí intentaremos es describir los criterios con los que el ganadero pueda valorar si, dadas las características de sus deyecciones ganaderas y de su explotación, su forma de actuar es la mejor o existen otras más favorables, no sólo desde el punto de vista de la fertilización o del ambiental, sino también respecto a los costes económicos.

También entendemos que, siempre que sea posible, los tratamientos que sean imprescindibles efectuar a las deyecciones ganaderas han de ser:

- i) Lo más simples posibles.
- ii) Que requieran la mínima dedicación.

---

<sup>2</sup> La gallinaza procedente del engorde de las aves suele ser sólida y la incluiríamos en este grupo, aunque su composición y su comportamiento son muy diferentes a los de los estiércoles con elevado contenido en lecho de ganado: presenta un elevado contenido en nitrógeno (orgánico y amoniacal) y se descompone muy rápidamente cuando se humedece.

<sup>3</sup> La gallinaza de granjas de ponedoras suele ser un material pastoso y lo incluiríamos en este grupo.

iii) Que sean lo más robustos posibles.

Lo que no puede ser es que el tratamiento de las deyecciones ganaderas exija una dedicación excesiva que haga que se resienta el que habría de ser el objetivo de la explotación, que es hacer un alimento de calidad y con el mayor margen de beneficio posible.

### 3. LA COMPOSICIÓN DE LAS DEYECCIONES GANADERAS

Ya se ha comentado que la composición de las deyecciones ganaderas depende de muchos factores y que por tanto es muy variable; la **tabla 1** pone de manifiesto esta variabilidad. Por este motivo, los valores de composición de estiércoles o purines que se encuentran en la bibliografía son a menudo extraordinariamente diferentes a la composición de los de una explotación concreta.

También se ha de decir que, para poder utilizar correctamente las deyecciones ganaderas como fuente de nutrientes para las plantas, es imprescindible conocer su composición con una aproximación razonable. Y este conocimiento se puede adquirir esencialmente por dos vías: la analítica y la de los balances.

**Tabla 1.** Variabilidad en la composición de las deyecciones ganaderas de un determinado origen (archivos ESAB)

	<b>Conejo</b>	<b>Oveja</b>	<b>Vacuno</b>	<b>Avestruz</b>
<b>Número de muestras</b>	12	8	8	3
<b>% humedad</b>	22-75	45-75	53-80	43-61
<b>pH</b>	6,5-8,2	8,2-8,7	8,4-9,0	7,2-8,0
<b>CE, dS m<sup>-1</sup></b>	1,02-10,3	5,0-7,0	3,5-6,0	2,7-3,6
<b>% materia orgánica <sup>1</sup></b>	70-85	77-87	58,0-78,0	58,6-74,5
<b>% N</b>	1,5-3	2,2-3,2	2,1-3,1	1,4-1,7
<b>% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	2,0-3,7	0,34-1,49	1,5-2,9	2,9-4,6
<b>% K<sub>2</sub>O</b>	0,5-3,0	4,0-9,0	2,5-3,4	0,7-1,2
<b>% Ca</b>	1,0-3,7	0,7-2,1	3,8-5,1	8,1-10,8
<b>% Na</b>	0,15-0,59	0,05-0,30	0,58	0,03-0,50
<b>% Fe</b>	0,07-0,40	0,15-0,24	0,57	0,26-0,56

<sup>1</sup> Este resultado y los siguientes están expresados como porcentaje sobre muestra seca.

#### 3.1 LA VIA ANALÍTICA

##### 3.1.1 La importancia del muestreo

Los estiércoles y también los purines son materiales muy heterogéneos, en el sentido de que su composición varía en todas las direcciones: el estiércol de un extremo del estercolero tiene una edad diferente al del otro extremo —y por tanto también habrá evolucionado de forma diferente—, la superficie de la pila puede estar más seca —por la acción del sol— o más húmeda —si ha llovido

recientemente— que su interior, la fracción sólida de este purín también es diferente entre el punto de llegada a la balsa y el punto de donde se extrae, etc. Esta heterogeneidad comporta que una muestra obtenida sin criterio difícilmente será representativa del conjunto y, por tanto, los valores analíticos que se obtengan serán erróneos, como también lo serán los criterios de abonado que se definan a partir de estos valores.

En los próximos apartados introduciremos algunas pautas muy generales para la obtención de muestras representativas de deyecciones ganaderas. Por una cuestión práctica se han diferenciado dos grupos: el de las deyecciones líquidas (<10% ms) y el de las deyecciones pastosas (10%-20% ms) y sólidas (>20% ms).

Finalmente, se ha de remarcar que la toma de muestras de deyecciones ganaderas, no solamente es una operación compleja, sino que también puede ser peligrosa (zonas confinadas con riesgo de asfixia, caídas a balsas o a fosas de difícil salida, etc.) y que es preciso tener siempre muy presentes las normas de seguridad.

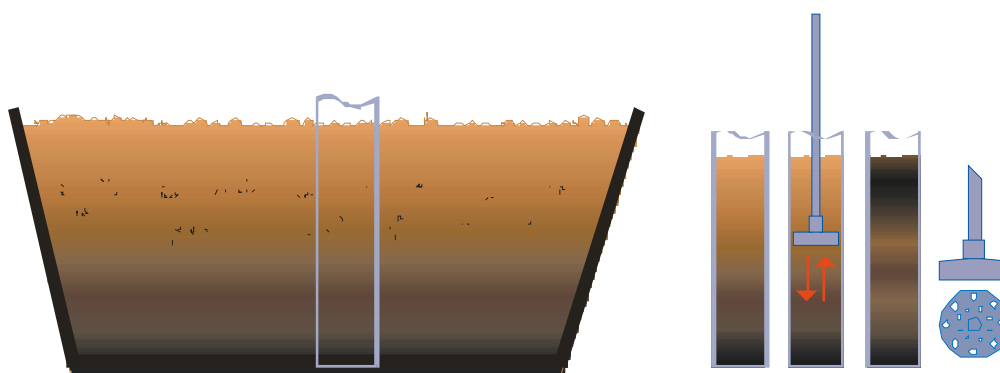
### 3.1.2 Toma de muestras de deyecciones líquidas

- i) En la mayoría de casos se tendrá que tomar la muestra de las balsas o las fosas de almacenamiento, y éstas pueden tener diferentes profundidades y perímetros, así como diferentes grados de estratificación de la fracción sólida.
- ii) Aunque en algunos casos exista la posibilidad de homogeneizar toda la balsa por agitación, lo más adecuado es tomar un determinado número de submuestras (ver **tabla 2**), homogeneizadas en vertical en diferentes puntos alrededor del perímetro.
- iii) Para la toma de cada una de las submuestras se utilizará un tubo de PVC o similar de 90 mm de diámetro y de longitud superior a la profundidad de la balsa/fosa.
- iv) Una vez que el tubo quede apoyado en el fondo, la columna de material contenida en su interior se ha de remover y homogeneizar con la ayuda de un agitador (ver **figura 1**).
- v) Posteriormente se cogerá un volumen del material de la parte superior del tubo, que nunca será inferior a medio litro.
- vi) Después se mezclará bien el conjunto de submuestras conseguidas de la manera anterior y se enviarán lo más rápidamente posible unos cuatro litros al laboratorio, siendo imprescindible que se guarden en fresco. Para evitar roturas por caída o vertidos por formación de gases, es preferible utilizar recipientes de plástico y no llenarlos más allá de los 3/4 de su capacidad.

**Tabla 2.** Número de submuestras necesarias para obtener una muestra representativa de estiércol líquido

PERÍMETRO (m)	NÚMERO DE SUBMUESTRAS
<50	6
50-100	6-12
>100	Mínimo 20

**Figura 1.** Toma de muestras de deyecciones ganaderas líquidas (dibujo O.Huerta)



### 3.1.3 Toma de muestras de estiércoles pastosos y sólidos

- i) El número de submuestras necesarias para obtener una muestra representativa de un estiércol pastoso o sólido se puede conocer aproximadamente a partir de los datos de la **tabla 3**.
- ii) Cada submuestra ha de tener un volumen mínimo, que también depende del tamaño máximo de las partículas presentes (**tabla 4**).
- iii) La sonda, pala o cualquier otro instrumento utilizado para el muestreo, ha de tener unas dimensiones adecuadas al tamaño de las partículas más grandes presentes en el material a muestrear. Por tanto, dado que el volumen de material que se ha de muestrear define el número de submuestras que se han de tomar y que el tamaño máximo de las partículas que componen este material delimita el volumen mínimo que se ha de recolectar, podemos tener una referencia de la capacidad necesaria del instrumento de muestreo:

$$\begin{aligned} \text{Capacidad instrumento de muestreo} &= \\ &= \text{volumen mínimo que se ha de recolectar} / \text{número de submuestras} \end{aligned}$$

- iv) Si se quiere separar una fracción representativa de la muestra global obtenida mediante las pautas anteriores, se ha de hacer obligatoriamente por el método del cuarteo después de mezclar muy bien.

**Tabla 3.** Número de submuestras necesario para la obtención de una muestra representativa de estiércol sólido

VOLUMEN DE MATERIAL	NÚMERO DE SUBMUESTRAS
< 20 m <sup>3</sup>	5
20-200 m <sup>3</sup>	5-10
> 200 m <sup>3</sup>	10-30



**Tabla 4.** Volumen mínimo de material que se ha de muestrear, según el tamaño de los elementos gruesos presentes

Tamaño máximo de las partículas que se han de cuantificar	Volumen mínimo que se ha de obtener (L)
< 10 mm	0,5
< 25 mm	5
< 50 mm	10
< 100 mm	15

### 3.1.4 Composición de deyecciones ganaderas

Aunque los laboratorios acostumbra a dar los resultados expresados sobre muestra seca, es más conveniente comentar las diferencias de composición de las deyecciones ganaderas en el estado en que serán aplicadas al campo, es decir, sobre materia húmeda. En la **tabla 5** se puede observar la variabilidad, en el ámbito de la UE, de la composición en fitonutrientes, así expresada entre las deyecciones ganaderas de diferentes especies animales, y también la variabilidad entre los residuos de una misma especie.

**Tabla 5.** Contenido en materia seca y fitonutrientes (expresado sobre materia húmeda) de deyecciones ganaderas de diferentes orígenes de la UE, según el informe del grupo de trabajo del RAMIRAN (Menzi, Pain y Smith,-1998)

GANADO QUE ORIGINA LA DEYECCIÓN GANADERA		%ms	N <sub>total</sub> (g/kg)	N <sub>asimilable</sub>		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg)	K <sub>2</sub> O (g/kg)
				(g/kg)	% sobre N <sub>total</sub>		
<b>Vacuno</b>	<b>Media</b>	22,3	4,8	1,3	26	3,0	5,7
	<b>Rango</b>	16-43	2,0-7,7	0,5-2,5	9-50	1,0-3,9	1,4-8,8
<b>Equino</b>	<b>Media</b>	32,1	6,1	1,5	28	2,7	5,9
	<b>Rango</b>	25-54	5,0-8,2	0,4-2,1	25-33	1,8-3,2	2,0-9,0
<b>Ovino</b>	<b>Media</b>	30,6	7,8	2,0	26	4,0	9,9
	<b>Rango</b>	25-48	6,1-8,6	1,3-2,6	23-31	2,3-5,2	5,7-16
<b>Porcino</b>	<b>Media</b>	23,8	6,8	2,4	26	6,3	4,9
	<b>Rango</b>	20-30	4-9	0,7-6,0	10-50	1,9-9,2	2,5-7,2
<b>Avicultura de puesta</b>	<b>Media</b>	40,6	23,6	10,9	49	16,6	10,7
	<b>Rango</b>	22-55	13-45	5,1-25,0	37-60	8-27	6-15
<b>Avicultura de carne</b>	<b>Media</b>	60,3	30,0	7,6	34	18,5	17,1
	<b>Rango</b>	45-85	18-40	2,0-15,0	24-50	6,9-25	6,7-23

En la **tabla 6** se indica la composición en fitonutrientes de las deyecciones ganaderas que se recoge en *El código de buenas prácticas agrarias: nitrógeno del*

DARP. Y finalmente en la **tabla 7** se recogen los contenidos en algunos metales pesados de las deyecciones ganaderas: son destacables las diferencias en el contenido de Cu y Cd según el país de origen.

**Tabla 6.** Aspectos destacables de la composición de fertilizantes orgánicos de origen ganadero (Boixadera *et al.*- 2000)

DEYECCIÓN GANADERA:	N <sub>total</sub> (kg/m <sup>3</sup> ,t)	N <sub>orgánico</sub> (kg/m <sup>3</sup> ,t)	N <sub>amoniaco</sub> (kg/m <sup>3</sup> ,t)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/m <sup>3</sup> ,t)	K <sub>2</sub> O (kg/m <sup>3</sup> ,t)
Estiércol bovino	5,0	4,5	0,5	2,7	7,0
Estiércol porcino	4,7	4,2	0,5	4,5	5,5
Gallinaza	12,9	2,2	10,7	15,6	10,2
Avicultura de engorde con lecho de ganado	30,7	20,8	9,9	28,6	19,8
Purín de porcino	3,4-5,9	0,9-2,5	2,5-3,4	1,8-5,3	2,3-3,6
Purín de vacuno	2,7	0,6	2,1	2,0	3,8

**Tabla 7.** Contenido en metales pesados de diferentes deyecciones ganaderas en Suiza (CH) y Reino Unido (UK) (Menzi, Pain y Smith-1998)

DEYECCIÓN GANADERA:	Cu (mg·kg <sup>-1</sup> sms)		Zn (mg·kg <sup>-1</sup> sms)		Cd (mg·kg <sup>-1</sup> sms)		Pb (mg·kg <sup>-1</sup> sms)	
	CH	UK	CH	UK	CH	UK	CH	UK
Vacuno de leche	23,9	31,4	118	145	0,17	0,42	3,8	2,2
Vacuno de carne	22,0	15,6	91	63	0,15	0,14	2,8	1,4
Porcino	66,2	346,0	375	387	0,12	0,68	2,6	2,8
Avicultura de engorde	43,8	92,4	349	403	0,29	0,38	2,9	2,9
Avicultura de puesta	35,2	65,6	425	423	0,31	1,03	2,2	9,8

### 3.2 LA VÍA DE LOS BALANCES

En la ganadería intensiva, las pautas de alimentación animal están muy acotadas y suelen ser muy similares en explotaciones diferentes que críen el mismo tipo de ganado. En otras palabras, los animales ingieren una determinada cantidad de elementos, —por ejemplo, N, P y K— con la alimentación y teniendo en cuenta que la materia ni se crea ni se destruye, sino que sólo se transforma, una pequeña parte de estos elementos quedan acumulados en el cuerpo del animal o en el producto comercializado (leche, huevos, etc.), mientras que el resto —la mayor parte— se queda en los excrementos.

Gracias a este hecho se han podido elaborar las tablas de equivalencia entre tipos de ganado y elementos contenidos en los excrementos generados por cada cabeza en un determinado período de tiempo.

Lo que sí es más variable es el volumen o masa de deyección que genera cada cabeza de ganado en un determinado período de tiempo, porque en ello interviene de forma notable el manejo que se hace en la granja: más o menos agua de lavado, más o menos lecho de ganado, etc.

Además, una cosa es el volumen de deyección generado por el ganado y otra es lo que se acaba aplicando al suelo, ya que en el intervalo entre la generación y la aplicación, este material puede haber sufrido transformaciones profundas — esencialmente microbianas— que hayan modificado sensiblemente su masa y, por tanto, su volumen.

La combinación entre los datos de la **tabla 8** y el volumen o masa de estiércol aplicado al campo nos permite calcular con una buena aproximación la concentración de nutrientes de nuestros estiércoles. Y a partir de este dato se pueden ajustar mejor las dosis de abonado. En los **cuadros** siguientes se presentan algunos ejemplos de esta metódica que, insistimos, sólo resulta válida en explotaciones de ganadería intensiva.

**Tabla 8.** Cantidad de nutrientes contenida en los excrementos de diferentes orígenes<sup>4</sup>

TIPO DE GANADO Y FASE PRODUCTIVA	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Purín	Estiércol	Densidad estiércol
GENERADORES DE LA DEYECCIÓN	(kg/plaza/año)			(m <sup>3</sup> /plaza/año)	(t/plaza/año)	(t/m <sup>3</sup> )
Vacuno de leche	73,0	36,00	91,0	14,6	18,25	0,8
Vacas nodrizas	51,1	24,1	67,3	9	12	0,8
Terneritas de reposición	36,5	17,2	48,1	5,84	6,93	0,8
Cría de bovino (animales de 1 a 4 meses en 3 ciclos/año/plaza)	7,7	3,7	7,3	0,5	0,7	0,8
Engorde de teneros/as <sup>1</sup>	21,9	10,8	27,3	4,74	5,47	0,8
Cerda en ciclo cerrado <sup>2</sup>	57,6	49,1	36,0	17,75	---	---
Cerda con lechones hasta el destete (0-6 kg)	15,0	12,8	9,4	5,1	---	---
Cerda con lechones hasta 20 kg	18,0	15,3	11,2	6,12	---	---
Cerda de reposición	8,5	7,2	5,3	2,5	---	---
Lechones de 6-20 kg	1,19	1,01	0,74	0,41	---	---
Cerdo de engorde (20-50 kg)	6,0	5,1	3,7	1,8	---	---
Cerdo de engorde (50-100 kg)	8,5	7,2	5,3	2,5	---	---

<sup>4</sup> Los datos de la **tabla 8** referentes a la generación de nitrógeno proceden mayoritariamente de la Orden de 22.10.1998, del Código de buenas prácticas agrarias en relación al nitrógeno (DOG núm. 2761, de 9 de noviembre de 1998) y del Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo (BOE núm. 58, de 8 de marzo de 2000). La generación de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O se ha elaborado a partir de información de la Junta de Residuos, Generalitat de Catalunya de 1996. Los datos de volúmenes y pesos de estiércoles y purines proceden del «Manual de gestión de los purines y de su reutilización agrícola», del Real Decreto 324/2000 y del Departamento de Medio Ambiente. Se está elaborando el borrador de un nuevo decreto de la Generalitat de Catalunya, que probablemente modificará y afinará estos datos.

TIPO DE GANADO Y FASE PRODUCTIVA	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Purín	Estiércol	Densidad estiércol
GENERADORES DE LA DEYECCIÓN	(kg/plaza/año)			(m <sup>3</sup> /plaza/año)	(t/plaza/año)	(t/m <sup>3</sup> )
Cerdo de recebo (20-100 kg)	7,2	6,2	4,5	2,15	---	---
Verraco	18,0	15,3	11,2	6,12	---	---
Avicultura de puesta (por plaza de gallina ponedora, comercial o selecta)	0,50	0,70	0,40	0,037	0,04	0,9
Polluelos de criar (2,5 ciclos/año/plaza. Animales de 100 días hasta 1,4 kg)	0,08	0,08	0,06	---	0,014	---
Engorde de pollos (5 ciclos/año/plaza. Duración del engorde de 48-50 días)	0,22	0,22	0,15	---	0,037	0,5
Engorde de patos (3,5 ciclos/año/plaza)	0,24	0,33	0,17	0,11	0,128	---
Producción de conejo <sup>3</sup>	4,30	6,40	3,51	---	0,084	0,75
Ganado equino	63,80	24,9	70,5	---	10,95	0,8
Ovejas de reproducción	9,00	5,25	14,58	---	0,913	---
Ovino de engorde (2,0 ciclos/año/plaza) Conjunto corderos/corderas	3,00	1,75	4,86	---	0,219	---
Ovejas de reposición	4,50	2,63	7,29	---	0,45	---
Cabrío de reproducción (con o sin producción lechera)	7,20	4,20	11,67	---	0,73	---
Cabrío de reposición	3,60	2,10	5,83	---	0,365	---
Cabrío de sacrificio	2,40	1,4	3,85	---	0,244	---
Engorde de codornices (8 ciclos/año/plaza. Animales de 200 g de peso final)	0,03	--	--	---	0,00493	---
Engorde de perdices (4 ciclos/año/plaza. Animales de 800 g de peso final)	0,07	--	--	---	0,01184	---
Engorde de pavo (3 ciclos/año/plaza. Animales de peso final aproximado de 7 kg)	0,46	--	--	---	0,24436	---
Ocas	0,24	--	--	0,11	0,128	---
Avestruces adultos (animales de más de 12 meses)	1,37	--	--	---	0,73	---
Avestruces de engorde	0,75	--	--	---	0,4	---

<sup>1</sup> 1,2 ciclos/año/plaza. Peso medio de 200 kg a los seis meses.

<sup>2</sup> Incluye la madre y su descendencia hasta finalizar el recebado.

<sup>3</sup> Incluye las madres, la reposición, los machos y el engorde. Productividad estimada de 40 gazapos/jaula/año.

### EJEMPLO 1

Una granja de vacuno de leche tiene 106 vacas en producción, 50 terneras de reposición de menos de un año y 34 bravas (entre 1 y 2 años).

El estiércol que se genera en la explotación se aplica al campo en dos épocas —primavera y otoño— y cada tanda de aplicación ocupa 88 remolques de 12 m<sup>3</sup> cada uno.

Multiplicando el número de cabezas de ganado por los kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O generados por cada tipo de cabeza en un año (tabla anterior) obtenemos:

GANADO (cabezas o plazas)	CABEZAS	Elementos fertilizantes generados (kg/año)		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Vaca de leche	106	7738	3816	9646
Terneras menos de 1 año (reposición)	50	1095	540	1365
Terneras bravas (de 1 a 2 años)	34	1489	734	1856
	TOTAL	10322	5090	12867

Dividiendo esas cantidades por el número de remolques ocupados en un año obtenemos la riqueza fertilizante media de cada carga de remolque. Y dividiendo este valor por su capacidad, obtenemos la composición media del estiércol de esta explotación.

Remolques/año	Volumen remolque (m <sup>3</sup> )
2 x 88	12

Elemento fertilizante por remolque (kg)		
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
58,65	28,92	73,11

Composición media del estiércol (kg/m <sup>3</sup> )		
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
4,89	2,41	6,09

## EJEMPLO 2

Otra granja de vacuno de leche cercana a la anterior tiene 60 vacas en producción, 25 terneras de reposición de menos de un año y 22 bravas (entre 1 y 2 años).

El estiércol que se genera en la explotación contiene más lecho de ganado que el anterior y durante su almacenamiento sufre una importante reducción de volumen por la actuación de los microorganismos. Se aplica también en dos veces y cada tanda de aplicación requiere 44 remolques de 4 m<sup>3</sup> cada uno (ver apartado 6.1).

Actuando de la misma manera que antes, obtenemos:

GANADO (cabezas o plazas)	CABEZAS	Elementos fertilizantes generados (kg/año)		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Vaca de leche	60	4380	2160	5460
Terneras menos de 1 año (reposición)	25	548	270	683
Terneras bravas (de 1 a 2 años)	22	964	475	1201
	TOTAL	5891	2905	7344

Remolques/año	Volumen remolque (m <sup>3</sup> )
2 x 44	4

Elemento fertilizante por remolque (kg)		
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
66,94	33,01	83,45

Composición media del estiércol (kg/m <sup>3</sup> )		
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
16,74	8,25	20,86

Se puede constatar que este estiércol es mucho más concentrado que el anterior, casi cuatro veces más. Por tanto, se aportan las mismas cantidades de elementos fertilizantes con mucho menos volumen.

## 4. TRANSFORMACIONES DE LAS DEYECCIONES GANADERAS

Las deyecciones ganaderas sólidas o estiércoles experimentan de forma espontánea transformaciones durante su almacenamiento: descomposición de su materia orgánica por los microorganismos, calentamiento debido a la energía liberada en esta descomposición, secado por esta misma energía o por la acción

del sol o del viento, humectación por la lluvia, pérdidas de compuestos gaseosos por volatilización, etc.

El ganadero puede intervenir sobre alguno de estos procesos de transformación para lograr que el producto final tenga más calidad como abono —más manejable, menos voluminoso, etc.—<sup>5</sup> o para reducir la superficie requerida para el estercolero, las molestias al vecindario más cercano, los efectos negativos sobre el entorno, y también en algunos casos para encontrar una salida comercial para el producto fuera de la propia explotación.

Las transformaciones sobre las que el ganadero actúa o puede actuar de forma más habitual, y que desarrollaremos en los próximos apartados, son:

- i) Las deshidrataciones<sup>6</sup>.
- ii) Los procesos biológicos, mayoritariamente microbianos.

Hemos de insistir en que cada situación particular ha de ser considerada y valorada detenidamente, ya que la intervención del ganadero no siempre es necesaria: en muchas ocasiones la evolución espontánea del estiércol ya conduce, mediante un proceso que no tiene incidencia desfavorable sobre el entorno, a la obtención de un producto final con la calidad adecuada para el uso al que se le destina.

## 4.1 DESHIDRATACIONES POR MEDIOS FÍSICOS

Existen diferentes procedimientos por los que el ganadero puede disminuir la humedad de los estiércoles de su explotación, lo que puede ser interesante si éstos son muy húmedos o pastosos.

### 4.1.1 Separación física sólido/líquido por gravedad

Separar la fracción líquida (aguas de lavado, orines, etc.) de la fracción sólida de una deyección ganadera cuando ambas están mezcladas requiere habitualmente instalaciones complejas, a las que posteriormente nos referiremos. Pero sin embargo, esta separación puede resultar muy simple, sólo con la acción de la gravedad, si se realiza antes de que la mezcla se haya completado.

Un ejemplo de esta segunda situación se da en las granjas de vacuno de leche con cubículos en los que el estiércol de los pasillos se arrastra hasta el estercolero por

---

<sup>5</sup> *...mucho antes de que la conservación del estiércol mereciera la atención de químicos y bacteriólogos, ya el espíritu de observación de generaciones de agricultores...había permitido llegar a la conclusión de que disponiéndolo en montones compactos, sobre emplazamientos impermeables y regados periódicamente con los líquidos que de ellos se escurrían, se convertían en un abono infinitamente mejor que abandonándolo de manera desordenada...*

*.. conservar debe consistir ante todo en evitar pérdidas que afecten tanto a la cantidad como a la calidad del producto....por ello la iniciación de su conservación ha de tener lugar inmediatamente después que las deyecciones salen del cuerpo de los animales...*

Los estiércoles pecuarios y su conservación. 1945. J.M.Soler.

<sup>6</sup> Alguna vez también se ha de humectar la deyección ganadera. Un ejemplo de ello podría ser el caso de la gallinaza seca, que no sufre transformaciones microbianas intensas hasta que no se humedece.

medios mecánicos<sup>7</sup> (rastrillos, palas acopladas al tractor). Durante la operación de limpieza una parte de la fracción líquida suele ir delante de la fracción sólida, de manera que si se pasa por un tamiz grueso situado al final del pasillo, se separa sin dificultades (**figura 2**). De esta manera se obtiene una fracción sólida, menos húmeda y fácilmente manejable como estiércol, y un volumen muy pequeño de líquido —alrededor del 10% del total— que se maneja como purín. Si por el contrario, las dos fracciones llegan al estercolero y se mezclan, nos podemos encontrar con un material pastoso que puede ser difícil de manipular con la maquinaria propia del manejo del estiércol, o al que se tendrá que añadir agua y removerlo enérgicamente si se quiere manejar como purín.

**Figura 2.** Tamiz formado por un entramado de viguetas en T separadas unos 3-4 cm, y situado al final del pasillo. La fracción líquida pasa a una fosa situada bajo el tamiz y está separada por un muro del estercolero, donde cae la fracción sólida



#### **4.1.2 Separaciones físicas sólido/líquido con aportación energética**

Cuando tenemos estiércoles muy pastosos, o incluso purines, también es posible lograr una separación sólido/líquido considerable con equipos instalados en la misma explotación ganadera (**figura 3**). Ahora bien, en este caso se ha de recurrir a sistemas físicos que requieren aportación energética, como son la centrifugación,

---

<sup>7</sup> No es el caso de las instalaciones en las que los estiércoles se arrastran con agua y se obtiene un purín.



el tamizado a presión, etc.<sup>8</sup>, complementados a veces con floculantes químicos para incrementar el rendimiento de la deshidratación.

La deshidratación mediante estos sistemas mecánicos:

- i) Tiene un coste de instalación y mantenimiento importante.
- ii) Comporta un gasto energético también significativo.
- iii) La suma de los volúmenes de los productos resultantes —deshidratado y fracción líquida— es superior a la del residuo inicial. Este hecho, que no es nada intuitivo, se debe a que la fracción sólida que se obtiene es porosa y tiene una densidad muy inferior a la del material original<sup>9</sup>.

Por tanto, este tipo de deshidratación sólo ha de plantearse si va a comportar una mejora, ya sea para el posterior proceso de transformación del estiércol o en la calidad del producto final, o si sirve para abaratar costes cuando la deyección ganadera se ha de gestionar fuera de la misma explotación.

**Figura 3.** Tamiz para la deshidratación de purines (explotación ganadera Canalias, en la Vall de Bianya)



<sup>8</sup> Estos sistemas están descritos detalladamente en la *Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas (Flotats y cols.-2004; Dep. de Medio Ambiente y Vivienda/ Dep. de Agricultura, Ganadería y Pesca/ Centro UdL-IRTA/Agencia de Residuos de Cataluña)*.

<sup>9</sup> La situación es comparable a la de una esponja empapada en agua: cuando se la exprime se obtiene un volumen de líquido además del de la propia esponja.

## 4.2 TRANSFORMACIONES MICROBIOLÓGICAS

En las deyecciones ganaderas, tanto sólidas como líquidas, se producen de forma espontánea transformaciones microbiológicas debidas a su alto contenido de materia orgánica degradable y de elementos esenciales. Sólo en algunas pocas y raras situaciones, no tienen lugar, al menos temporalmente, estas transformaciones, ya sea por la presencia de inhibidores microbianos, por un exceso de sequedad, o por pHs extremos.

Para un determinado tipo de deyección ganadera, los factores que más afectan a la velocidad de las transformaciones microbianas —entendiendo por velocidad el ritmo de descomposición de la materia orgánica— son la temperatura y la presencia de oxígeno.

### 4.2.1 El efecto de la temperatura

A mayor temperatura, mayor actividad microbiana; al menos hasta que se alcance un umbral alrededor de los 50 °C a partir del cual disminuye esta actividad, primero lentamente y después drásticamente hasta que cesa por encima de los 60-65 °C. Esta parada es temporal, ya que la actividad se reinicia cuando vuelve a bajar la temperatura.

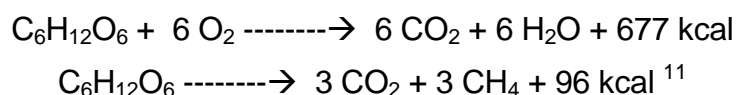
Se ha de indicar que en cada rango de temperaturas intervienen diferentes grupos de microorganismos.

### 4.2.2 El efecto de la presencia de oxígeno (O<sub>2</sub>)

En el interior de la masa de deyección ganadera puede haber mayor o menor presencia de oxígeno, e incluso puede haber ausencia total del mismo. Y al igual que en el caso de la temperatura, los microorganismos que intervienen en la descomposición y en la transformación de la materia orgánica del residuo son diferentes según cual sea la concentración de oxígeno; en función de la mayor o menor riqueza de este elemento se hablará de procesos ricos o pobres en oxígeno.

La velocidad de descomposición de la materia orgánica es siempre más elevada cuando la presencia de oxígeno es abundante y no es un factor limitante (**figura 4**).<sup>10</sup>

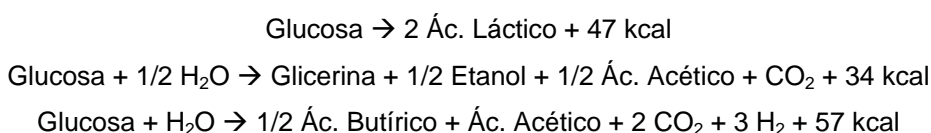
De la misma manera, el rendimiento energético por unidad de materia orgánica descompuesta también es superior en presencia de oxígeno:



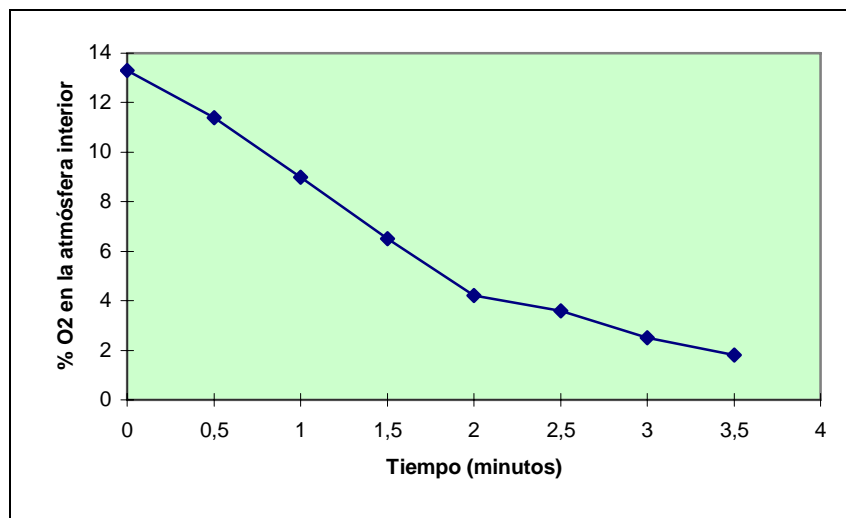
---

<sup>10</sup> Se considera que la actividad microbiana no esta limitada por el O<sub>2</sub> cuando en la atmósfera interior de una masa orgánica en descomposición, su concentración supera el 10%; al aire libre esta concentración está ligeramente por encima del 20%.

<sup>11</sup> Además de lo que aquí se indica, existen muchos otros procesos microbianos que tiene lugar en ausencia de oxígeno (fermentaciones), como por ejemplo los siguientes:



**Figura 4.** Velocidad de descomposición de materia orgánica, medida por la velocidad de consumo de O<sub>2</sub>, en función de su concentración en la atmósfera interior de una masa de corteza y lodo de depuradora (medidas tomadas a 80 cm de profundidad) (Saña-2004)



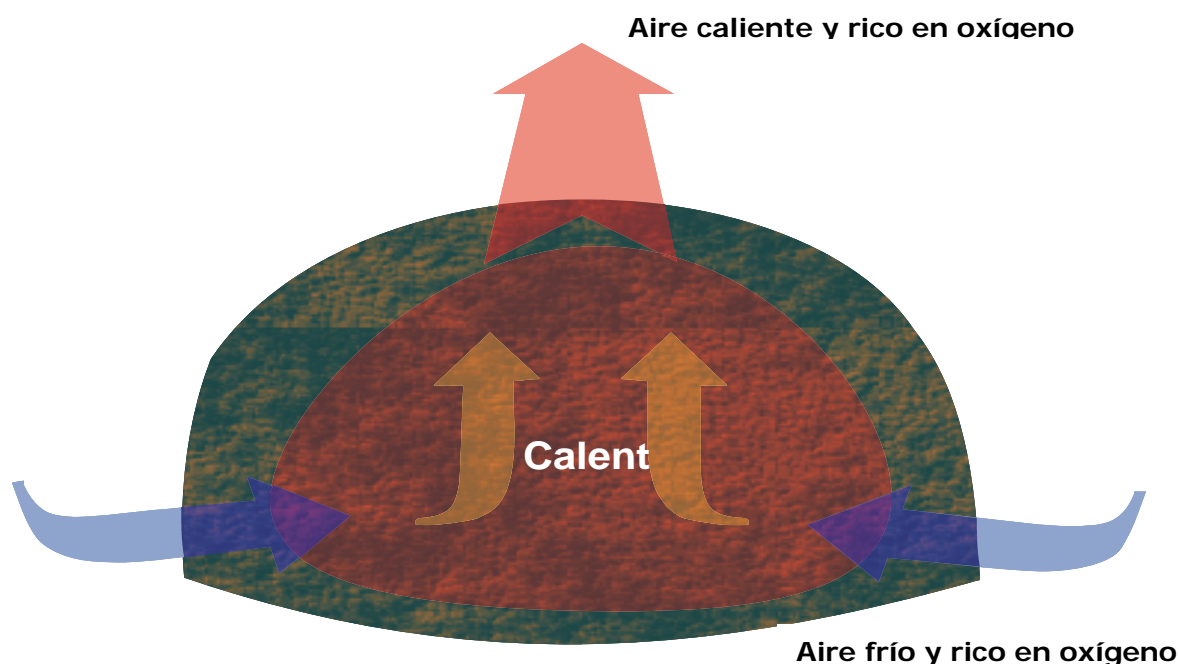
La pendiente de la recta —que expresa la velocidad del proceso— es mayor cuando la concentración de O<sub>2</sub> es alta (superior al 4%) que cuando está por debajo de este valor.

La presencia de oxígeno en el interior de la masa de la deyección ganadera depende de:

- i) Su porosidad. A mayor porosidad, más facilidad para la circulación del aire por la masa y por tanto de renovación de su atmósfera interior. En caso de tener deyecciones ganaderas muy pastosas o líquidas, en las que la porosidad es nula, la presencia de oxígeno está muy comprometida, ya que de forma espontánea sólo puede penetrar en la masa por difusión desde la superficie.
- ii) El gradiente de temperatura entre su interior y su exterior. Ya se ha comentado que la descomposición de la materia orgánica genera energía y que una parte de ésta se manifiesta en forma de calor. En consecuencia, la masa de la deyección ganadera se calienta, el aire caliente más o menos pobre en oxígeno de su interior se eleva por tener menor densidad y es substituido por aire fresco —oxigenado— y más frío del exterior, que entra a través de la superficie del montón de estiércol.<sup>12</sup> Este es un efecto similar al tiro de las chimeneas, y por ello le llamaremos, para identificarlo, «efecto chimenea» (**figura 5**).

<sup>12</sup> Evidentemente este proceso no puede producirse en un purín o en un estiércol muy pastoso ya que no existen poros por donde pueda circular el aire, tanto el gastado como el fresco.

**Figura 5.** Representación del efecto chimenea (dibujo O. Huerta)



La combinación entre el efecto chimenea y la abundancia y tamaño de poros en la pila de estiércol proporciona un caudal de aire circulando por su interior, que puede lograr que se establezcan condiciones más o menos aerobias, según cual sea la velocidad de consumo de oxígeno por los microorganismos. En caso que la demanda de oxígeno no pueda ser cubierta por el caudal de aire impulsado por el efecto chimenea, se tendrá que recurrir a ventilaciones forzadas para mantener las condiciones aerobias.

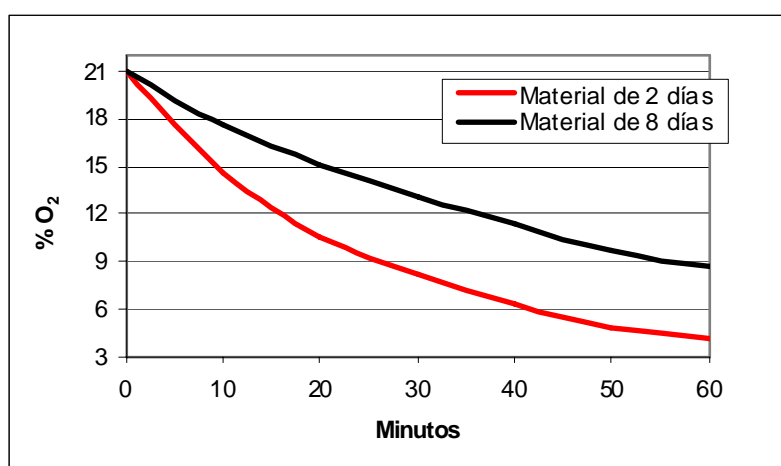
Se ha de apuntar aquí —y más adelante se insistirá en ello— que los volteos mecánicos de una deyección ganadera no necesariamente aseguran el mantenimiento de condiciones aerobias, porque mientras el oxígeno de su interior se agota durante las primeras semanas en minutos o como mucho en pocas horas (**figuras 4 y 6**), la frecuencia de los volteos difícilmente será superior a uno por semana, aún disponiendo de maquinaria adecuada<sup>13</sup>. La **figura 7** pone de manifiesto este hecho: mientras la pila de estiércol asistida por aireación forzada mantiene en su interior niveles elevados de oxígeno —por encima del 10%<sup>14</sup>— casi desde el primer día, en la pila volteada no se logra lo mismo hasta cerca de los 80 días de proceso. La **figura 8** muestra también la mayor efectividad de la aireación forzada: el pico de temperatura inicial es más brusco —síntoma de que hay una mayor actividad microbiana— y el proceso puede empezar a considerarse finalizado a los 80 días, cuando ya no se puede mantener la temperatura de la masa por encima de los 40 °C.

<sup>13</sup> Existen máquinas volteadoras autopropulsadas o que van acopladas al tractor, que realizan bien y rápidamente las operaciones de volteo. Pero estos equipos no suelen ser habituales en una explotación ganadera que, como mucho, dispone de palas autopropulsadas o acopladas al tractor, mucho menos eficientes.

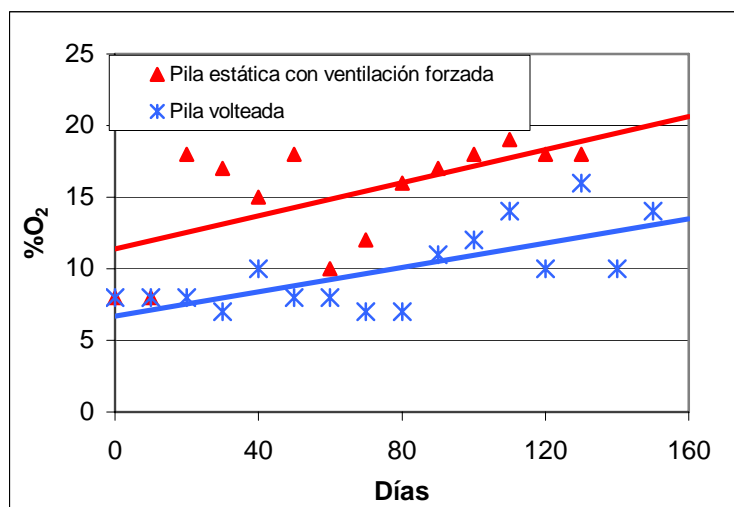
<sup>14</sup> Se considera que una concentración de O<sub>2</sub> superior al 10% ya no es limitante para la actividad de los microorganismos aerobios.

Otra cuestión es que el volteo favorezca la instauración de un efecto chimenea más intenso, sobretodo si la deyección ganadera tiende a compactarse por su propio peso; en esta situación es posible que las condiciones aerobias se establezcan antes en el interior de la pila que si ésta no se volteara. La **figura 8** confirma estos comentarios: mientras que la pila de estiércol no volteada tarda casi 30 días en activarse —aparición del pico de temperatura— y al cabo de 160 días aún mantiene una temperatura por encima de los 40 C —síntoma de una actividad microbiana bastante elevada, es decir, de una abundante presencia de materia orgánica descomponible—, la pila volteada se activa en unos 10 días y al cabo de 130 días puede darse el proceso por acabado —temperatura de la masa muy baja.

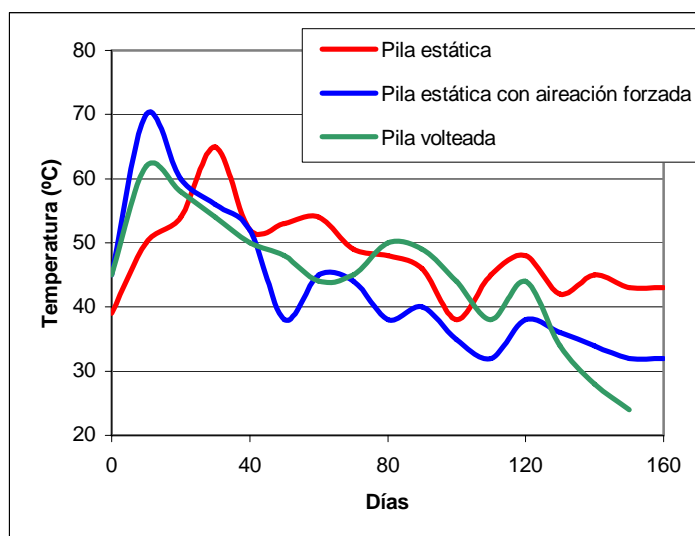
**Figura 6.** Variación de los niveles de oxígeno en el interior de un residuo orgánico de 2 y 8 días de edad, después de un volteo (Pérez *et al.*-1999)



**Figura 7.** Evolución a lo largo del tiempo de la concentración de oxígeno en el interior de dos pilas del mismo estiércol, una estática con aireación forzada y otra sometida a frecuentes volteos (Càceres-2003)



**Figura 8.** Perfiles de temperatura de 3 pilas del mismo estiércol sometidas a diferentes manipulaciones (Lloreda-2004)



## 5. EL COMPOSTAJE

Cuando nos proponemos mantener unas concentraciones de oxígeno y unas temperaturas óptimas para la actividad microbiana con el objetivo de reducir al máximo el tiempo que tarda un estiércol en transformarse en un material estabilizado y en un abono de calidad, estamos haciendo lo que se llama *proceso de compostaje*.

Aunque el compostaje es tan antiguo como la agricultura, es una tecnología vigente por la eficiencia que ha mostrado en el tratamiento de residuos orgánicos sólidos. Esta vigencia ha impulsado a conocer sus fundamentos con mayor profundidad, lo que ha permitido sistematizar y optimizar su aplicación a diferentes residuos y situaciones.

El compostaje puede ser considerado como una biotecnología ya que supone una explotación industrial del potencial de los microorganismos. También puede considerarse como una ecotecnología dado que permite retornar al suelo la materia orgánica y los nutrientes vegetales, introduciéndolos nuevamente en los ciclos biológicos.

A pesar de que el proceso de compostaje tiene un fundamento muy sencillo, es muy robusto y también muy versátil, puede aplicarse a muchos tipos de materiales y mezclas, a escalas de trabajo muy distintas y empleando equipos muy o nada sofisticados, es preciso entenderlo para poder controlarlo y aprovechar al máximo sus posibilidades.

El compostaje reduce el volumen y la masa de los residuos,<sup>15</sup> facilita su almacenaje, permite un aprovechamiento agrícola mejor y más flexible, y minimiza el riesgo sanitario inherente a todas las operaciones anteriores. Esto permite

<sup>15</sup> Lo que no disminuye, al menos de forma significativa, con el proceso de compostaje es la masa de elementos fertilizantes —N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, etc.— contenida en el estiércol. Y como el volumen de éste sí se reduce con el proceso, el compost que se obtiene tiene mayor concentración de nutrientes que el estiércol del que procede.

realizar una verdadera gestión del uso de los estiércoles: no es necesario **tirarlos** al campo porque molestan, sino que puede plantearse una aplicación enfocada a mejorar la fertilización —ahorro de abonos minerales— y el suelo —ahorro de agua—, y en ciertos casos, a reducir el uso de plaguicidas.

## 5.1 VENTAJAS DEL COMPOSTAJE

El compostaje de las deyecciones ganaderas comporta, entre otras, las ventajas siguientes:

- i) Reduce el espacio necesario para el almacenamiento, porque reduce la masa y el volumen.
- ii) En ocasiones resulta menos costoso que otras alternativas, especialmente si se considera todo el ciclo de la deyección ganadera, desde la granja hasta el campo.
- iii) El producto obtenido —el compost— genera menos malos olores, tanto durante el almacenamiento como en la aplicación al campo, que el estiércol fresco. Esto implica menos molestias al vecindario.
- iv) Mejora el control de las moscas (mejora las condiciones de higiene del ganado).
- v) Mejora el control de las malas hierbas (permite reducir el uso de pesticidas).
- vi) El compost es más fácil de manejar y de distribuir.
- vii) Permite reducir la frecuencia de aplicación, ya que el compost se comporta como un fertilizante de liberación lenta.
- viii) Amplía el abanico de potenciales usuarios.
- ix) Admite el tratamiento conjunto con otros restos orgánicos de la misma explotación ganadera.

## 5.2 REQUISITOS PARA EL COMPOSTAJE

¿Qué se necesita para compostar un residuo ganadero?

- i) Que tenga sentido hacerlo. Es decir, que nos interese lograr alguna de las ventajas que comporta el proceso que antes se han expuesto.
- ii) Tener una deyección ganadera compostable, sea sola o mezclada con otros materiales de características complementarias (ver apartado 7), de los que también se pueda disponer fácilmente.
- iii) Disponer del espacio que requiere el proceso en sí y también el almacenaje del producto final, espacio que a menudo puede ser el mismo que actualmente se destina al estercolero.
- iv) Que la superficie destinada al proceso esté pavimentada.
- v) Se recomienda que esta superficie esté cubierta si la pluviometría de la zona es alta.
- vi) Que los responsables del proceso estén convencidos y motivados.
- vii) Disponer de un mínimo de maquinaria, que puede variar en función de la opción escogida para el proceso —aireación, volteo, etc.—, pero que es

habitual en la mayoría de explotaciones ganaderas. En todo caso, la más costosa y de uso más esporádico se podría alquilar.

- viii) Tener una salida para el producto, ya sea en el ámbito de la misma explotación, si no hay excedentes, o en un mercado externo, en caso de que existan estos excedentes.

### 5.3 CAMBIOS QUE COMPORTA EL COMPOSTAJE

En las siguientes figuras se representa la evolución de algunos parámetros de caracterización de un deshidratado de estiércol de vaca durante su compostaje, que sirven para ejemplarizar los cambios que comporta este proceso en una deyección ganadera:

- i) La **figura 9** presenta la típica evolución de la temperatura, con una primera etapa con temperaturas muy altas, que van decreciendo a medida que también lo hace la actividad microbiana al escasear la materia orgánica degradable. En esta misma figura se muestra el progresivo secado del material debido al calor generado en el proceso.
- ii) La **figura 10** pone de manifiesto la importante reducción de volumen que se produce durante el proceso, que se estabiliza cuando el volumen se ha reducido aproximadamente a la tercera parte del original.
- iii) La **figura 11** muestra la desaparición de materia orgánica que tiene lugar a lo largo del compostaje debida a la actividad de los microorganismos<sup>16</sup>. Así mismo la **figura 12** pone de manifiesto que la materia orgánica que queda es cada vez más estable o resistente a la degradación microbiana.<sup>17</sup>
- iv) En la **figura 13** se presenta la evolución de diferentes formas de N<sup>18</sup> y es interesante comentar lo siguiente:
  - La concentración de N aumenta a lo largo del proceso porque las pérdidas de N por volatilización en forma de amoníaco son pequeñas y porcentualmente muy inferiores a la pérdida de masa que se produce por la descomposición de la materia orgánica.<sup>19</sup> Por este motivo, el compostaje no puede ser considerado un tratamiento de reducción del nitrógeno de las deyecciones ganaderas.

---

<sup>16</sup> Como consecuencia de la forma de expresar los datos, la **figura 11** podría dar a entender que desaparece muy poca materia orgánica durante el compostaje. Pero si se realiza el correspondiente balance de masas —materia orgánica que queda al final respecto a la que había al inicio— se constata que la descomposición es muy importante. Por tanto, en este ejemplo concreto, al final queda algo menos de la tercera parte de la materia orgánica inicial.

<sup>17</sup> El llamado *grado de estabilidad* cuantifica la fracción de materia orgánica que previsiblemente es resistente a la degradación microbiana. Esta fracción no es que no sea biodegradable, sino que su vida media es del orden de meses o años, mientras que la de la fracción orgánica degradable es de días o, como mucho, de semanas.

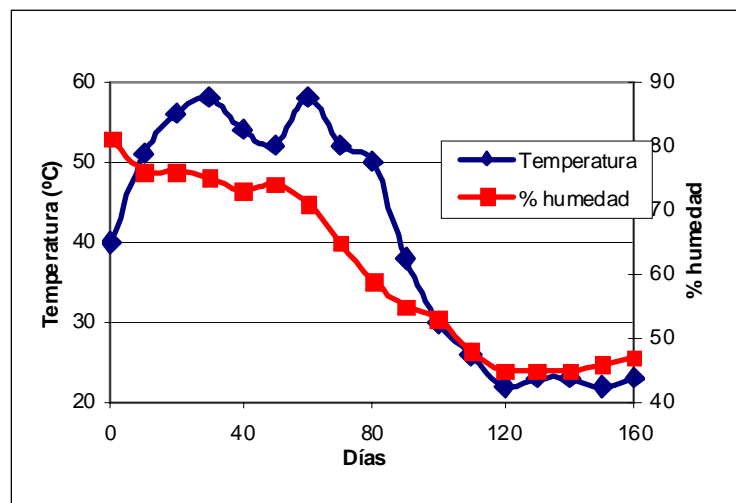
<sup>18</sup> La relación C/N es el cociente entre la materia orgánica de un residuo, expresada como carbono, y su nitrógeno.

<sup>19</sup> Tal como se comentará posteriormente (capítulo 7), las pérdidas de N por volatilización en forma de NH<sub>3</sub> durante un compostaje, son reducidas cuando el material original tiene relaciones C/N superiores a 30-40, pero con relaciones inferiores estas pérdidas son sustanciales.



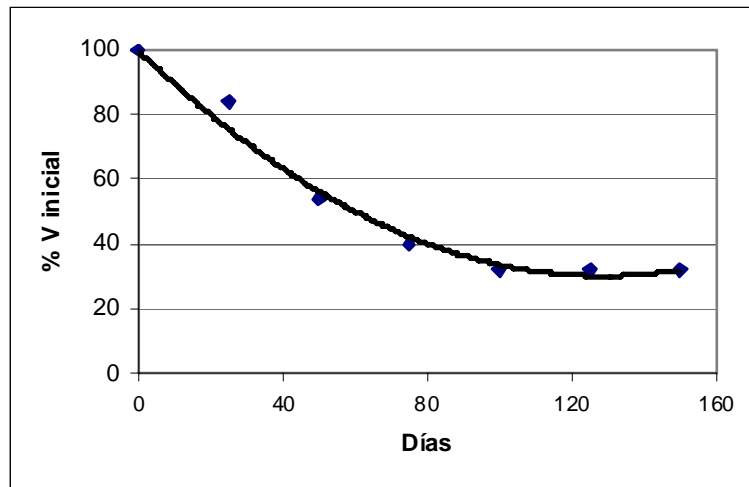
- El N que queda se va integrando progresivamente en la fracción de la materia orgánica más difícilmente degradable. Por tanto, el compost bien acabado se comporta como un abono nitrogenado de liberación lenta.
  - Hacia el final del proceso, cuando la materia orgánica del compost ya está muy estabilizada, en el interior de la pila se dan las condiciones para que el nitrógeno amoniacal pueda pasar a nitrato<sup>20</sup>.
- v) En las **figuras 14 y 15** se muestra la evolución del pH y de la salinidad, esta última expresada como conductividad eléctrica:
- La evolución del pH es de explicación compleja, pero está relacionada con la generación de amoníaco en las primeras etapas del proceso y la posterior incorporación de éste a la materia orgánica resistente a la degradación, así como a la formación de nitratos en etapas muy avanzadas del proceso.
  - El incremento de la salinidad es mucho más intuitivo: en la medida que va desapareciendo masa por la descomposición de la materia orgánica y por la evaporación de agua, el material se va concentrando en sales.

**Figura 9.** Evolución de la temperatura y la humedad de la masa durante el compostaje de una pila, volteada periódicamente, de deshidratado de purín de vaca (Càceres-2003)

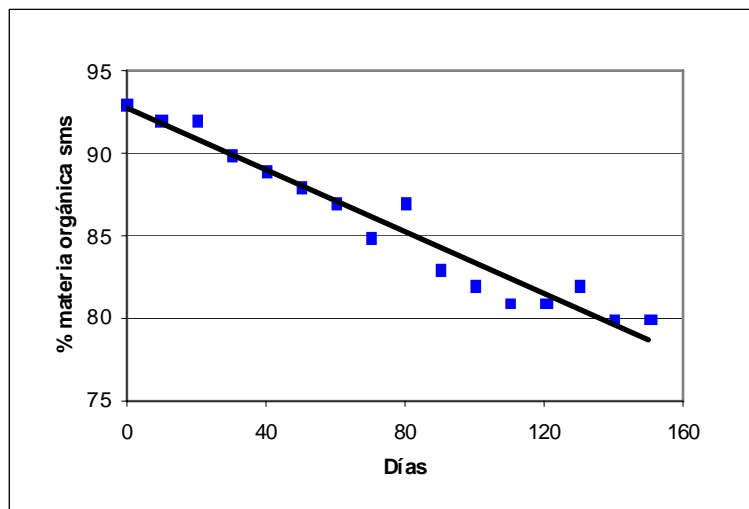


<sup>20</sup> Aunque parezca una cantidad ínfima, el nitrato presente en el producto final representa en este ejemplo casi un 5% del nitrógeno total.

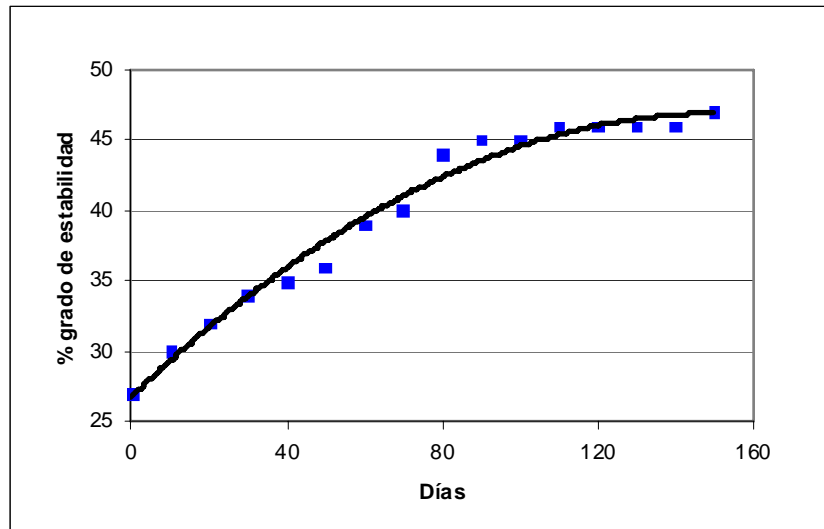
**Figura 10.** Reducción del volumen durante el compostaje de una pila, volteada periódicamente, de deshidratado de purín de vaca (Càceres-2003)



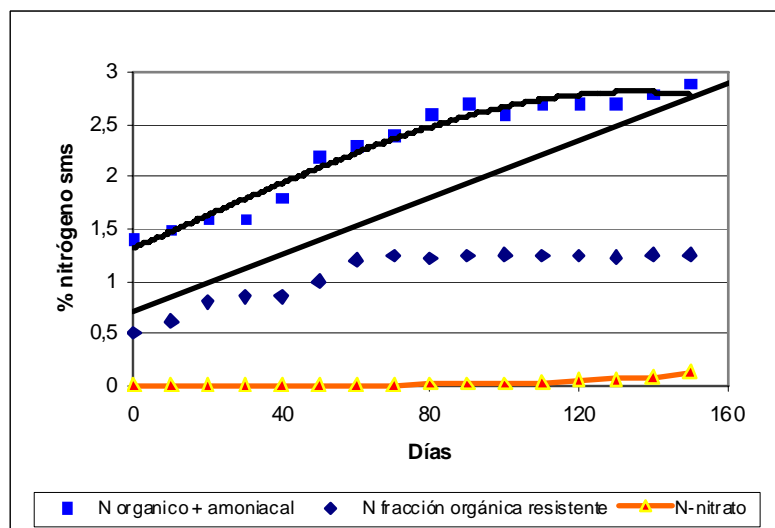
**Figura 11.** Disminución de la concentración de materia orgánica, expresada sobre muestra seca, durante el compostaje de una pila, volteada periódicamente, de deshidratado de purín de vaca (Càceres-2003)



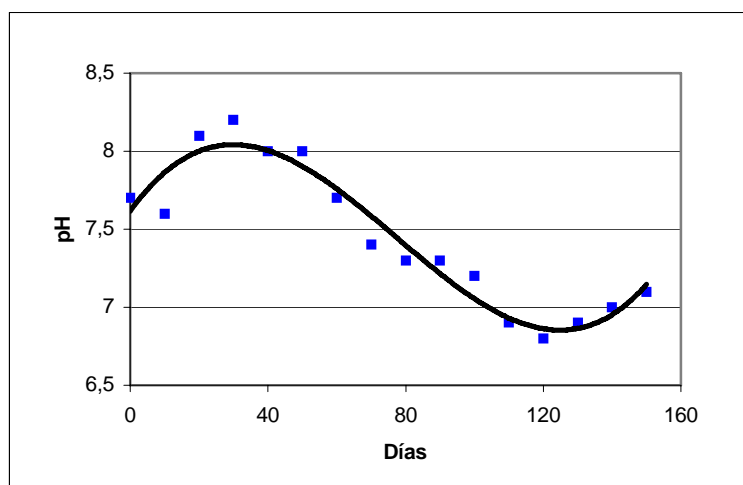
**Figura 12.** Evolución del grado de estabilidad de la materia orgánica de un deshidratado de purín de vaca durante su compostaje en una pila volteada periódicamente (Càceres-2003)



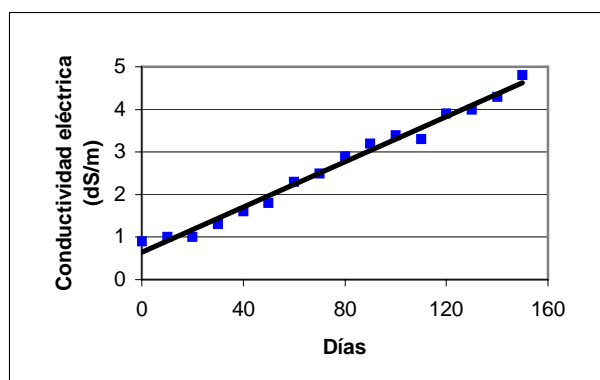
**Figura 13.** Variación del contenido de nitrógeno total, nitrógeno difícilmente biodegradable y nitrógeno nítrico de un deshidratado de purín de vaca durante su compostaje en una pila volteada periódicamente (Càceres-2003)



**Figura 14.** Evolución del pH de un deshidratado de purín de vaca durante su compostaje en una pila volteada periódicamente. (Càceres-2003)

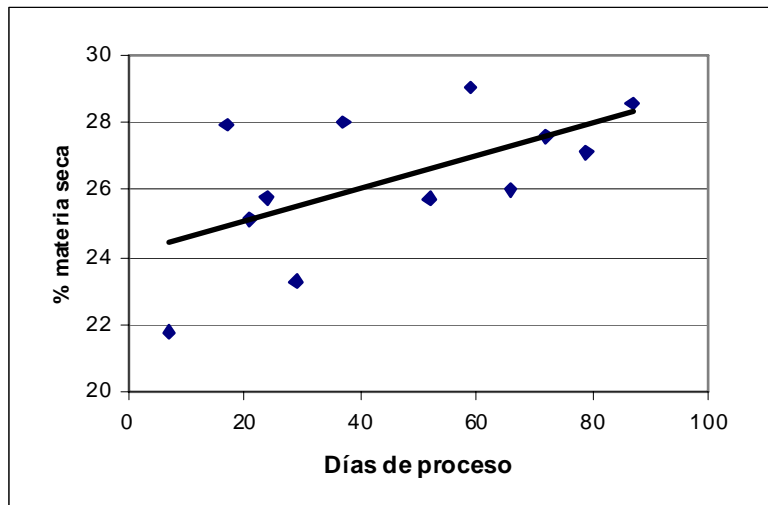


**Figura 15.** Evolución de la salinidad, expresada como conductividad eléctrica, de un deshidratado de purín de vaca durante su compostaje en una pila volteada periódicamente (Càceres-2003)

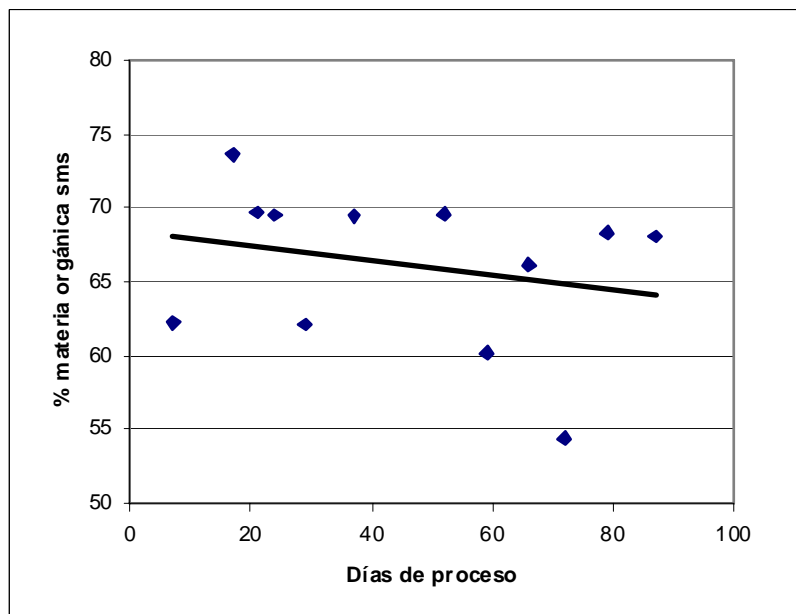


Las **figuras 16, 17, 18, 19 y 20** representan respectivamente la evolución de la materia seca, la materia orgánica, el contenido de nitrógeno, el grado de estabilidad y la relación C/N de un estiércol de vacuno durante su compostaje, en el que fue sometido a volteos frecuentes. En líneas generales, estos resultados confirman los del ejemplo anterior.

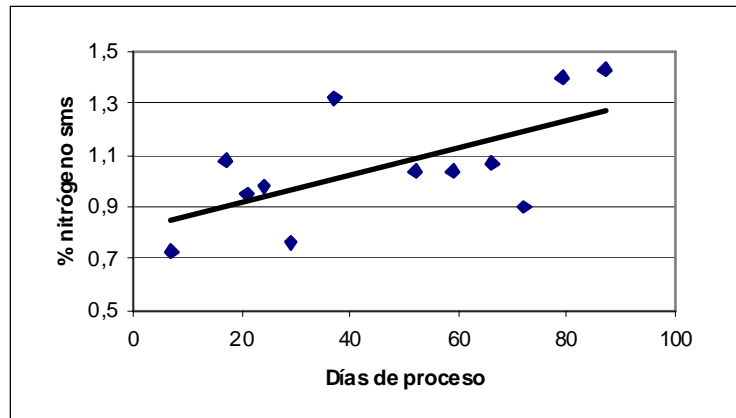
**Figura 16.** Evolución de la materia seca de un estiércol de vaca durante su compostaje en una pila volteada periódicamente (Comas-1980)



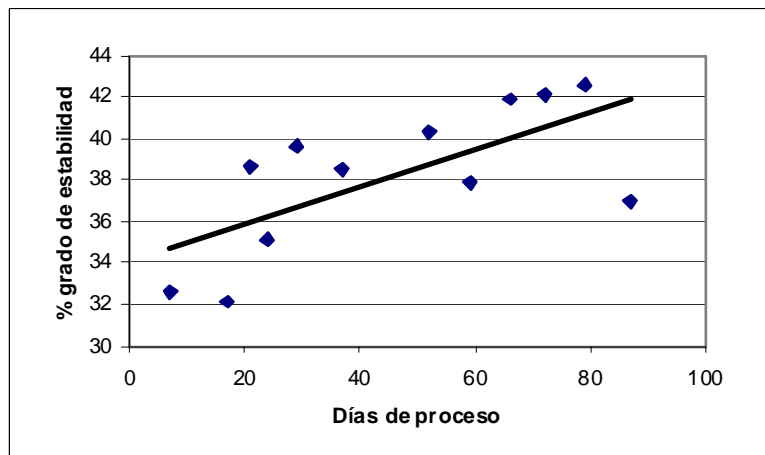
**Figura 17.** Evolución de la materia orgánica de un estiércol de vaca durante su compostaje en una pila volteada periódicamente (Comas-1980)



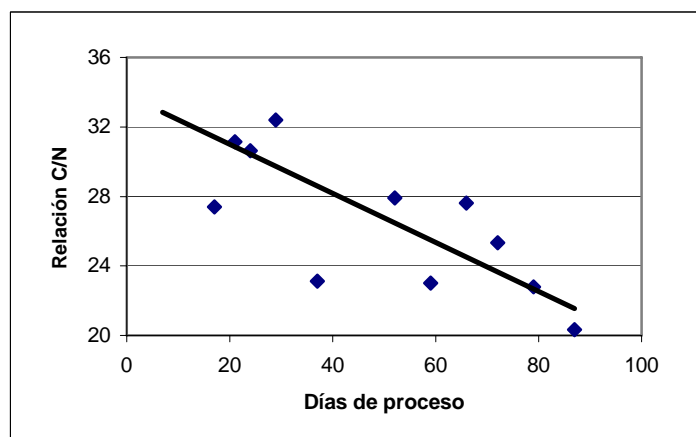
**Figura 18.** Evolución del contenido de nitrógeno total de un estiércol de vaca durante su compostaje en una pila volteada periódicamente (Comas-1980)



**Figura 19.** Evolución del grado de estabilidad de la materia orgánica de un estiércol de vaca durante su compostaje en una pila volteada periódicamente (Comas-1980)



**Figura 20.** Evolución de la relación C/N de un estiércol de vaca durante su compostaje en una pila volteada periódicamente (Comas-1980)



## 6. SITUACIONES QUE SE PRESENTAN EN EL COMPOSTAJE DE LAS DEYECCIONES GANADERAS

### 6.1 ESTIÉRCOLES MUY PASTOSOS

Hoy en día son habituales las explotaciones ganaderas que generan estiércoles muy pastosos, ya sea por un exceso de agua, por ejemplo, los estiércoles recogidos en patios descubiertos, ya sea porque en el manejo del ganado se utiliza poco lecho, o éste es poco estructurante y absorbente y tiende a compactarse por el mismo peso de los excrementos.

Estos estiércoles, que de forma genérica llamaremos pastosos, casi no tienen porosidad, y en el caso de que existan unos pocos poros en su interior, éstos no están interconectados entre sí, ni con el exterior. Por tanto, el aire no puede penetrar más allá de unos pocos centímetros de su superficie. En consecuencia, las transformaciones que tienen lugar durante su almacenaje, o al menos durante los primeros meses de éste, las realizan microorganismos que puedan actuar sin o con muy poco oxígeno. Se ha comentado anteriormente que este tipo de transformaciones microbianas son lentas y que la velocidad de generación de energía también lo es. Por eso, en este tipo de estiércoles la edad no es sinónimo de evolución, y las características de uno que tenga unos meses de edad puede que difieran poco de las de otro con pocos días, sobretodo si las temperaturas ambientales son frías. Por ello:

- i) Es difícil que se haya logrado la higienización del material porque la poca energía generada se pierde mayoritariamente por la superficie de la pila de estiércol y no consigue elevar su temperatura.
- ii) Es posible que su volumen haya disminuido muy poco porque ni se ha descompuesto suficiente materia orgánica ni prácticamente se ha evaporado agua.

Si queremos que un estiércol pastoso experimente ya de entrada transformaciones aerobias,<sup>21</sup> no queda otro remedio que transformarlo en un material más poroso:

- i) Retirándole agua, por ejemplo, por cualquiera de los sistemas físicos de deshidratación descritos en el apartado 4.1.<sup>22</sup>
- ii) Añadiéndole un material estructurante, como por ejemplo paja<sup>23</sup> o restos forestales.

Ahora bien, hay que preguntarse previamente si es necesario modificar las características físicas del estiércol para que evolucione bajo condiciones aerobias

---

<sup>21</sup> Hablamos de transformaciones al inicio porque es posible que con el paso del tiempo, la acción secante del sol y del viento y la poca actividad microbiana, conviertan un estiércol pastoso en un material lo bastante poroso como para permitir el paso de aire por su interior.

<sup>22</sup> Preferentemente los que no requieran ni instalaciones complejas ni tengan costes adicionales de energía.

<sup>23</sup> La paja no actúa en este caso sólo como estructurante, sino también como material complementario, ya que equilibra la humedad del conjunto absorbiendo el agua del estiércol, lo que por sí mismo ya facilita el paso del aire y aporta carbono, de tal forma que la mezcla adquiere unas características que minimizan las pérdidas de nitrógeno en forma amoniacal que se producen durante la transformación.

en vez de anaerobias. La respuesta depende de diversos factores que comentaremos a continuación:

- i) Dimensiones del estercolero. Por sus características, los estiércoles pastosos son más difíciles de apilar porque fluyen, y si no hay muros de contención no se consigue construir pilas tan elevadas como con un estiércol más estructurado. Además, ya se ha dicho que las transformaciones microbiológicas en ausencia de aire no logran reducciones substanciales de volumen, al menos en un plazo de unos cuantos meses. Por tanto, los estiércoles pastosos generados por un determinado número de cabezas de ganado requieren, al menos a largo plazo, más superficie de estercolero que en el caso de que fueran más esponjosos y pudieran transformarse en condiciones aerobias.<sup>24</sup> Este sobredimensionamiento del estercolero puede representar un coste considerable de construcción si la secuencia de cultivos en los que se aplica el estiércol obliga a mantener largos períodos de almacenamiento.
- ii) Estiércoles higienizados. Si las características de los cultivos que se abonan con el estiércol y las técnicas de cultivo que se practican minimizan los inconvenientes que puedan derivarse de la presencia de malas hierbas en el estiércol, no resulta evidente que haya que forzar las condiciones de transformación aerobia que aseguren su higienización. Lo mismo podría decirse cuando el estiércol no se aplica en pastos y no existe un riesgo claro de transmisión de patologías al ganado. Pero en otras situaciones —prados de diente, cultivos de huerta, o cultivos en que no se utilicen herbicidas—, asegurar la higienización del estiércol puede ser un factor para favorecer su valorización.
- iii) Distancia de los campos donde aplicarlos. Éste es probablemente el factor más decisivo. Si los campos son cercanos y no hay otro factor que lo desaconseje, puede que sea aceptable seguir manipulando estiércoles pastosos. Pero si los campos están lejos y los costes de aplicación —en tiempo y en maquinaria— son importantes, posiblemente resulte más económico incrementar las cantidades de lecho de ganado, aunque éste se haya de adquirir, para conseguir reducciones importantes de volumen en el producto final. En todo caso, se ha de hacer un cálculo de costes bien ajustado, como los que se indican en los ejemplos de la **tabla 9**.
- iv) Exportación de nutrientes. Cuando el ganadero tiene un excedente de estiércol —excedente de nitrógeno— y ha de exportarlo a tierras ajenas, habitualmente alejadas, mediante transportistas autorizados, o ha de llevarlo a una instalación externa de tratamiento, resulta aún más importante potenciar todas aquellas transformaciones que puedan representar obtener grandes reducciones de volumen.

---

<sup>24</sup> En el apartado que hemos dedicado a la estimación de la composición de los estiércoles por la vía de los balances, se recogen dos casos reales bien diferentes de explotaciones de vacuno de leche con estructuras muy similares. La explotación del ejemplo 1, con estiércol muy pastoso que se transforma muy poco durante los seis meses de su almacenamiento, necesita 5,6 m<sup>3</sup> de capacidad de estercolero por cada cabeza de ganado. En cambio, la del ejemplo 2, con un estiércol que contiene más paja y que experimenta una intensa degradación microbiana durante el mismo período de seis meses de almacenaje, requiere únicamente 1,6 m<sup>3</sup> de estercolero por cabeza.



- v) Inexistencia de riesgo de pérdidas importantes de N. En residuos con relaciones C/N bajas, las pérdidas de N en forma amoniacal son más elevadas bajo condiciones aerobias que anaerobias. Ahora bien, al estructurar un estiércol pastoso para su compostaje utilizando materiales como la paja, aumenta la relación C/N de la mezcla y en consecuencia, las pérdidas de N pueden ser inferiores.
- vi) Factores económicos, como el coste de los materiales complementarios, imprescindibles para cambiar las características de los estiércoles pastosos, o la amortización y los costes de funcionamiento de los equipos de deshidratación.

En la **tabla 9** se muestra un ejemplo que recoge algunos —no todos— de estos factores que se han de tener en cuenta. De él consideramos interesante destacar lo siguiente:

- i) A pesar de que la aplicación directa al campo es la más económica en cuanto a horas de trabajo, las condiciones climáticas y los ciclos de los cultivos no permiten que se realice siempre.
- ii) No se han considerado los factores económicos: el coste de la paja en el caso del estiércol compostado o la inversión en superficie suplementaria de estercolero en el caso de los estiércoles pastosos.
- iii) El importante ahorro de horas de trabajo y los costes inferiores —económicos y energéticos— de la aireación forzada respecto al volteo<sup>25</sup> (**tabla 10**). Las horas destinadas al volteo pueden reducirse espectacularmente si, en vez de hacerlo con palas acopladas al tractor, se utilizan equipos diseñados para esta función. Sin embargo, el coste de estos equipos difícilmente podrá ser amortizado por una explotación de tamaño medio,<sup>26 27</sup> y en cualquier caso es siempre superior al de la aireación forzada.
- iv) La confirmación de la decisiva influencia de la distancia de los puntos de aplicación, tal como se había avanzado anteriormente.
- v) No se han considerado otros factores que no son directamente cuantificables como la ausencia de malos olores o de malas hierbas en el compost, su mejor calidad como estructurante del suelo, el suministro más gradual de N, etc. En determinadas circunstancias, estos aspectos más cualitativos pueden hacer que nos decantemos hacia la opción del compostaje aunque no sea la más atractiva desde el punto de vista económico.

---

<sup>25</sup> El gasto energético de la aireación forzada resulta del orden de un kWh por tonelada de deyección ganadera compostada.

<sup>26</sup> Hay equipos volteadores autopropulsados o que van acoplados al tractor. La volteadora autopropulsada de menor tamaño que existe en el mercado haría la operación en 0,5 horas —8 horas en total para los 16 volteos previstos en el ejemplo—, pero representa una inversión de unos 22.000 € y su coste de mantenimiento no es menospreciable. Se ha de considerar que el paso de estos equipos durante el compostaje mejora notablemente la homogeneidad del producto final, característica muy valorada si el compost se destina a jardinería.

<sup>27</sup> Estos equipos se podrían compartir entre varias explotaciones cercanas y con problemáticas similares, siempre que se respeten los requisitos que exige la sanidad animal.

**Tabla 9.** Comparación de los tiempos totales de trabajo necesarios para la manipulación de estiércoles pastosos o de los mismos estiércoles compostados por volteo o por ventilación, previa adición de paja, en una determinada explotación agropecuaria

**CASO A:** Campos cercanos a la granja

PARÀMETRO-OPERACIÓN	Estiércol pastoso aplicado directamente al campo	Estiércol pastoso almacenado antes de aplicarse al campo	Compostado por volteo	Compostado por aireación forzada
Cantidad (m <sup>3</sup> )	163	163	217 <sup>1</sup>	217 <sup>1</sup>
Construir las pilas en el estercolero	0 h	8 h	11 h <sup>2</sup>	11 h <sup>2</sup>
Volteo (uno por semana durante 16 semanas)	0 h	0 h	64 h <sup>3</sup>	4 h <sup>4</sup>
Volumen final (m <sup>3</sup> )	163	163	72 <sup>5</sup>	72 <sup>5</sup>
Cargar	3 h	3 h	1,5 h	1,5 h
Esparcir	8 h <sup>6</sup>	8 h <sup>6</sup>	4 h <sup>6</sup>	4 h <sup>6</sup>
Tiempo total (horas)	11 h	19 h	80,5 h	20,5 h

<sup>1</sup> Un 30% más de volumen por la paja añadida para aumentar la porosidad.

<sup>2</sup> Tres minutos por viaje con una pala de 1 m<sup>3</sup> de capacidad.

<sup>3</sup> Una media de tres horas por volteo: más al inicio, porque hay más volumen, y menos al final.

<sup>4</sup> Sólo un volteo a mitad del proceso.

<sup>5</sup> Reducción del volumen a 1/3 por efecto del compostaje.

<sup>6</sup> Treinta minutos por remolque de 10 m<sup>3</sup>.

**CASO B:** Campos lejanos a la granja

PARÀMETRO-OPERACIÓN	Estiércol pastoso aplicado directamente al campo	Estiércol pastoso almacenado antes de aplicarse al campo	Compostado por volteo	Compostado por aireación forzada
Cantidad (m <sup>3</sup> )	163	163	217 <sup>1</sup>	217 <sup>1</sup>
Construir las pilas en el estercolero	0 h	8 h	11 h <sup>2</sup>	11 h <sup>2</sup>
Volteo (uno por semana durante 16 semanas)	0 h	0 h	64 h <sup>3</sup>	4 h <sup>4</sup>
Volumen final (m <sup>3</sup> )	163	163	72 <sup>5</sup>	72 <sup>5</sup>
Cargar	3 h	3 h	1,5 h	1,5 h
Esparcir	16 h <sup>6</sup>	16 h <sup>6</sup>	7 h <sup>6</sup>	7 h <sup>6</sup>
Tiempo total (horas)	19 h	27 h	83,5 h	23,5 h

<sup>1</sup> Sesenta minutos por remolque de 10 m<sup>3</sup>.

**Tabla 10.** Comparación de costes en el manejo de estiércoles compostados por volteo o por aireación forzada del ejemplo anterior

PARÁMETRO-OPERACIÓN	Volteo	Aireación
Hacer pilas <sup>1</sup>	11 * 40 = 440 €	11 * 40 = 440 €
Volteo (1 por semana y 16 semanas)	64 * 40 = 2560 €	4 * 40 = 160 €
Aireación (6 h/d, 0,1 €/kWh y 8 semanas)	0	34 € <sup>2</sup>
<b>Coste total</b>	<b>3.000 €</b> <b>(18,4 €/m<sup>3</sup> estiércol)</b>	<b>600 €</b> <b>(3,7 €/m<sup>3</sup> estiércol)</b>

<sup>1</sup> Las operaciones de tractor se han valorado a 40 €/hora.

<sup>2</sup> Los costes de amortización y mantenimiento de los equipos de aireación son mínimos.

<sup>3</sup> Referido al volumen de estiércol pastoso.

## 6.2 DESHIDRATADOS DE PURINES

En las explotaciones ganaderas de nuestro país también empiezan a ser frecuentes los equipos de deshidratación que, con la aportación de energía,<sup>28</sup> convierten un estiércol pastoso de difícil manejo o un purín en dos fracciones:

- i) Una fracción sólida, que llamaremos *deshidratado*, y que se distingue por una serie de características:
  - Está constituido por partículas de poco tamaño y de aspecto muy homogéneo, ya que la bomba que impulsa el purín o el estiércol pastoso hacia el equipo de deshidratación también los ha de triturar porque si no, éste no funciona adecuadamente.
  - Es un material poroso y permite el paso del aire por su interior.<sup>29</sup>
  - Tiene una buena estructura y se pueden construir pilas de una altura razonable sin que se pierda completamente la porosidad por causa de su propio peso.
- ii) Una fracción líquida o purín, lógicamente menos espesa que el material original por haberse extraído de él la fracción sólida, y también menos concentrada en nutrientes.<sup>30</sup>

### 6.2.1 Interés de la deshidratación

Como siempre, antes de decidir la instalación de un equipo de separación sólido/líquido —o deshidratación—, se ha de haber valorado si ello comportará

<sup>28</sup> Estos sistemas se han descrito en el apartado 4.1.2.

<sup>29</sup> Que permita el paso del aire no significa que de forma espontánea se cree en su interior una atmósfera lo bastante rica en oxígeno como para asegurar un correcto y rápido desarrollo del proceso de compostaje. Al contrario, lo más frecuente es que para asegurar la oxigenación sea necesaria la ayuda de un ventilador que inyecte aire.

<sup>30</sup> La diferencia de composición entre las fracciones sólida y líquida será tanto mayor cuanto más eficiente sea la deshidratación. Así, una fracción sólida con un 40% de materia seca se diferenciará más de la fracción líquida que otra que tan sólo haya conseguido tener el 20% de materia seca.

ventajas en el manejo de las deyecciones ganaderas<sup>31</sup> y/o una reducción en los costes. Describiremos aquí unas cuantas situaciones que podrían —y hemos de remarcar el condicional— justificar la instalación de uno de estos equipos:

- i) Tener una deyección ganadera muy pastosa y de difícil manejo, ya sea como estiércol, ya sea como purín. Un equipo de deshidratación convierte este material en un deshidratado manejable como sólido y en un purín muy diluido. De todas formas, también se ha de contemplar que en estos casos acostumbra a existir una solución más económica que un equipo de estas características, solución que habitualmente se basa en un cambio de manejo de la explotación, por ejemplo, un consumo de lecho de ganado más elevado, que lleve a generar un estiércol claramente sólido.<sup>32</sup>
- ii) La situación de los campos donde se han de aplicar las deyecciones ganaderas. Al realizar la deshidratación, la distribución de los elementos fertilizantes no es homogénea entre el deshidratado y el purín: así, y tal como se puede ver en el ejemplo de la **figura 21**, el primero suele ser más concentrado en nitrógeno que el segundo, al contener mayor fracción sólida. Por tanto, si destinamos el deshidratado a los campos más lejanos —al ser más alta su concentración en N no será necesario aplicar la misma cantidad de elemento— y el purín lo destinamos a los campos más cercanos —al ser más diluido se ha de aplicar más volumen para aportar la misma cantidad de N—, podremos reducir los gastos de transporte y aplicación de forma que resulte rentable un equipo de deshidratación. Y esto es aún más evidente si una explotación ha de exportar o gestionar sus deyecciones ganaderas mediante terceros (transportistas o gestores de residuos).

Las posibilidades de rentabilizar estos equipos de deshidratación mediante la reducción de los costes de transporte y de aplicación al campo de las deyecciones ganaderas aumentan notablemente si la fracción sólida o deshidratado se somete a compostaje: la reducción de masa y de volumen que tiene lugar durante este proceso conduce a un producto final todavía más concentrado. En el ejemplo de la **figura 21** puede observarse que, mientras el deshidratado tal como sale del equipo tiene una concentración de N por unidad de volumen casi igual que la del material original, una vez compostado y madurado tiene una concentración en N que es casi el doble.

Es importante destacar que optar por la deshidratación, sin unas razones claras que la justifiquen, no solamente representa un incremento de costes, sino que también complica el manejo de las deyecciones ganaderas:

- i) Tenemos un equipo extra en la explotación que, además de amortizarlo, requiere un mantenimiento minucioso.<sup>33</sup>

---

<sup>31</sup> Determinados sistemas de manejo de explotaciones ganaderas ya llevan implícito un equipo de deshidratación. Este el caso, por ejemplo, de las granjas de vacuno de leche con limpieza de la nave con agua. Para evitar un consumo excesivo, las aguas de limpieza se reutilizan después de eliminar por deshidratación los excrementos sólidos que contienen.

<sup>32</sup> Recordemos también aquí las separaciones físicas sólido/líquido a base de tamices gruesos y que no requieren mantenimiento ni aportación extra de energía, descritas en el apartado 4.4.1, muy eficientes cuando aún no se ha consumado la mezcla entre orines y excrementos sólidos.

<sup>33</sup> Como ejemplo, para una explotación de 200 vacas de leche con la correspondiente reposición, el coste anual de funcionamiento y amortización de una instalación de deshidratación es de unos 33 €/vaca en producción y año, esto en el supuesto de que la balsa de purines ya esté construida.

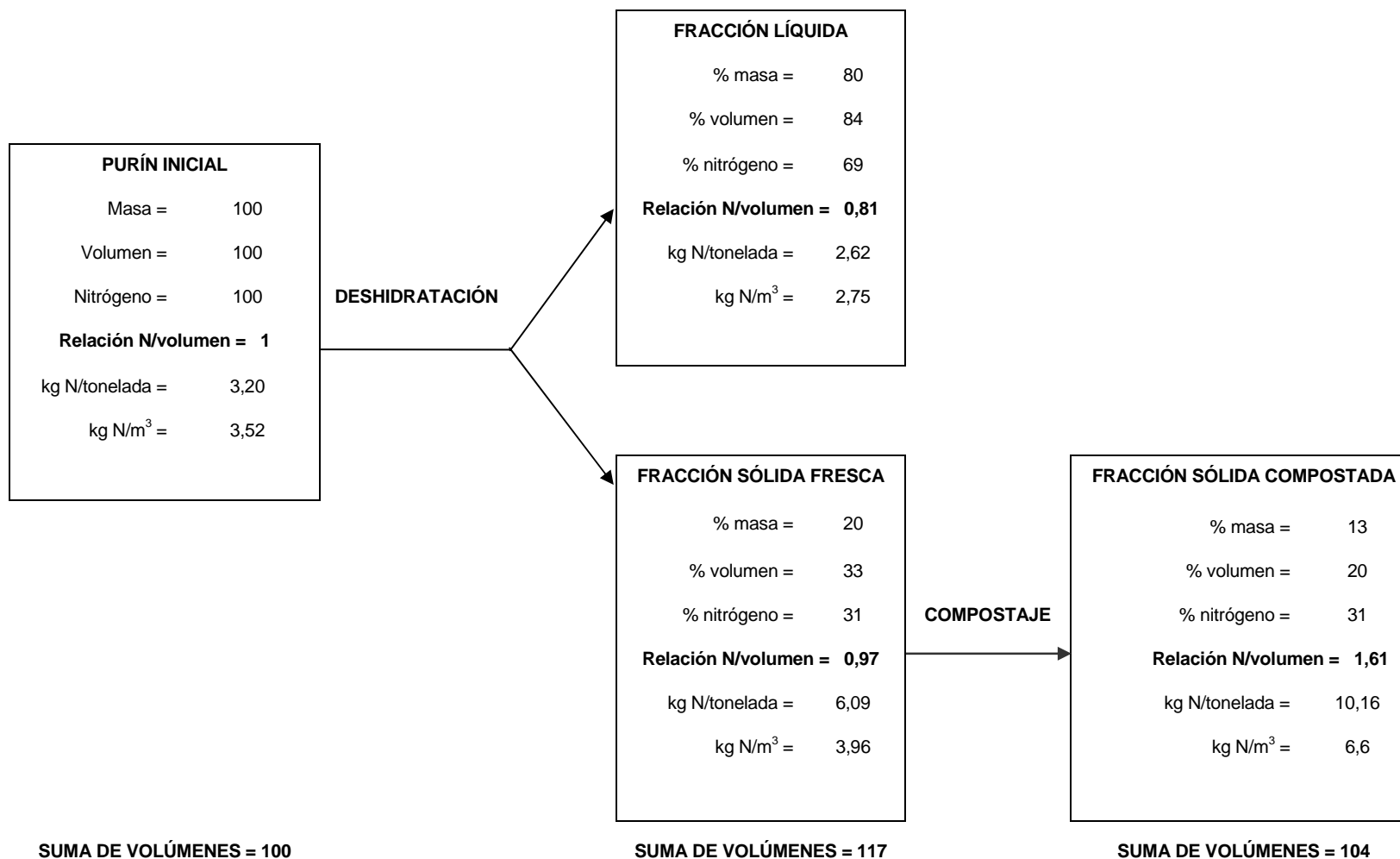
- ii) Necesitamos dos tipos de maquinaria de aplicación, un esparcidor de estiércol para el deshidratado y una cuba para el purín, mientras que antes con una de las máquinas teníamos suficiente.
- iii) La suma de los volúmenes de deshidratado y de purín es más elevada que la del residuo original,<sup>34</sup> tal como se pone de manifiesto en el ejemplo particular representado en la **figura 21**. Como ya se ha comentado anteriormente, se debe a la porosidad que tiene el deshidratado.

---

Si la explotación es de 100 vacas en producción, el coste del deshidratador llega a 60 €/vaca y va subiendo notablemente en la medida que baja el número de cabezas.

<sup>34</sup> La suma de masas de deshidratado y de purín sí que es igual que la de los residuos originales. Pero con residuos es más conveniente hablar de volumen y no de masa, ya que la capacidad de la maquinaria de aplicación —remolques de estiércol o cubas de purines— está condicionada normalmente por el volumen.

**Figura 21.** Ejemplo particular de la distribución de masas, volúmenes y nitrógeno que resulta de deshidratar un purín de vaca lechera y de compostar el deshidratado



### 6.2.2 Composición del deshidratado

En la **tabla 11** se recoge la composición media de muestras de purines de vacuno de leche y de sus correspondientes deshidratados y fracciones líquidas. Es interesante observar la distribución de nutrientes.

**Tabla 11.** Composición media de diferentes purines de vacuno, con sus correspondientes deshidratados y fracciones líquidas (Lloreda-2004)

PARÁMETRO	Purín completo	Fracción líquida	Deshidratado
Proporciones en peso, %	100	80	20
Proporciones en volumen, %	100	84-85	33-34
kg ms/m <sup>3</sup>	124,3	78,8	115,2
kg MO/m <sup>3</sup>	97,9	49,5	100,8
kg N/m <sup>3</sup>	3,82	2,61	3,35
kg P/m <sup>3</sup>	0,6	1,6	0,6
kg K/m <sup>3</sup>	1,9	3,3	3,2
g Mn/m <sup>3</sup>	84,9	19,7	12,1
g Zn/m <sup>3</sup>	82,6	23,7	16,1
g Cu/m <sup>3</sup>	6,1	8,1	4,5
g ms/kg	113,0	75,1	239,2
g MO/kg	89,0	47,2	208,9
g N/kg	3,5	2,49	7,0
g P/kg	0,6	1,5	1,3
g K/kg	1,7	3,1	6,6
mg Mn/kg	77,2	18,8	25,0
mg Zn/kg	75,1	22,6	33,3
mg Cu/kg	5,5	7,6	9,3

### 6.2.3 Condiciones para el compostaje del deshidratado

Ya se ha comentado que el material que resulta de deshidratar un purín o un estiércol pastoso es un material poroso, estructurado y con unos contenidos importantes de materia orgánica biodegradable y de nutrientes esenciales para la vida microbiana. Pero cuando se apila, sus poros, ya pequeños, se encogen todavía más por la acción del peso propio del material (**figura 22**) y la circulación de aire que se establece en su interior debida al efecto chimenea no es suficiente para mantener, al menos durante las primeras semanas, las condiciones aerobias que se requieren para el proceso de compostaje. En consecuencia, el buen desarrollo del compostaje de un deshidratado necesita aireación forzada, tal como

ponen de manifiesto los resultados de la experiencia que se describe a continuación:

- i) La **figura 23** representa la evolución de las temperaturas de dos pilas: una de ellas simplemente volteada con pala con una frecuencia más o menos semanal, y la otra, no se voltea, pero dispone de ventilación asistida. Esta ventilación se controlaba de forma muy simple:
  - Un temporizador provocaba arranques y paros periódicos para asegurar la presencia suficiente de oxígeno en el interior de la pila.
  - Si la temperatura de la masa subía demasiado y aparecía el riesgo de ralentizar o parar la actividad microbiana por sobrecalentamiento, un termostato disparaba el ventilador, que entonces actuaba para enfriar la masa.<sup>35</sup>
- ii) El hecho de que la pila aireada alcanzara una temperatura más elevada durante las primeras semanas pone de manifiesto una mayor actividad de los microorganismos descomponedores, como se confirma en la **figura 24**. Como consecuencia, la reducción de su masa —y de su volumen— fue más rápida (**figura 25**) y la estabilización del material más precoz.
- iii) El color del deshidratado de purín al cabo de unos cuantos días de proceso (**figura 26**) muestra claramente que, con la aireación forzada, la demanda microbiana de oxígeno ha quedado satisfecha para todo el material, mientras que al voltear, la presencia permanente de oxígeno sólo queda asegurada, durante las primeras semanas, en la parte superficial de la pila.
- iv) Se puede constatar que al cabo de un mes de proceso, cuando se para la aireación forzada de la pila y se deja su oxigenación exclusivamente en manos del efecto chimenea, la descomposición de materia orgánica era aproximadamente un 75% más elevada que la de la pila que sólo se volteaba, y la pérdida de masa tenía un valor similar<sup>36</sup>. Esto repercute, evidentemente, en la superficie necesaria para el estercolero.

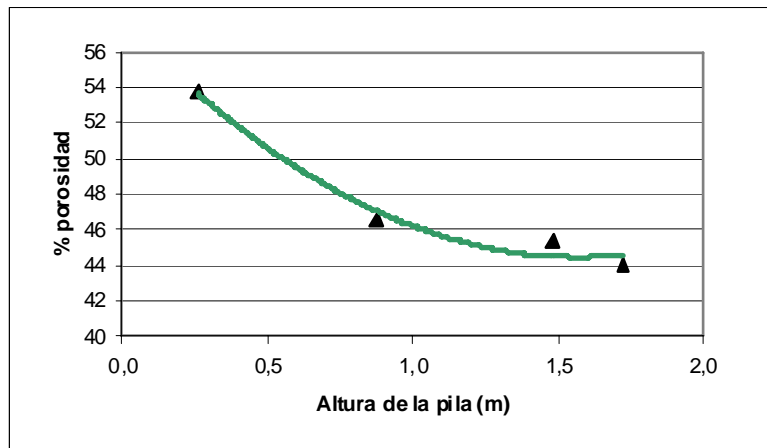
---

<sup>35</sup> Las necesidades de aire para oxigenar son del orden de 10-20 veces inferiores a las necesidades de ventilación para enfriar y controlar la temperatura. En este ejemplo concreto que presentamos, la ventilación estaba diseñada para oxigenar, por lo que el control de la temperatura —establecido para no superar los 50 °C— no fue total. Pero también se ha de decir que, mientras los costes de ventilación para oxigenar son perfectamente asumibles por cualquier explotación ganadera, casi nunca sucede lo mismo si lo que se pretende es ventilar para controlar la temperatura.

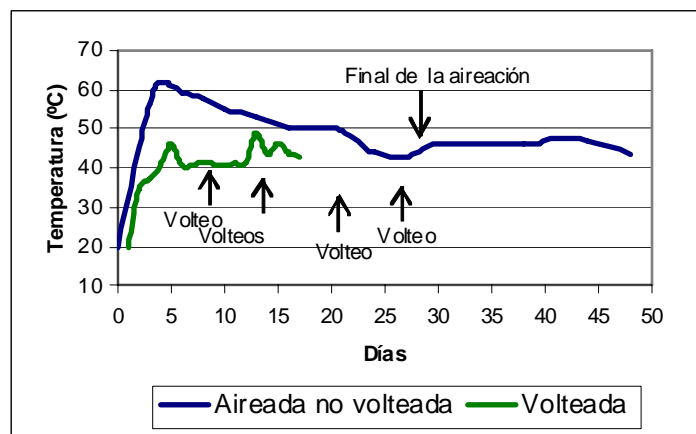
<sup>36</sup> Las pérdidas de masa son debidas a dos fenómenos: la descomposición de materia orgánica, que se convierte en gas —CO<sub>2</sub>—, y la evaporación de agua por el calor generado durante el proceso.



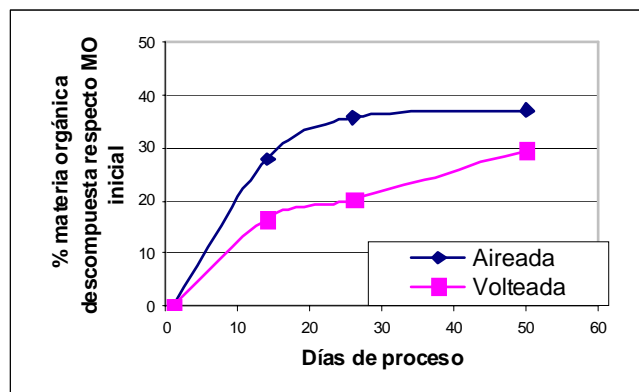
**Figura 22.** Variación de la porosidad de un deshidratado de purín de vacuno en función de la altura de la pila (datos propios, no publicados)



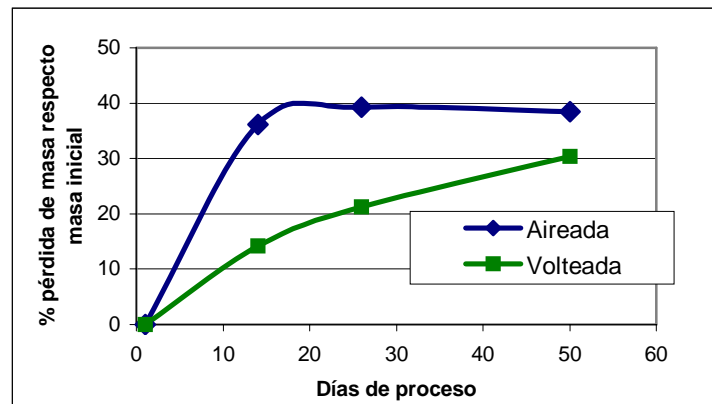
**Figura 23** Evolución de la temperatura en dos pilas de deshidratado de purín de vacuno, una volteada y otra estática. pero con ventilación forzada (Lloreda-2004)



**Figura 24.** Porcentaje de la materia orgánica presente inicialmente en el deshidratado de purín de vacuno que se descompone a lo largo del compostaje, según las condiciones en que se realiza este proceso (Lloreda-2004)



**Figura 25.** Porcentaje de la masa inicial del deshidratado de purín vacuno que se pierde durante el compostaje, según las condiciones en que se realiza este proceso (Lloreda-2004)



**Figura 26.** Aspecto de un deshidratado de purín de vacuno sometido a diferentes tratamientos para su compostaje

**Foto A.** Aspecto del interior de una pila de deshidratado de purín de vacuno después de siete días de ventilación forzada. El color marrón oscuro de todo el perfil de la pila indica una importante transformación microbiana, impulsada por una elevada concentración de oxígeno



**Foto B.** Aspecto del interior de una pila de deshidratado de purín de vacuno después de siete días de proceso sin ventilación forzada. El efecto chimenea no ha logrado mantener una concentración suficiente de oxígeno en el interior de la pila, y el material ha evolucionado poco, manteniendo su color verdoso original. En cambio, la parte superficial de la pila —unos 20-25 cm— ha sufrido una importante transformación microbiana —color marrón oscuro— porque su concentración de oxígeno se ha mantenido alta al haberse difundido desde la superficie



En el **anejo** se recogen ejemplos de instalaciones particulares de compostaje de deyecciones ganaderas.

Si no hay posibilidad de realizar ventilación forzada, y a pesar de que el volteo no asegure en las primeras etapas del proceso la correcta oxigenación del material, siempre es mejor hacerlo,<sup>37</sup> ya que la transformación y estabilización del residuo orgánico es más rápida que si no se voltea:

- i) Con el volteo, la parte más superficial de una pila, que sí se ha transformado por haber presencia suficiente de oxígeno, pasa al interior y es sustituida por material que no había estado en estas condiciones aerobias.
- ii) El material exterior, que al estar más frío por su contacto con el exterior no se había podido higienizar, lo hará al pasar al interior de la masa donde siempre se logran temperaturas más elevadas.
- iii) El volteo esponja el material, lo que hace aumentar su porosidad y el tamaño de sus poros y favorece el establecimiento de un efecto chimenea más potente. Esto puede hacer que las condiciones aerobias en el conjunto de la pila se logren antes. Este hecho es especialmente importante con residuos como el deshidratado de purín, que son pobres en componentes

---

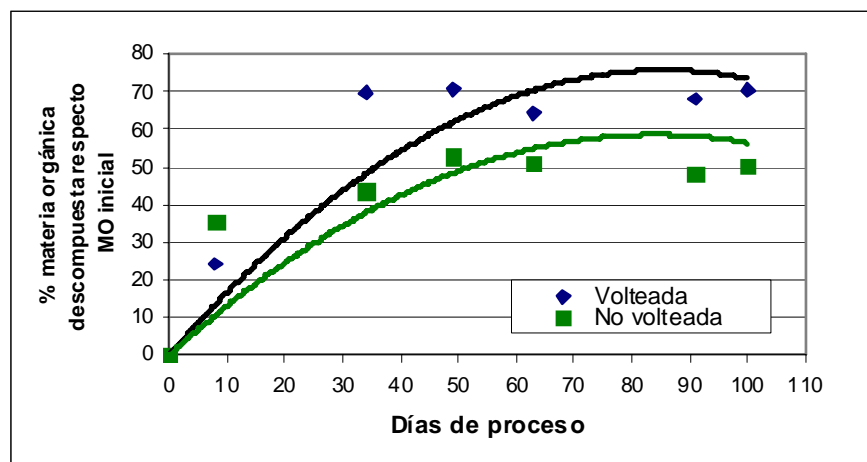
<sup>37</sup> Siempre se han de contemplar los costes de esta operación.

estructurales como la paja,<sup>38</sup> lo que hace que tengan tendencia a compactarse a causa de su propio peso y, por tanto, a perder porosidad hasta cierto punto.

- iv) Aunque no sea interesante con materiales tan homogéneos como el deshidratado de purines, los volteos desmenuzan el material, lo que comporta un aumento de la superficie de ataque de los microorganismos y, en consecuencia, aumenta también la rapidez del proceso.

En las **figuras 27 y 28** se recogen los resultados de una experiencia que confirma los comentarios anteriores. Se puede constatar que en unos 100 días de proceso, en la pila volteada se ha descompuesto aproximadamente una tercera parte más de materia orgánica que en la no volteada<sup>39</sup> y algo similar sucede con la pérdida de masa. También se puede observar que en la pila volteada en 50 días se obtiene una descomposición semejante a la que se consigue en 100 días en la pila no volteada. Finalmente, hemos de destacar también que el proceso se ha de dejar que dure el tiempo que haga falta para cada material, pero no más del necesario, porque a partir de un determinado momento —unos 60 días en los ejemplos concretos que estamos comentando— los cambios son mínimos y no compensan ni las horas de trabajo ni la superficie que se le destina.<sup>40</sup>

**Figura 27.** Porcentaje de la materia orgánica presente inicialmente en el deshidratado de purín vacuno que se descompone a lo largo del proceso de compostaje, según si la pila se voltea o no (Lloreda-2004)

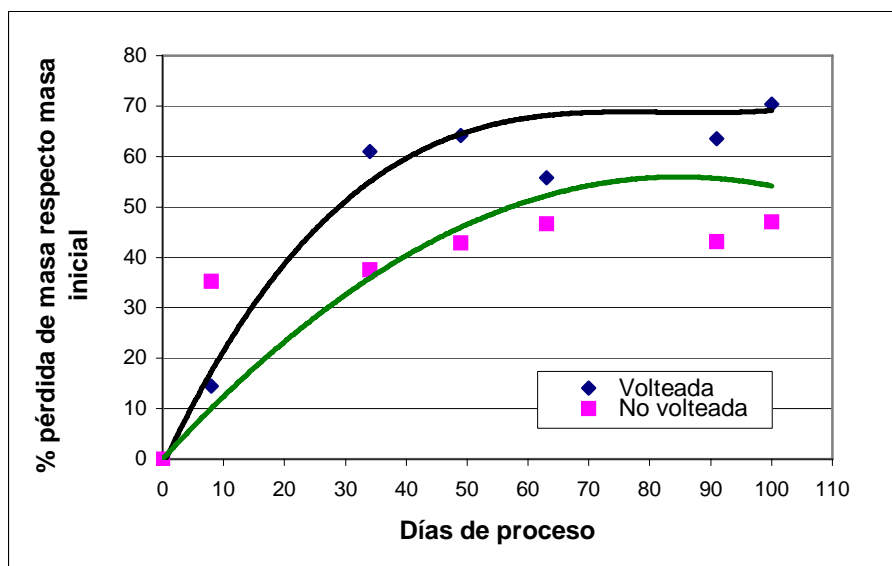


<sup>38</sup> Aunque haya, ésta se encuentra muy finamente desmenuzada por el efecto de la bomba que impulsa el purín hacia el equipo deshidratador.

<sup>39</sup> En la pila volteada se ha descompuesto aproximadamente el 75% de la materia orgánica inicial, mientras que en la no volteada lo ha hecho menos del 55%.

<sup>40</sup> Los resultados de la experiencia recogidos en las **figuras 27 y 28** no son comparables a los de la experiencia de las **figuras 24 y 25**, ya que tanto el tipo de lecho de ganado como la alimentación de éste eran diferentes.

**Figura 28.** Porcentaje de la masa presente inicialmente en el deshidratado de purín vacuno que se descompone a lo largo del compostaje, según si la pila se voltea o no (Lloreda-2004)



#### 6.2.4 Nivel de deshidratación que se ha de lograr

Con las instalaciones de separación física sólido/líquido con aportación energética se pueden lograr deshidratados con un nivel elevado de sequedad. Pero la sequedad deseable también depende de los objetivos que se pretendan conseguir con la separación. Por tanto, si ésta se realiza para:

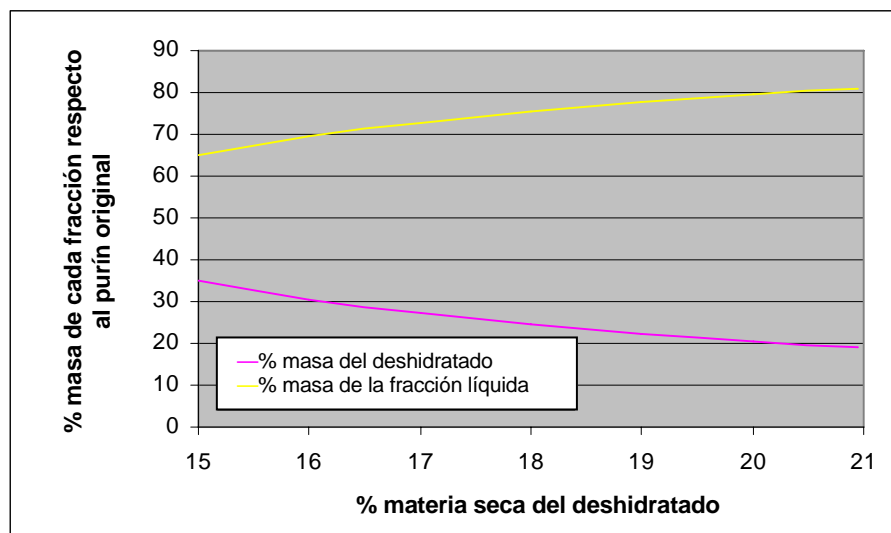
- i) Tener la mínima fracción líquida o purín, entonces interesa buscar un deshidratado con la máxima humedad posible. El límite superior de humedad dependerá de las manipulaciones a las que se quiera someter el deshidratado:
  - Si sólo se pretende apilarlo, el umbral será aquella humedad a partir de la cual el deshidratado ya adopte el comportamiento de un fluido, lo que imposibilitaría su apilamiento.
  - Y si lo que se pretende es compostarlo, el límite será aquella humedad que reduzca drásticamente, o incluso llegue a anular, su porosidad, ya sea por ocupación directa de los poros o porque el material se colapse por su propio peso.

En la **figura 29** se presenta un ejemplo de cómo varían las proporciones obtenidas de deshidratado y de fracción líquida según el grado de sequedad del primero. Puede parecer que las diferencias no son sustanciales, pero intentar conseguir un deshidratado con un 16% de materia seca significa, en el caso concreto en el que se basa la **figura 29**, tener un 15% menos de fracción líquida que si el deshidratado obtenido tuviera una sequedad del 21%.

- ii) Obtener, mediante el compostaje del deshidratado, un abono de gran calidad que pueda valorizarse a través del mercado de la jardinería y de la agricultura. Una de las cualidades de los abonos orgánicos que más aprecian estos mercados es una sequedad razonablemente alta que facilite su manejo y su distribución. La **figura 30** permite constatar que:

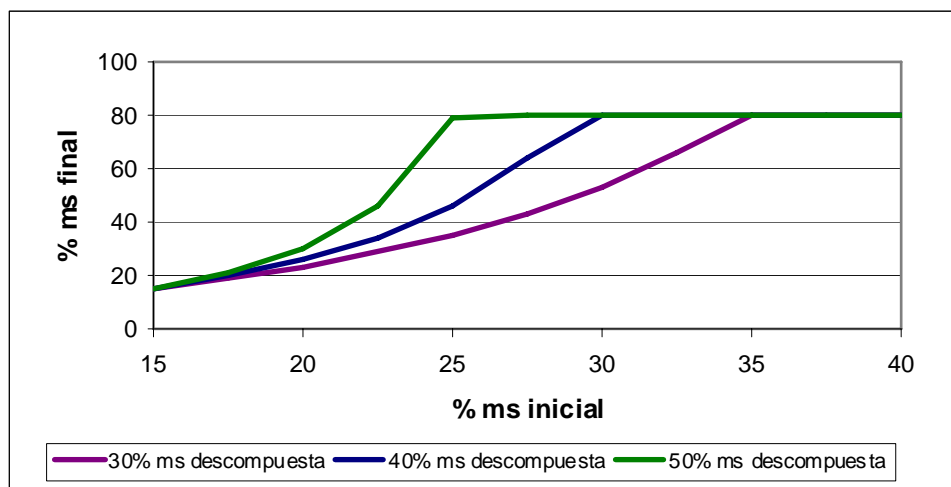
- Si se parte de materiales con humedades muy elevadas —del 80% o más—, el compostaje no consigue secar el material porque el agua que se evapora en el proceso queda compensada por la que se genera en la descomposición de la materia orgánica del residuo y también por la desaparición de esta materia orgánica<sup>41</sup>.
- A partir de sequedades superiores al 22%-27%, esta compensación ya no se produce y el producto final alcanzará sequedades del 40%, aproximadamente. Incluso se ha de evitar partir de un deshidratado demasiado seco, porque entonces la actividad microbiana del compostaje puede pararse por falta de humedad antes de que el proceso haya concluido.

**Figura 29.** Proporciones de deshidratado y de fracción líquida obtenidas de un determinado purín de vacas de leche según la materia seca del primero



<sup>41</sup> La descomposición de materia orgánica en condiciones aerobias da el gas CO<sub>2</sub> y agua.

**Figura 30.** Relación teórica entre la materia seca del material que se ha de compostar y del compost obtenido, según cuál sea el porcentaje de materia original degradable<sup>42</sup>



### 6.3 ESTIÉRCOLES CON ABUNDANTE LECHO DE GANADO

Los estiércoles con abundante lecho de ganado —paja, grumos, virutas...— tienen muy frecuentemente, aunque no siempre, las características adecuadas para ser compostados:

- i) Una humedad suficiente y no excesiva, aunque este parámetro es el que está desajustado más a menudo.
- ii) Una buena estructura física, lo que les permite mantener, una vez apilados, una cierta porosidad que posibilita la circulación de aire por su interior.
- iii) Una relación C/N que hace que las pérdidas de N por volatilización sean mínimas durante el proceso.

En consecuencia, si el ganadero considera oportuno someterlos a compostaje para aprovechar las ventajas que comporta este proceso (revisar el apartado 5.1), es:

- i) Más que recomendable instalar un sistema de aireación forzada para asegurar un correcto suministro de oxígeno desde el primer día del proceso.
- ii) Recomendable realizar algunos volteos —con pala o con un equipo especializado— para homogeneizar el material.

De hecho, si algún defecto tienen los estiércoles con abundante lecho de ganado, desde la perspectiva del compostaje es su heterogeneidad. Coexisten en la masa materiales de diferente granulometría —por ejemplo, la paja y las heces— y con una distribución no necesariamente regular —en un estiércol fresco se pueden identificar fácilmente manojos de paja y grumos de excrementos—. Por lo tanto, toda operación que mejore su homogeneidad acelerará el proceso al facilitar el ataque microbiano. Ahora bien, tampoco se ha de perder de vista que la calidad del

<sup>42</sup> Para la elaboración de este gráfico se ha considerado que a partir del 80% de materia seca la actividad microbiana será prácticamente nula, y por tanto el material no podrá seguir evolucionando.

compost obtenido siempre está en relación con su destino. La existencia en el compost resultante de restos aún identificables de paja no representa ningún inconveniente para su aplicación en un cultivo extensivo, pero sí puede ser un defecto si se quiere comercializar el compost para jardinería. Por tanto, la intensidad y la dedicación que requerirá esta homogeneización habrán de estar en concordancia con el destino del producto.

#### 6.4 LA GALLINAZA SÓLIDA

La gallinaza de aves de engorde suele ser un material sólido mucho más seco que el estiércol con mucho lecho de ganado y muy rico en N, que además ya se encuentra en forma mineral o ligada a la fracción orgánica fácilmente descomponible (**tablas 5 y 6**). Por este motivo, si se composta, humedeciéndola para corregir su sequedad, pero sin complementarla con algún otro material residual de elevada relación C/N, se producirán durante el proceso pérdidas muy importantes de nitrógeno amoniacal.

Por esta razón, si no se puede disponer de este material complementario de relación C/N elevada, es más aconsejable no compostarla y utilizarla tal como se genera, teniendo la precaución de dosificarla correctamente y de aplicarla en el momento oportuno para evitar problemas derivados de su excesiva salinidad.

También se han de mencionar interesantes experiencias<sup>43</sup> de tratamiento de la gallinaza someténdola a temperaturas y presiones elevadas y a una posterior extrusión, que dan como resultado un producto de fácil manejo. A pesar de esto, cuando se vuelve a humedecer durante su aplicación, reaparecen los malos olores, ya que su materia orgánica no está estabilizada.

### 7. EL INTERÉS DE LOS MATERIALES COMPLEMENTARIOS

En el capítulo anterior se han introducido diferentes situaciones que ponen de manifiesto el interés, o incluso la necesidad, de complementar determinadas deyecciones ganaderas con otros materiales residuales o de bajo coste, con el fin de mejorar las condiciones para el desarrollo del proceso de compostaje y la calidad agronómica del producto final. Resumimos a continuación las situaciones más habituales en las que tendrá que plantearse complementar las deyecciones ganaderas sólidas para su compostaje<sup>44</sup>:

- i) Incremento de la relación C/N para minimizar las pérdidas de nitrógeno<sup>45</sup>. La adición de paja al estiércol, sea o no pastoso, sería un ejemplo de este caso. Los datos recogidos en la **figura 31** confirman que con relaciones C/N entre

---

<sup>43</sup> <http://www.italpollina.com/pdf/concimeitalpollina.pdf>

<http://www.italpollina.com/concimeduetto.htm>.

<sup>44</sup> Hay otras situaciones como la corrección del pH, que aquí no se comentarán porque no suelen darse en las deyecciones ganaderas.

<sup>45</sup> Las deyecciones ganaderas casi nunca presentan relaciones C/N elevadas, pero otros residuos orgánicos sí. Y cuando estos materiales con C/N altas se compostan no se pierde N, sino que contrariamente se gana, gracias a la actuación de las bacterias fijadoras del N<sub>2</sub> del aire. Ahora bien, también se ha de resaltar que en esta situación la velocidad del proceso es muy lenta, justamente por la relativa escasez del N, que limita la actividad microbiana, lo que hace que el compostaje no sea práctico.



30 y 40 se reducen las pérdidas de N por volatilización en forma de  $\text{NH}_3$ , mientras que con relaciones inferiores éstas pérdidas son considerables.

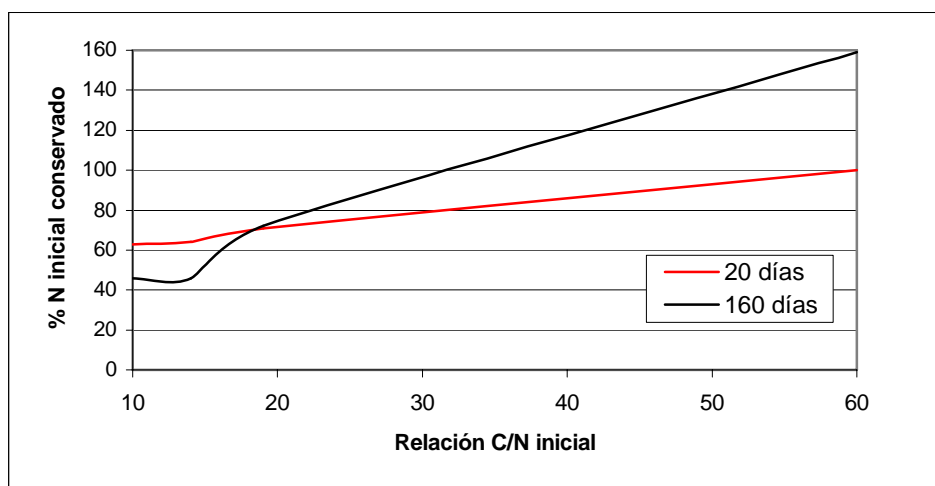
ii) Corrección de la humedad:

– Humectación de deyecciones ganaderas muy secas. Como ejemplos tenemos los purines desecados, que pueden complementarse con purines líquidos o con gallinaza de avicultura de engorde, que se puede rehumectar con agua. De todas formas, se ha de remarcar que estas mezclas no serían nada adecuadas en cuanto a la relación C/N, ya que ésta resultaría muy baja y provocaría una pérdida muy importante de N amoniacal durante el proceso de compostaje. En consecuencia, sería muy recomendable añadir otro material complementario que corrigiera al alza la relación C/N.

– Desecación de deyecciones ganaderas muy húmedas. Como ejemplo tenemos la adición de paja a estiércoles muy pastosos.

iii) Mejora de la estructura para incrementar la porosidad. Como ejemplos tenemos la adición de paja o de materiales forestales a estiércoles muy pastosos.

**Figura 31.** Porcentaje del N contenido en el residuo que se conserva durante el compostaje según su relación C/N inicial (Bonilla-1983)<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Los residuos compostados eran mezclas de residuos urbanos y lodos de depuradoras.

## 8. OTRAS OPCIONES PARA EL TRATAMIENTO DE DEYECCIONES GANADERAS SÓLIDAS

La gestión integral de las deyecciones ganaderas sólidas (almacenaje, tratamiento y aplicación) está muy ligada a la disponibilidad de superficie —para el almacenaje y para el tratamiento, además de superficie agrícola para la aplicación— y también a la disponibilidad de mano de obra y/o maquinaria. Como ya se ha comentado en el capítulo 7, en el que se ha planteado el compostaje como vía de tratamiento, éste requiere superficie, tiempo, maquinaria, a menudo agua para asegurar la humedad adecuada, y también a veces tener que preparar determinadas mezclas para evitar las pérdidas de N y la consiguiente contaminación atmosférica por amoníaco.

Antiguamente, en las explotaciones ganaderas los excrementos de los animales se mantenían durante mucho tiempo en el establo mezclados con capas de paja o con otros restos vegetales que hacían de lecho de ganado. Los materiales se compactaban por el paso de los animales, el lecho se impregnaba profundamente del agua, el nitrógeno y el potasio de los excrementos y toda la materia orgánica se transformaba de forma significativa, a pesar de las condiciones anaerobias que se creaban a causa de la larga permanencia de los materiales. Por eso, cuando se vaciaba el establo, el estiércol ya tenía su materia orgánica muy estabilizada y el proceso de transformación continuaba durante los largos meses de estancia en el estercolero, período que entonces se consideraba necesario para que el estiércol estuviera a punto para ser utilizado como abono.

Es evidente que con la estructura que hoy en día tienen las explotaciones ganaderas no puede plantearse este tipo de manejo exactamente igual que entonces, pero sí que se puede intentar adaptarlo. Si se dispone de suficiente espacio para un almacenaje largo, previo al compostaje, se puede mantener el material de uno a tres meses —dependiendo de la capacidad de la granja— apilado en una fosa, procurando que se compacte y que alcance las condiciones anaerobias. Así se genera una pequeña pero eficaz actividad microbiana, que no comportará trabajo, pero que irá transformando el material, conservando al máximo los nutrientes, consumiendo poca agua y permitiendo que la posterior transformación aerobia requiera menos mano de obra.

En la **tabla 12** se presentan las características de estiércoles de conejo procedentes de granjas diferentes y sometidos también a distintas condiciones. Se puede observar que los que se han mantenido en condiciones anaerobias durante mucho tiempo tienen un contenido inferior de materia orgánica, y ésta es a la vez más resistente —grado de estabilidad (GE) más elevado—. También parece que la conservación del nitrógeno ha sido superior y que éste se presenta en una forma más resistente o estabilizada —superior contenido en N resistente—. De igual forma, cuando estos materiales se compostan, las necesidades de control del proceso son menores y las características de los productos finales son diferentes.

**Tabla 12.** Características de estiércoles de conejo recogidos diariamente (D), almacenados cuatro meses en una fosa profunda (F) y los mismos materiales compostados (CD y CF)

PARÁMETRO	ESTIÉRCOLES		COMPOST	
	D	F	CD	CF
% humedad	57,4	72,4	61,6	65,9
PH	7,66	7,50	8,63	8,04
CE, dSm <sup>-1</sup>	4,89	5,57	10,08	3,45
% materia orgánica	84,32	70,35	50,15	56,49
%N-orgánico	1,62	2,33	1,87	2,08
N-NH <sub>4</sub> (mg/kg)	829	1950	2171	230
C/N	19,10	12,60	13,41	13,52
%GE (grado de estabilidad)	27,40	45,32	41,39	60,1

% N resistente <sup>46</sup>	45,1	54,0	60,0	58,0
% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2,09	2,92	3,41	4,11
% K <sub>2</sub> O	1,33	1,87	3,38	1,73

## 9. EL BIOSECADO

Últimamente está adquiriendo mucha fuerza una tecnología llamada *biosecado* (*biodrying*) como una alternativa para el tratamiento de los residuos líquidos y que es un magnífico ejemplo de interacción entre procesos físicos y biológicos.

El biosecado no es más que un proceso de compostaje dirigido, no necesariamente a generar un abono, sino a aprovechar el calor que se desprende para evaporar parcialmente el agua de un material líquido que se ha incorporado a la masa que se está compostando.

Los conceptos que se han de tener en cuenta a la hora de plantear un biosecado son los siguientes:

- i) Durante la descomposición aeróbica de la materia orgánica, los microorganismos sólo utilizan alrededor de un 60% de la energía generada para la síntesis celular o el metabolismo, mientras que el 40% restante se transforma en calor.
- ii) El aire que circula a través del material que se composte, ya sea por *difusión* a través de la superficie, ya sea por *convección pasiva* —efecto chimenea— o por *ventilación forzada*, se calienta y además transporta el agua que se evapora.
- iii) Cada kilogramo de materia orgánica que se descompone puede evaporar entre 5 y 10 kg de agua. Esta proporción depende de su degradabilidad y de su contenido en grasas —cuanto más degradable es y más grasa contiene, más agua evapora—, y de las dimensiones de la pila —cuanta más superficie tiene en relación a la masa, más energía se pierde por la superficie, energía que no se aprovecha para evaporar agua—.
- iv) El material sólido que se utiliza en un proceso de biosecado suele ser demasiado seco para que pueda producirse actividad microbiana. Por tanto, la cantidad de material líquido que se ha de añadir ha de ser suficiente para que la mezcla obtenida:
  - Tenga una humedad adecuada —en torno al 60%-70%— para que esta actividad pueda arrancar y desarrollarse.
  - Tenga al inicio una humedad que impida que se pare el proceso antes de tiempo por falta de agua (recordad la **figura 30**).
  - No quede demasiado húmeda y tenga sus poros llenos de líquido, imposibilitando la circulación del aire.
- v) Cuando la humedad inicial de la mezcla de material sólido/material líquido es elevada —aproximadamente de un 80%—, pero no llega a obstaculizar el

---

<sup>46</sup> Expresa el porcentaje de nitrógeno orgánico resistente respecto del nitrógeno orgánico total.

proceso de compostaje, se obtendrá un producto final menos voluminoso pero con una humedad semejante (revisad la misma **figura 30**), lo que podría dificultar su destino final.

- vi) Se ha de intentar que los materiales sólido y líquido tengan relaciones C/N complementarias para evitar emisiones innecesarias de  $\text{NH}_3$  a la atmósfera (recordad la **figura 31**).

En la **tabla 13** se recogen algunos de los parámetros a tener en cuenta (en amarillo) al plantearse un proceso de biosecado. Ha de quedar claro que en el ejemplo sólo se recogen lo que podríamos llamar reactivos —los materiales sólido y líquido—, pero también podría suceder que fuera necesario un material complementario para equilibrar la relación C/N —en el ejemplo que se plantea sería muy conveniente añadir este complemento, ya que la relación que resulta es baja y se perdería mucho N— y/o para dar a la mezcla la porosidad adecuada para permitir el paso del aire.

En la **tabla 14** se recoge otro ejemplo de biosecado. El material sólido es ahora un residuo de la industria agroalimentaria que aporta la energía para evaporar el material líquido, que es un purín. En este caso, la relación C/N de la mezcla es suficientemente equilibrada y no sería de esperar que durante el proceso se produjeran pérdidas significativas de nitrógeno en forma de amoníaco.

**Tabla 13.** Ejemplo de planteamiento de un proceso de biosecado con dos materiales procedentes de explotaciones ganaderas.

<b>CÁLCULO BIOSECADO</b>				<b>Parámetros generales</b>	
<b>Características de los materiales</b>				Calor de evaporación del agua	540cal/g
				Eficiencia evaporación de agua	0,70 Tanto por uno (el resto calienta aire o se pierde)
Parámetro	Material líquido		Material sólido		
	Purín porcino entero	Purín seco térmicamente	Unidades		
Materia seca (ms)	0,11	0,94	Tanto por uno		
Materia orgánica (MO)	0,66	0,62	Tanto por uno sobre ms		
Nitrógeno	7,63		mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L mat. fresca		
Nitrógeno		1,5	% sms		
Densidad aparente	1056	520	kg/m <sup>3</sup>		
MO degradada en el proceso	0,5	0,5	Tanto por uno sobre MO total		
Energía desprendida en la degradación de MO	3740	3740	cal/g		
Capacidad evaporadora	0,25	1,41	kg agua/kg material		
<b>Características deseables de la mezcla</b>					
	Materia seca inicial	0,35	Tanto por uno		

### Otras características de la mezcla

	Relación C/N	20,6	
Proporciones de:	Purín porcino entero	0,71	Tanto por uno
	Purín secado térmicamente	0,29	Tanto por uno
	Relación en masa	2,46	Material líquido/mat. sólido
	Relación en volumen	1,21	Material líquido/mat. sólido

### Cálculos

Agua evaporada por el material sólido	0,57
Agua evaporada por el material líquido	0,25
Agua total evaporada	0,83
MO material sólido degradada en el proceso	0,12
MO material líquido degradada en el proceso	0,04
Agua generada por descomposición de la MO	0,09
Materia seca total materiales al final del proceso	0,34
Agua total al final del proceso	0,17
% ms material final	<b>66</b>
% pérdida de masa (respecto al inicio)	<b>64</b>
% masa final respecto a masa material líquido inicial	<b>51</b>

**Tabla 14.** Ejemplo de planteamiento de un proceso de biosecado entre un purín y un residuo de la industria agroalimentaria.

<b>CÁLCULO BIOSECADO</b>				<b>Parámetros generales</b>	
<b>Características de los materiales</b>				Calor evaporación de agua	540cal/g
				Eficiencia en evaporación agua	0,70 Tanto por uno
				(el resto calienta el aire o se pierde)	
<b>Parámetro</b>	<b>Material líquido</b>		<b>Material sólido</b>	<b>Unidades</b>	
	<b>Purín porcino entero</b>		<b>Marro</b>		
Material					
Materia seca (ms)	0,11		0,38	Tanto por uno	
Materia orgánica (MO)	0,66		0,98	Tanto por uno sobre MS	
Nitrógeno	7,63			mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L mat. fresca	
Nitrógeno			1,5	% sms	
Densidad aparente	1056		575	kg/m <sup>3</sup>	
MO que se degrada en el proceso	0,5		0,5	Tanto por uno sobre MO total	
Energía desprendida en la degradación de MO	3740		3740	cal/g	
Capacidad evaporadora	0,25		0,90	kg agua/kg material	
<b>Características deseables de la mezcla</b>					
	Materia seca inicial		0,25	Tanto por uno	

### Otras características de la mezcla

	Relación C/N	32,6	
Proporciones de:	Purín porcino entero	0,48	Tanto por uno
	Marro	0,52	Tanto por uno
	Relación en masa	0,93	Material líquido/material sólido
	Relación en volumen	0,51	Material líquido/material sólido

### Cálculos

Agua evaporada por el material sólido	0,97
Agua evaporada por el material líquido	0,25
Agua total evaporada	1,22
MO material sólido degradada en el proceso	0,20
MO material líquido degradada en el proceso	0,04
Agua generada por la descomposición de la MO	0,13
Materia seca total materiales al final del proceso	0,28
Agua total al final del proceso	0,47
% ms material final	<b>38</b>
% pérdida de masa (respecto al inicio)	<b>64</b>
% masa final respecto a masa material líquido inicial	<b>75</b>



## 10. BIBLIOGRAFÍA

ANDREWS, S.S., LOHR, L. y CABRERA. M.L. (1999). «A bioeconomic model comparing composted and fresh litter for winter squash». *Agricultural Systems*, 61. pp.165-178.

BOIXADERA *et al.*- 2000). p.9.

BONILLA, M.J. (1983). *Influència del mostratge en el seguiment d'una prova de compostatge (escombraries urbanes i fangs de depuradores)*. Trabajo de final de carrera. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona.

CÀCERES, R. (2003). *Compostatge de fems de boví i aprofitament del compost en la formulació de substrats per al cultiu en contenidor d'espècies arbustives*. Tesis doctoral.

COMAS, J. (1985): «Evolució de la fracció orgànica d'un femer durant la fermentació». *Quaderns agraris*, núm. 6 (ICEA). pp. 23-28.

CONVERSE, J.C., KOEGEL, R.G. y STRAUB R.J. (2000). «Nutrient separation of dairy manure». En: *Animal, Agricultural and Food processing wastes. Proceedings of the eight International Symposium*. Editado por J.A. Moore y publicado por American Society of Agricultural Engineers. pp. 118-131.

KOELSCH, R.K., MILTON, C.T., REESES, D.E. y GRANT, R. (2000). «Model for estimating manure excretion from animal nutrient balance». En: *Animal, Agricultural and Food processing wastes. Proceedings of the eight International Symposium*. Editado por J.A. Moore y publicado por American Society of Agricultural Engineers. pp.103-110.

LARNEY, F.J., OLSON, A.F., CARCAMO, A.A. y CHANG, C.H. (2000). «Physical changes during active and passive composting of beef feedlot manure in winter and summer». *Bioresource Technology*, núm. 75. pp. 139-148.

LEKASI, J.K., TANNER, J.C., KIMANI, S.K. y HARRIS P.J.C. (2003). «Cattle manure quality in maragua district, central Kenya: effect of management practices and development of simple methods of assessment». *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 94. pp. 289-298.

LLOREDA, G. (2004). *Gestió de la fracció sòlida de purí d'una explotació de vacuum*. Trabajo de final de carrera. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona

PÉREZ. C., MANZANO. S. y SOLIVA. M. (1999). «Compostaje conjunto de la fracción orgánica de residuos municipales (FORM) y residuos vegetales: Influencia sobre los desprendimientos de CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>». *Residuos*, 46. pp. 44-50.

RAMIRAN (Menzi, Pain y Smith,1998)

RYNK, R. (2001). «Exploring the economics of on-farm composting». Parte I. *Biocycle*, febrero. pp. 61-66.

RYNK,R. (2001). «Exploring the economics of on-farm composting». Parte II. *Biocycle*, abril, pp. 62-70.

SAGUER, E. y GARRABOU, R. (1996). «Métodos de fertilización en la agricultura catalana durante la segunda mitad del siglo XIX. Una aproximación a los procesos físicos de reposición de la fertilidad agrícola». *La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica*. Colección Economía y Naturaleza. Fundación Argentaria. pp. 89-126. ISBN 84-7774-974-4

SAÑA J., y SOLIVA M. (1987): «El compostatge: procés, sistemes i aplicacions». *Quaderns d'ecologia aplicada*, núm. 11. Diputació de Barcelona. Àrea de Medi Ambient. Servei de Medi Ambient. pp. 1-98.

SAÑA, J. (2004): *Optimización de las instalaciones de compostaje de fangos de depuradora*. Jornadas sobre Gestión y Tratamiento de Lodos de EDAR. Barcelona; 1 de diciembre, 2004. Universitat de Barcelona / Diputació de Barcelona.

SOLER, J.M. (1945). *Los estiércoles pecuarios y su conservación*. Anales de la Escuela de Peritos Agrícolas y Superior de Agricultura y de los Servicios técnicos de Agricultura. Diputación Provincial de Barcelona.

SOLIVA, M. (1994). Arxius ESAB. «L'agricultura com a productora i receptora de residus», núm.5.

SOLIVA, M. (2001). *Compostatge i gestió de residus orgànics*. Col·lecció Estudis i Monografies, 21. Diputació de Barcelona. Servei de Medi Ambient.

SOLIVA, M. y FELIPÓ, M.T. (2003). «Organic wastes as a resource for Mediterranean soils». En Langenkamp, H., Marmo, M. (eds.). *Biological Treatment of Biodegradable Wastes. Technical Aspects*. Bruselas.

VALL-LLOSERÀ, X. y VOLTAS, J. (1988). *Obtenció d'adob orgànic a partir de fems de conill: estudi de la influència del tractament aplicat*. Trabajo de final de carrera. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona.

VANOTTI, M.B., RICE, J.M., HOWELL, S.L., HUNT, P.G. y HUMENIK F.J. (2000). «Advanced treatment system for liquid swine manure using solid-liquid separation and nutrient removal unit processes». En: *Animal, Agricultural and Food processing wastes*. *Proceedings of the eight International Symposium*. Editado por J.A. Moore y publicado por American Society of Agricultural Engineers. pp.393-400.

## ANEJO: EJEMPLOS DE INSTALACIONES DE COMPOSTAJE DE DEYECCIONES GANADERAS



**Foto 1.** Pila de compostaje de deshidratado de purín de vacuno, con ventilación forzada (Can Castellà - la Roca del Vallès).



**Foto 2.** Aspecto del deshidratado de purín de vacuno fresco —en primer término— y después de ser compostado —al fondo— (Can Castellà - la Roca del Vallès).



**Foto 3.** Silos de compostaje de deshidratado de purín de vacuno (Cooperativa La Fageda - Santa Pau). Los silos se construyeron para aprovechar mejor la poca superficie disponible.



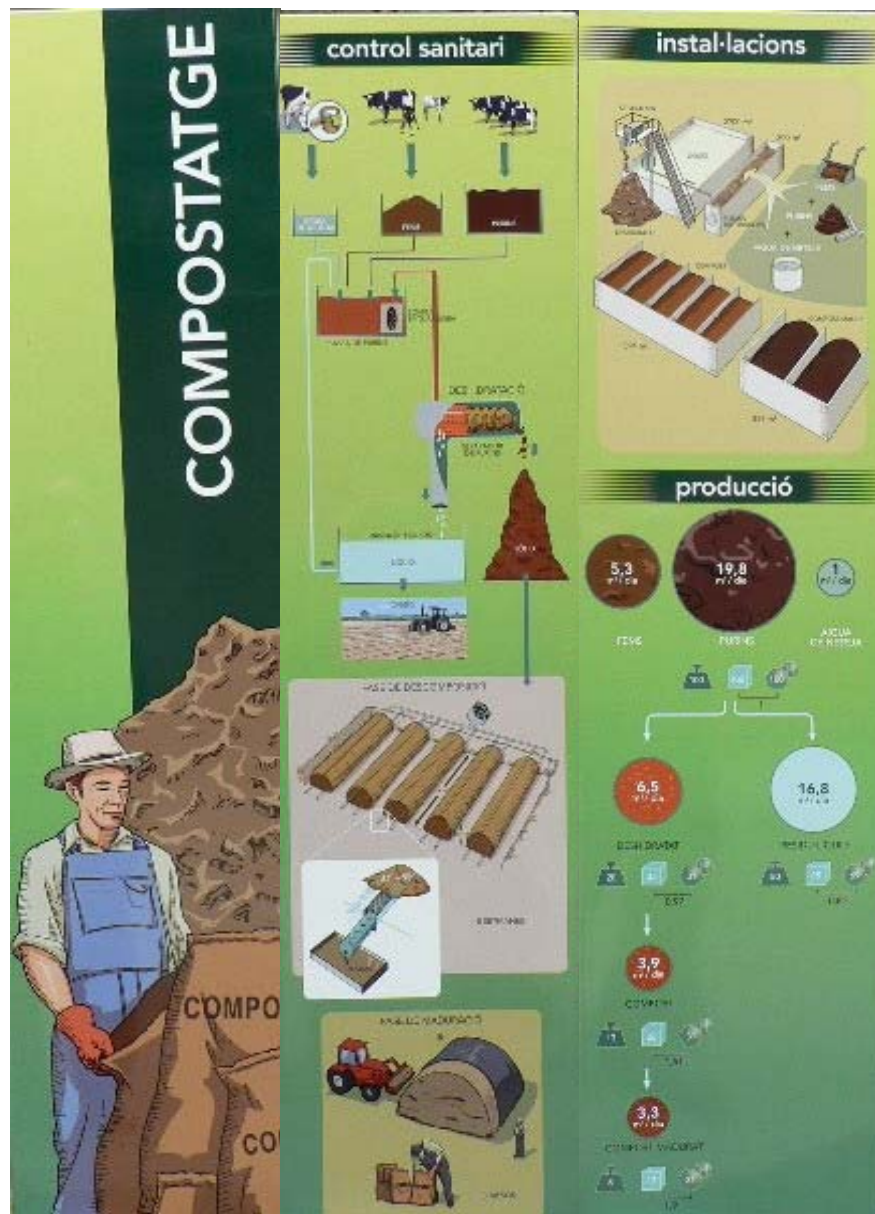
**Foto 4.** Aspecto en vacío de uno de los silos de compostaje de deshidratado de purín de vacuno (Cooperativa La Fageda - Santa Pau). Se pueden observar las zanjás hechas en la solera, donde se sitúan los tubos perforados que sirven para inyectar el aire al material.



**Foto 5.** Batería de ventiladores que inyectan el aire a cada uno de los silos (Cooperativa La Fageda - Santa Pau). Se puede observar la canalización que conduce los lixiviados hacia una fosa, desde donde son bombeados a la balsa de purines.



**Foto 6.** Tubería de polietileno que conduce el aire hasta la masa en compostaje (Cooperativa La Fageda - Santa Pau). Se pueden apreciar los orificios por donde sale el aire, que se tapan con una mínima capa de astillas para evitar que se taponen. Al estar la tubería por debajo del nivel de la solera, no se ve afectada por el paso de la pala durante las operaciones de carga y descarga. La zanja donde está colocada también sirve para desaguar los lixiviados.



**Foto7.** Tríptico donde se explican las manipulaciones a las que son sometidas las deyecciones ganaderas y el balance de masas que resulta de las operaciones de deshidratación mecánica y compostaje de la fracción sólida (Cooperativa La Fageda - Santa Pau).



**Foto 8.** Silo para el compostaje de estiércol de conejo (granja Can Fornés - les Franqueses del Vallès).



**Foto 9.** Ventilador y sistema de control del compostaje de estiércol de conejo (granja Can Fornés - les Franqueses del Vallès) (foto de la izquierda). La ventilación está temporizada y termostatada. La temperatura se determina mediante una sonda clavada en el material (foto de la derecha). Cuando supera la temperatura preestablecida —60 °C en este caso—, la ventilación se mantiene en funcionamiento hasta lograr rebajarla.