

Manual de compostaje

Código n.º 99-94-0790 ESP

Edición: 09/2019

1	Introducción	1
1.1	Fundamentos del compostaje	1
1.2	Ventajas del compostaje	2
1.3	Factores influyentes en el compostaje	3
2	El CompoLiner de Big Dutchman	6
3	Sustancias iniciales	10
3.1	Estiércol de gallinas ponedoras	12
3.2	Estiércol de cerdos	12
4	Aditivos	13
4.1	Paja como suplemento	13
4.2	Cáscaras de girasol como suplemento	14
4.3	Champost como suplemento	14
4.4	Microorganismos como suplemento	16
4.5	Sulfato ácido de sodio como suplemento	16
5	Evaluación del proceso de compostaje	17
6	Cálculos para el compostaje	19
6.1	Corrección del contenido del material de partida	19
6.2	Determinación del grado de madurez	20

1 Introducción

1.1 Fundamentos del compostaje

El compostaje es la descomposición aeróbica de sustancia orgánica. En la sustancia orgánica (p. ej. proteínas, lípidos, hidratos de carbono) se encuentra ligado, entre otras cosas, nitrógeno. Las plantas no pueden absorber este nitrógeno si está ligado a una molécula orgánica. El objetivo del compostaje consiste en poner a disposición de las plantas el nitrógeno en forma de NH_4 y NO_3 (mineralizar) y ofrecer el producto como abono o acondicionador del suelo.

Todo el transcurso del compostaje depende de la actividad biológica de diferentes microorganismos. La temperatura y el valor del pH pueden servir de valores indicadores del estado del enriado. La descomposición de sustancias orgánicas mediante los microorganismos es un proceso exotérmico. Si, por ejemplo, se descompone glucosa, se produce una entalpía libre de formación de aprox. 2870 kJ/mol, si bien se pierden aprox. 1770 kJ/mol como energía en forma de calor y, por tanto, se puede medir como un desarrollo de temperatura parcialmente fuerte. Para poder seguir este proceso continuamente y cubrir la necesidad de oxígeno de las bacterias, se introducen en el material unas sondas de medición que miden y registran continuamente el contenido de oxígeno allí presente. El valor del pH se vuelve más alcalino a lo largo del compostaje, lo que está relacionado con la descomposición de los ácidos orgánicos.

En general, el compostaje se desarrolla en cuatro fases. En la primera fase, la fase mesófila, los distintos microorganismos descomponen sustancias fácilmente degradables, como las proteínas o los lípidos. La temperatura en el material alcanza aprox. los 40 °C. En la siguiente fase termófila, la temperatura asciende a 50-70 °C. Una parte de la microflora mesófila muere o crea formas persistentes resistentes al calor. Las bacterias y los hongos termófilos se activan y descomponen sustancias difícilmente degradables, como la celulosa y la hemicelulosa. La higienización del material está relacionada con las altas temperaturas, lo que significa que en esta fase se destruyen los posibles patógenos. Entre ellos figuran la *E. coli* y la *Salmonella*, puesto que estos gérmenes posiblemente patógenos no pueden formar esporas.

La fase termófila se considera finalizada cuando la temperatura ya no supera de forma permanente los 40 °C. En la última fase, la fase de enfriamiento y de maduración, se forman ácidos húmicos estables. El recuento total de gérmenes aumenta de nuevo con la reactivación de las esporas.

El nitrógeno transformado por los microorganismos se incorpora parcialmente a las sustancias húmicas (ácidos húmicos) en la fase de maduración, con lo que se optimiza la fertilidad del suelo. Además, los ácidos húmicos repercuten positivamente en la estructura del suelo. El suelo se puede trabajar con mayor facilidad y menos frecuencia, con lo que es menos propenso a la erosión. Además, esto proporciona al suelo una base alimenticia para organismos del suelo mediante la aportación de nutrientes (ácidos húmicos). La estabilidad de los ácidos húmicos permite una descomposición lenta de estas uniones mediante los microorganismos del suelo.

La proporción de sustancia orgánica disminuye con la actividad de los microorganismos en el transcurso del compostaje. En total, la duración del enriado en un compostaje en hileras es de tres a cuatro meses.

Si se composte el material en el CompoLiner entre 12 y 15 días, el material alcanza un grado de madurez de II o III y se puede comercializar como acondicionador del suelo. Un enriado posterior en forma de hileras durante aprox. 2-3 semanas alcanza un grado de madurez de IV-V y, con ello, una comercialización como compost.

1.2 Ventajas del compostaje

El compostaje de residuos animales conlleva algunas ventajas frente a, p. ej., el secado de los residuos.

Mediante la higienización del material durante la fase termófila, se crea un producto inocuo desde el punto de vista de enfermedades e higiene. Asimismo se reducen las semillas con capacidad para germinar y las partes de plantas que pueden brotar en el curso de la higienización.

Además, los nutrientes no disponibles para plantas en la sustancia orgánica, como proteínas, lípidos e hidratos de carbono, se mineralizan con ayuda de los microorganismos activos en el compost. La creación de ácidos húmicos estables, a los que también se puede incorporar el nitrógeno mineralizado, permite además una mejora de la estructura del suelo mediante un mayor desmenuzamiento. Las bacterias del suelo descomponen lentamente los ácidos húmicos, lo que genera una liberación lenta del nitrógeno ligado. Como consecuencia se produce una lixiviación notablemente menor de nitrato y una contaminación menor de las aguas subterráneas.

Los ácidos húmicos también aumentan la fertilidad del suelo y se facilitan las labores del suelo. Por consiguiente, el agua puede penetrar más rápido en el suelo y retenerse, con lo que este es menos propenso a la erosión.

Dependiendo de la composición y la concentración de los nutrientes contenidos en el compost y el grado de madurez alcanzado, el producto puede utilizarse como acondicionador del suelo o compost. Un efecto secundario positivo es la reducción de la utilización de turba. Por un lado, con la extracción de la turba se destruye el hábitat de muchos animales y plantas en forma de turberas que tienen una antigüedad de siglos y milenios. Por otro lado, el clima se ve afectado por la fuga de CO₂, el drenaje de humedales y el transporte de la turba a largas distancias. De este modo, la reducción de la extracción de la turba tiene efectos positivos para el medio ambiente.

1.3 Factores influyentes en el compostaje

Para lograr un proceso de enriado óptimo, se deben crear las condiciones de vida ideales para los microorganismos activos en las hileras.

La proporción de carbono y nitrógeno (proporción C:N) en el material desempeña un papel importante. El valor inicial óptimo para el compostaje de residuos animales se sitúa entre 25:1 y 30:1. En el transcurso del compostaje, la proporción C:N se reduce, puesto que los microorganismos necesitan carbono como fuente de energía. Las tierras agrícolas deben presentar una proporción C:N inferior a 25:1, puesto que, de otro modo, la actividad de mineralización de los microorganismos se ve restringida o estos establecen el nitrógeno como sustancia endógena. Como consecuencia, el nitrógeno ya no está disponible para las plantas.

Inciso: Si la cantidad de carbono es excesiva en relación con el nitrógeno (proporción C:N demasiado amplia), el nitrógeno está proporcionalmente presente al mínimo, por lo que es un factor de crecimiento limitante para los microorganismos. Como consecuencia, se retrasa el enriado, puesto que el carbono en exceso debe ser oxidado primero por las bacterias y se pierde en forma de CO₂. En caso de una proporción C:N demasiado estrecha (falta de carbono), el carbono está presente al mínimo en proporción con el nitrógeno, por lo que bajan el consumo y la fijación del nitrógeno por parte de los microorganismos. Como consecuencia, se pierde el nitrógeno gaseoso en forma de amoníaco, óxido nitroso o monóxido de nitrógeno.

Otro factor es el contenido en agua de las hileras. Los microorganismos requieren agua, dado que el oxígeno y otros nutrientes solo están disponibles para ellos en forma disuelta. No obstante, el contenido en agua no debe superar un determinado valor, ya que el agua también impide la llegada del aire necesario a los poros del material. El contenido de agua óptimo al comienzo del compostaje se sitúa entre el 55 y el 65 % en el caso de estiércol sin yacija, entre el 75 y el 85 % en el caso de paja y entre el 55 y el 70 % en el caso de una mezcla de ambos componentes. Por el contrario, un contenido en agua demasiado escaso también es un factor limitante para los microorganismos. A lo largo del compostaje, disminuye continuamente el contenido de agua óptimo (ver figura 1-1: Evolución del contenido óptimo de agua durante el proceso de compostaje.). A partir de un contenido de agua de un 30 % o inferior, el enriado se detiene.

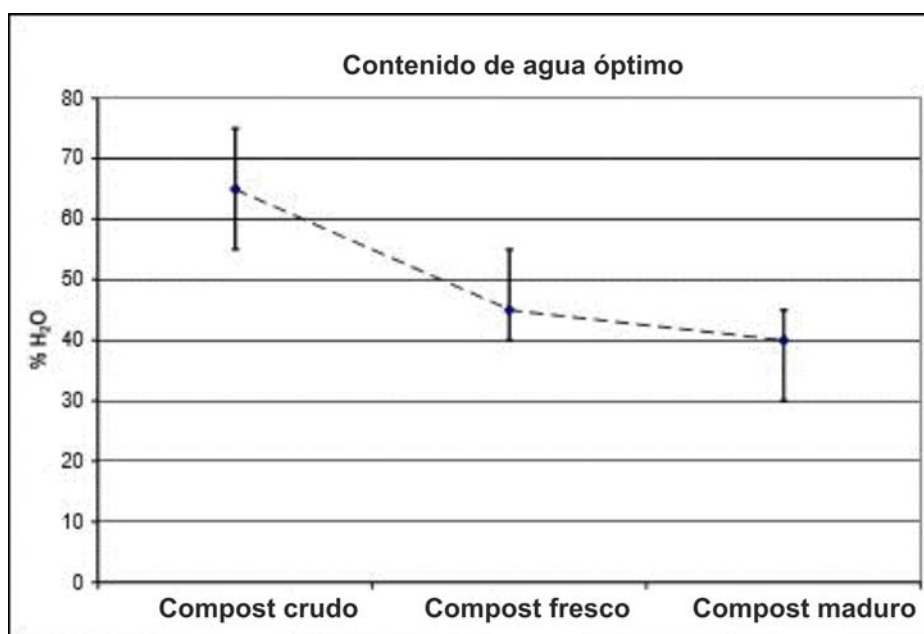


Ilustración 1-1: Evolución del contenido óptimo de agua durante el proceso de compostaje

Precisamente al comienzo del enriado, hay otro factor importante: el contenido de oxígeno. Si la saturación de O₂ en relación con el oxígeno del aire es inferior al 80 %, se producen procesos de fermentación. De este modo pueden liberarse productos de fermentación de olor desagradable y surgir enlaces que pueden inhibir el proceso posterior de compostaje (ver figura 1-2 Degradación aeróbica y anaeróbica de la glucosa en los microorganismos y los productos resultantes.). Entre ellos figuran alcoholes y ácidos orgánicos que son letales para determinados microorganismos importantes en el compostaje. Mediante la técnica de control especialmente desarrollada del CompoLiner, se garantiza permanentemente el suministro suficiente de oxígeno al material.

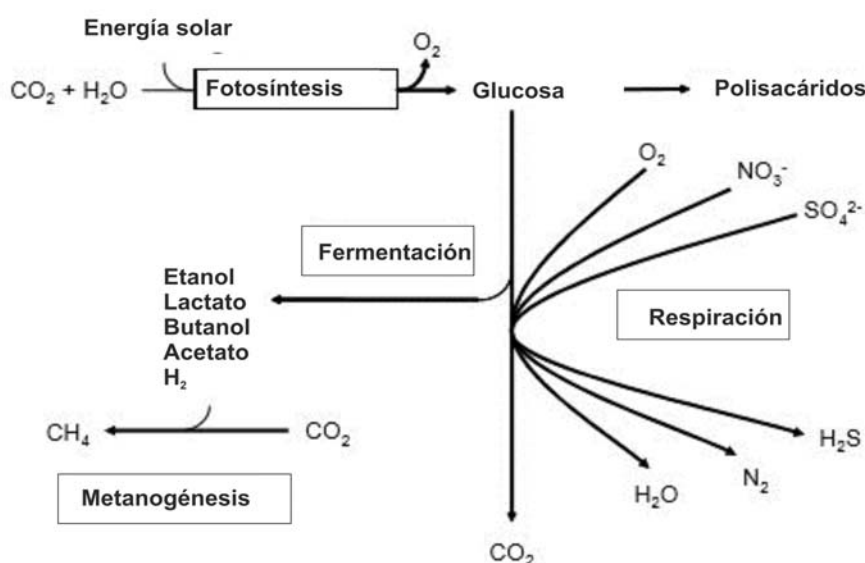


Ilustración 1-2: Degradación aeróbica y anaeróbica de la glucosa en los microorganismos y los productos resultantes

2 El CompoLiner de Big Dutchman



Ilustración 2-1: CompoLiner

El CompoLiner es una unidad de compostaje con ventilación activa que ha sido desarrollada por la empresa Big Dutchman. La finalidad de esta máquina es compostar residuos animales con poco esfuerzo en tiempo y energía directamente en el lugar para mejorar la disponibilidad de nutrientes para plantas y reducir el volumen de los residuos. Además, el CompoLiner está construido siguiendo un concepto modular, lo que significa que el tamaño de la unidad puede variar hasta una cantidad máxima de diez contenedores dependiendo del tamaño de la nave, la cantidad de animales o la cantidad de material que se debe compostar.

La capacidad del sistema es de 80-360 m³, si bien el sistema más pequeño posible se compone de dos contenedores, el conjunto de inicio y el conjunto final. Estos componentes son esenciales para el sistema que se amplía con una cantidad variable de conjuntos de ampliación (ver figura 2-2: Estructura esquemática del sistema).

Conjunto final Conjunto de ampliación Conjunto de inicio

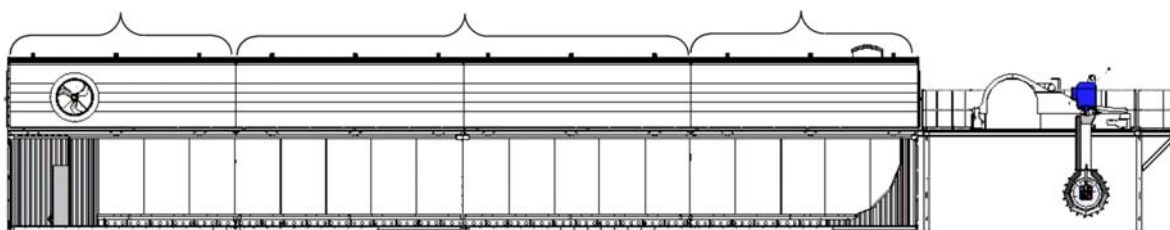


Ilustración 2-2: Estructura esquemática del sistema

Los costes operativos se mantienen lo más bajos posible, puesto que el sistema no está sobredimensionado gracias a la modularidad.

El volteo del material sirve para el aporte de oxígeno, la trituración y homogenización, así como el transporte del material. El volteador (ver figura 2-3: Representación esquemática del volteador), compuesto de un carro y un tambor fresador, mueve el material con cada volteo aprox. 1,5 m desde el conjunto de inicio hasta el final, pasando por el de ampliación. De este modo, el material se airea mezclando las zonas de los bordes y centrales, de manera que, al final del compostaje, todo el material está higienizado. Una vez finalizado el proceso de volteo, el volteador se desplaza a la plataforma de inspección donde queda aparcado hasta el siguiente volteo. Esto sirve, por un lado, para protegerlo frente a la corrosión y, por otro lado, simplifica el mantenimiento del carro y del tambor fresador.

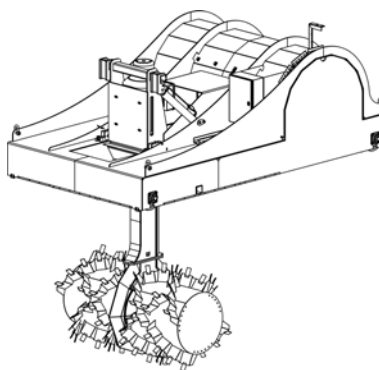


Ilustración 2-3: Representación esquemática del volteador

El sistema para la extracción del material se encuentra en el conjunto final. Se divide en sinfín de comedero y sinfín de transporte y rodillos de extracción para la dosificación del material hacia el sinfín de comedero.

Según desee el cliente, se crea un producto que se comercializa como acondicionador del suelo (grado de madurez de II o III) o como compost (grado de madurez de IV o V). El producto se puede envasar directamente o almacenar para el enriado posterior, dependiendo del encargo.

El cumplimiento del convenio CSC de los contenedores facilita el envío y el transporte a empresas agrícolas en todo el mundo. Además, los trabajos de montaje se reducen al mínimo.

La ventilación activa del material se produce automáticamente dependiendo de la saturación de oxígeno medida en el material. Dado que el consumo de oxígeno de los microorganismos varía dependiendo de la fase de madurez, cada contenedor se ventila por separado. La saturación de oxígeno y la temperatura se miden con sensores que se introducen automáticamente en el material (ver figura 2-4: Unidad de medición para supervisar la temperatura y la saturación de oxígeno en el material que se composta.).

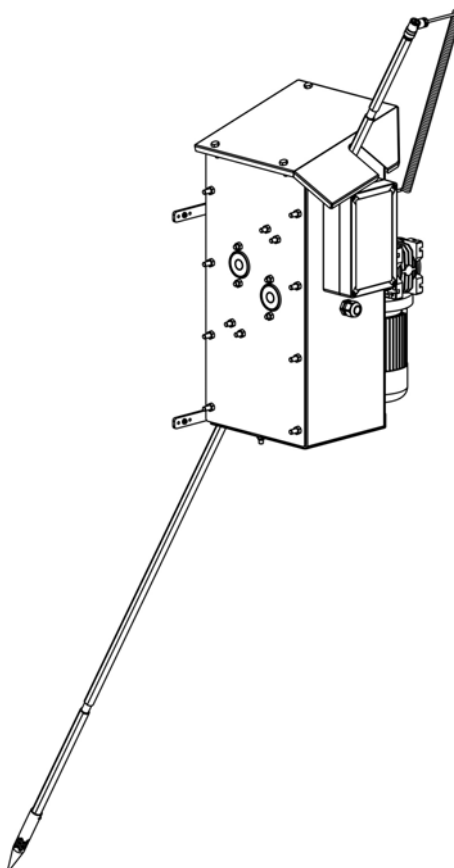


Ilustración 2-4: Unidad de medición para supervisar la temperatura y la saturación de oxígeno en el material que se composta

La plataforma de inspección para el mantenimiento del volteador se encuentra en el lado de llenado del sistema. Una vez finalizado el proceso de volteo, el volteador se desplaza a la posición de aparcamiento en esta plataforma. Por un lado, esto sirve para proteger el volteador de la corrosión. Por otro lado, la plataforma permite un mantenimiento seguro y sencillo del volteador y del tambor fresador.

Para simplificar el llenado con la cinta transportadora, se puede instalar en el techo del sistema una tolva de llenado que se abre automáticamente con el llenado y se cierra de nuevo después.

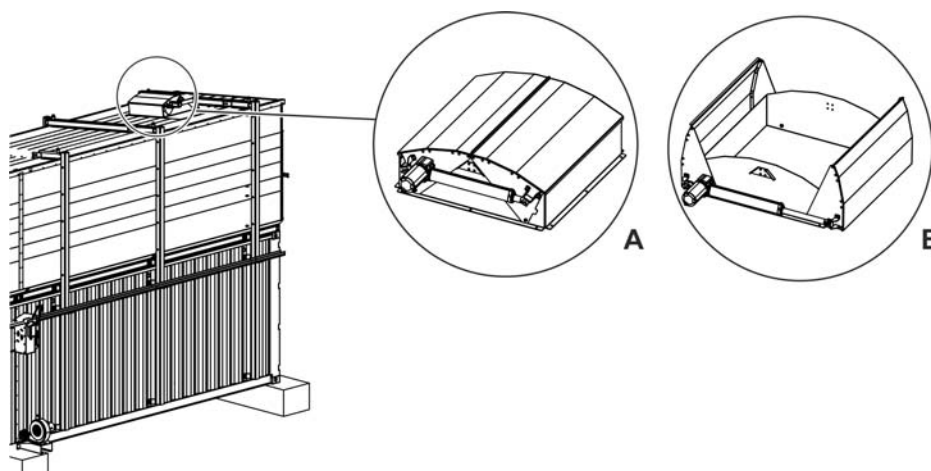


Ilustración 2-5: La tolva de llenado en la posición cerrada (A) y abierta (B)

3 Sustancias iniciales

El CompoLiner de BD sirve para el compostaje de diferentes residuos animales. Para regular un proceso óptimo, se deben tener en cuenta algunos parámetros de las sustancias iniciales. Antes del comienzo y después del compostaje, se realizan los siguientes análisis independientemente del material inicial (ver tabla 3-1: "Parámetros de análisis químicos y biológicos para muestras de compost"). Los análisis se recomiendan para cada lote en los animales con el fin de garantizar una calidad constante en el producto final.

Tabla 3-1: Parámetros de análisis químicos y biológicos para muestras de compost

Química	Biología
Contenido de materia seca [%]	Recuento de gérmenes aeróbicos [UFC/g]
Valor del pH	Recuento de hongos aeróbicos [UFC/g]
Nitrógeno total [%]	Salmonella (cualitativa) [en 50 g de muestra]
Carbono total [%]	E. coli (cuantitativo) [UFC/g o MPN/g]
Proporción C:N [sin dimensiones]	
Contenido de amonio (NH_4^+) [%]	
Contenido de nitrato (NO_3^-) [%]	
Contenido de fósforo [%]	
Contenido de potasio [%]	
Salinidad [% NaCl]	

Evaluación de las sustancias iniciales

Con ayuda de análisis químicos y biológicos, tanto se pueden determinar aditivos adecuados antes del proceso como también evaluar el proceso concluido. La proporción C:N óptima al comienzo del compostaje se sitúa entre 25:1 y 30:1 para poder iniciar óptimamente el proceso. Si la proporción C:N se diferencia notablemente del valor óptimo (inferior a 15:1), se recomienda la adición de una fuente de carbono hasta que la proporción de C:N se haya ajustado entre 25:1 y 30:1.

El contenido de materia seca se ajusta al inicio del compostaje a aprox. el 40 % (ver capítulo 6) para no influir negativamente en la actividad de los microorganismos. Un contenido de materia seca inferior al 40 % genera problemas mecánicos en el volteador.

El contenido en amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) sirve para evaluar el proceso de compostaje. En el proceso de compostaje aumenta el contenido de NO_3^- , mientras que el contenido de NH_4^+ aumenta en las primeras fases y disminuye hacia el final.

Los parámetros biológicos sirven igualmente para evaluar el proceso, pero también para demostrar la inocuidad en cuanto a enfermedades e higiene del producto final. El recuento total de gérmenes aeróbicos debería disminuir en el transcurso del compostaje. La asociación alemana de aseguramiento de la calidad Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. ofrece un valor orientativo para el contenido en el producto final. El recuento total de gérmenes aeróbicos debe ser del orden de 108 UFC/g (ver tabla 3-2: "Valores estándar para contenidos de gérmenes en compost según la asociación Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.").

Tabla 3-2: Valores estándar para contenidos de gérmenes en compost según la asociación Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V.

Parámetro	Recuento de gérmenes aeróbicos [UFC/g]	Recuento de gérmenes de E. coli (bacterias coliformes fecales) [NMP/g]	Recuento de hongos aeróbicos [UFC/g]	Salmonella spp. [en 50 g de muestra]
Estándar para compost	Del orden de 10^8	$< 5 \cdot 10^3$	10^3 - 10^4	No demostrado

3.1 Estiércol de gallinas ponedoras

En ver tabla 3-3: "Composición química media del estiércol de gallinas ponedoras" se representa la composición química media del estiércol de gallinas ponedoras. Dependiendo de la forma de alimento, producción y manejo puede haber variaciones en los contenidos en nutrientes.

Tabla 3-3: Composición química media del estiércol de gallinas ponedoras

Parámetro	Valor medio
Contenido de materia seca [%]	20 - 40
Valor del pH	6 - 7
Nitrógeno total [%]	3 - 7
Carbono total [%]	30 - 50
Proporción C:N [sin dimensiones]	7:1 - 16:1
Contenido de fósforo [%]	2 - 4
Contenido de potasio [%]	1 - 3

3.2 Estiércol de cerdos

Los datos de la Cámara de Agricultura de Baja Sajonia del 17.07.2017 en relación con los contenidos en nutrientes en el estiércol de cerdos de engorde y cerdas se representan en ver tabla 3-4: "Composición química media del estiércol de cerdos". Al igual que con el estiércol de gallinas ponedoras, los contenidos en nutrientes varían dependiendo de la forma de alimento, producción y manejo.

Tabla 3-4: Composición química media del estiércol de cerdos

Parámetro	Valor medio
Contenido de materia seca [%]	40 - 45
Valor del pH	6 - 7
Nitrógeno total [%]	0,5 - 4
Carbono total [%]	35 - 50
Proporción C:N [sin dimensiones]	11:1 - 25:1
Contenido de fósforo [%]	0,5 - 5
Contenido de potasio [%]	0,5 - 5

4 Aditivos

Para ajustar la composición del material inicial a fin de lograr un proceso de compostaje óptimo, existe la posibilidad de añadir diferentes aditivos antes del inicio del compostaje. Por un lado, se trata de sustancias destinadas a optimizar la proporción C:N del material inicial y, por otro, de sustancias que pueden acelerar el compostaje mediante la presencia de microorganismos activos.

Según la composición del material inicial, la empresa Big Dutchman recomienda la adición de una sustancia así para permitir un tiempo de permanencia lo más corto posible con un desarrollo óptimo del proceso en el CompoLiner. No obstante, el propio cliente toma la decisión sobre el aditivo.

A continuación se explican a modo de ejemplo algunos aditivos y su efecto en el proceso de compostaje. Dependiendo de la disponibilidad, se pueden considerar también otras sustancias como aditivo para el compostaje.

4.1 Paja como suplemento

Si el ajuste de la proporción C:N no es óptimo al comienzo del compostaje, se producen retrasos o un aumento de las emisiones de nitrógeno gaseoso, como se ha explicado ya en el capítulo 1.3.

Para evitar estas pérdidas o retrasos, se puede añadir la paja, un material fresco, como fuente de carbono en forma seca o húmeda, dependiendo de la materia seca del material inicial. La paja tiene una proporción C:N media de 80:1 a 90:1, por lo que representa una fuente de carbono óptima. Para que la paja esté disponible de forma ideal para los microorganismos, se aconseja cortar previamente la paja hasta una longitud máx. de 5 cm.

Otras fuentes de carbono que influyen positivamente el proceso de compostaje, en caso de una proporción C:N estrecha, son, entre otras cosas, las virutas de madera.

La proporción que se debe aportar en relación con el material inicial puede calcularse con ayuda de la fórmula presentada en el capítulo 6.

4.2 Cáscaras de girasol como suplemento

Para la comercialización del producto como compost, este debe presentar además un efecto fertilizante positivo. Para ello resulta útil mantener el contenido en sal lo más bajo posible. Muchas plantas no son capaces de compensar los contenidos elevados en sal y muestran un crecimiento bajo ante la presencia de un alto contenido en sal.

Para contrarrestarlo, se puede recurrir a las cáscaras de girasol como aditivo adicional. Con un contenido en sal de aprox. 1 % (medido como KCl) se puede diluir el alto contenido en sal del material inicial (ver tabla 4-1: "Parámetros químicos de las cáscaras de girasol"). Además, las cáscaras de girasol tienen una proporción C:N de aprox. 70:1, por lo que sirven adicionalmente como fuente de carbono. También la paja tiene un contenido en sal relativamente bajo, por lo que sería apto para diluir. Puede haber variaciones dependiendo del tipo de material y la disponibilidad del aditivo.

Tabla 4-1: Parámetros químicos de las cáscaras de girasol

Cáscaras de girasol	
Contenido de materia seca [%]	92,1
Nitrógeno total [%]	0,82
Carbono total [%]	56
Proporción C:N [sin dimensiones]	68:1
Contenido en sal [%KCl]	1,12

4.3 Champost como suplemento

El champost es un subproducto de la producción de hongos comestibles y, por lo general, se compone de estiércol de caballos y aves, paja y cal. Estos componentes se compostan en una proporción de mezcla determinada. El sustrato resultante se utiliza para el cultivo de hongos comestibles y se utiliza como abono NPK tras la cosecha de los hongos. Debido a la alta proporción de hongos y micelios, se optimiza la entrada del residuo animal que se composta en la fase termófila con la adición de champost y se aumenta la degradación de la sustancia orgánica.

Tal y como se desprende de ver tabla 4-2: "Contenidos en nutrientes y composición del champost", el contenido en sal en el champost se sitúa por término medio en 2,5 %. Por consiguiente, la adición de champost sirve para la optimización del proceso. Mediante la adición de los microorganismos activos y los hongos presentes en el champost, se acelera notablemente tanto la degradación de la sustancia orgánica como también la degradación de la celulosa y la lignina.

Tabla 4-2: Contenidos en nutrientes y composición del champost

Propiedades y contenidos del champost		
Todos los datos son valores medios de 2017 para "Marco Deckers KG" de RPZ		
Parámetros generales		
Densidad	g/l MH	453
Piedras > 5 mm	% MS	0
Sustancias extrañas > 2 mm	% MS	0
Materia seca	% MS	38,9
Valor del pH		6,1
Contenido en sal	g/l MH	11,6
Sustancia org. (pérdida por calcinación)	% MS	56,6
Contenidos en nutrientes		
Contenido total en N	% MS	2,3
N _{disp} (soluble en CaCl ₂)	% MS	0,08
Contenido total en P ₂ O ₅	% MS	1,2
Contenido total en K ₂ O	% MS	3,2
Contenido total en MgO	% MS	0,8
Contenido total en S	% MS	3,0
Sustancia activa básica	% MS	2,2
Contenidos de metales pesados		
Pb	mg/kg MS	3,8
Cd	mg/kg MS	0,3
Cr	mg/kg MS	9,6
Ni	mg/kg MS	4,6
Cu	mg/kg MS	39,8
Zn	mg/kg MS	182,5
Hg	mg/kg MS	0,07

4.4 Microorganismos como suplemento

De forma similar al suplemento de champost, el suplemento de determinados microorganismos activos influye positivamente en el proceso de compostaje. La degradación de la sustancia orgánica, como por ejemplo la celulosa y la lignina, se acelera con los microorganismos activos. En poco tiempo, el compost alcanza un grado de madurez superior y se puede aumentar el rendimiento en el material a compostar.

Se añade un concentrado de microorganismos definido compuesto de organismos inocuo desde el punto de vista de enfermedades e higiene. Se trata de microorganismos que también están presentes en el suelo de forma natural. Por tanto, la aplicación y la venta del compost a empresas de producción de tierras son inocuas.

4.5 Sulfato ácido de sodio como suplemento

Si durante el compostaje se detectan emisiones considerables de amoníaco, existe la posibilidad de añadir cantidades definidas de sulfato ácido de sodio con un esparcidor al volteador durante el volteo. El sulfato ácido de sodio es una sal higroscópica que, disuelta en el agua, puede protonar el amoníaco (NH_3) mediante un ion hidrógeno. Se forma amonio (NH_4^+), que después reacciona con un ion sulfato (SO_4^{2-}) formando sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). Esta reacción es irreversible. El sulfato de amonio es una sal directamente disponible para las plantas.

5 Evaluación del proceso de compostaje

Para evaluar el proceso concluido, se toman en consideración los mismos parámetros del producto que para las sustancias iniciales así como el perfil de temperatura y oxígeno.

Partiendo del contenido de materia seca, que al comienzo se debería situar entre un 40 % y un 50 %, y de la proporción C:N, que debería situarse entre 25:1 y 30:1, el material se somete a un tratamiento previo en caso necesario. Al final del compostaje, el contenido de materia seca debe situarse en un rango entre el 70 % y el 80 %. La proporción C:N se estrecha en el proceso activo mediante la degradación microbiana del carbono. Tras concluir el compostaje, el material presenta una proporción C:N inferior a 18:1.

Los contenidos en nutrientes del estiércol y los excrementos dependen de algunos factores. Además de la composición del alimento, también la forma de manejo y producción desempeña un papel en la composición de los excrementos con respecto a los nutrientes. Por consiguiente, la calidad, la composición y la posibilidad de uso resultante dependen en gran medida del material inicial y pueden presentar grandes variaciones.

En el transcurso del compostaje, disminuye el contenido de amonio (NH_4^+) debido a su consumo por parte de los microorganismos. El amonio se transforma en nitrato (NO_3^-) por oxidación completa y, por tanto, aumenta durante el proceso. El contenido en fósforo y potasio se reduce en relación con la reducción del volumen. Tanto el amonio resultante como también el nitrato pueden ser absorbidos y aprovechados directamente por las plantas.

Mediante la degradación de ácidos orgánicos, el valor del pH se convierte en un entorno alcalino en el transcurso del proceso. El producto presenta un valor de pH entre 7,5 y 9.

Desde el punto de vista microbiológico, el producto debe ser inocuo en cuanto a la higiene. El contenido de *E. coli* debe ser inferior a $5 \cdot 10^3$ MPN/g y no debe detectarse *Salmonella*. El recuento total de gérmenes aeróbicos disminuye en la fase termófila y aumenta de nuevo hacia la fase de enfriamiento y maduración mediante la reactivación de algunas formas permanentes resistentes al calor. Al final del compostaje, el contenido debe ser del orden de 10^8 UFC/g.

El contenido en levaduras y mohos es similar al recuento total de gérmenes aeróbicos. En la fase termófila, existen esporas resistentes al calor y hongos termófilos activos. Cuando se pasa a la fase de enfriamiento y maduración, aumenta de nuevo la cantidad de levaduras y hongos. En el producto, el contenido debe mantenerse en el rango entre 10^3 y 10^4 UFC/g.



Tras el compostaje en el CompoLiner, la compatibilidad vegetal debe ser superior al 100 %. Si no se logra, no existe ningún efecto fertilizante positivo del producto. La prueba en blanco se realiza con turba al 100 %.

Tal como se describe más arriba, los parámetros que se analizan son necesarios para poder evaluar y supervisar el proceso en curso.

6 Cálculos para el compostaje

6.1 Corrección del contenido del material de partida

Los excrementos de animales pueden presentar una proporción C:N demasiado estrecha. Para alcanzar una mejor proporción C:N para el compostaje, deben mezclarse con materiales ricos en carbono. Un ejemplo de ello son la paja picada, el serrín y la cascarilla de arroz.

Además, el contenido de agua de la mezcla desempeña un papel decisivo para el éxito en el desarrollo del compostaje. Con la adición de materiales muy secos, como p. ej. paja, se debe añadir una cantidad determinada de agua a la mezcla.

Para este fin en particular, Big Dutchman ha desarrollado la siguiente herramienta. Permite una determinación exacta de las cantidades necesarias de agregados (Amount additive) y agua (Amount water) para garantizar las condiciones óptimas para el proceso de enriado. Se han utilizado a modo de ejemplo ilustrativo valores procedentes de análisis de laboratorio de estiércol de cerdos y paja:


 Big Dutchman Composting Input Calculation Tool				V 1.0
Manure		Additive (straw or other)		
Carbon [C]	17,7 %	Carbon [C]	49,8 %	
Nitrogen [N]	1,26 %	Nitrogen [N]	0,68 %	
Water content	60,11 %	Water content	9,9 %	
Input C/N	14 /1	Input C/N	73 /1	
Input water content		43 %		
Target C/N		27 /1		
Target water content		60 %		
Amount additive		0,52 t / t of manure		
Amount water		426,00 l / t of composting material		

Ilustración 6-1: La Composting Input Calculation Tool para determinar la cantidad de agregados (en toneladas por tonelada de excrementos de animales) y agua (en litros por tonelada de mezcla)

6.2 Determinación del grado de madurez

Para la determinación del grado de madurez, se llena un recipiente Dewar (volumen 1,5 L, diámetro interior 100 mm) con compost fresco cribado (tamaño del grano Ø 10 mm) hasta el borde a granel y con ligeros golpes. La muestra se incuba durante 72 horas a temperatura ambiente (aprox. 20 °C) y se mide la temperatura cada hora. El sensor de temperatura se encuentra en el tercio inferior del recipiente. En caso de disminución notable de la temperatura, la prueba se considera concluida.

La evaluación de la prueba se realiza mediante la temperatura máxima, el gradiente máximo y la integral del área bajo la curva de temperatura durante 72 horas. Con las siguientes fórmulas se calcula el gradiente de la temperatura entre dos mediciones y la integral del área bajo la curva de temperatura durante un tiempo de medición determinado:

$$S1 = \frac{T2 - T1}{Z2 - Z1}$$

$$F1 = \frac{T1 + T2}{2 * (Z2 - Z1)}$$

S: gradiente de la temperatura entre dos mediciones [°C/h]

T: diferencia de temperatura entre dos mediciones [°C]

Z: diferencia de tiempo entre dos mediciones [h]

F: integral del área bajo la curva de temperatura durante un tiempo de medición definido [°C.h]

El grado de madurez puede determinarse a partir de los resultados con el siguiente diagrama:

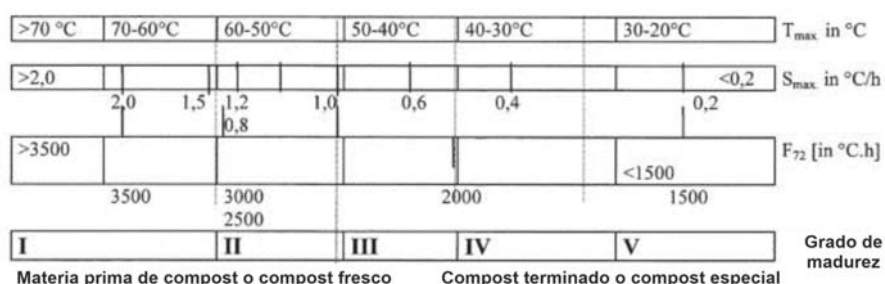


Ilustración 6-2: Diagrama para la determinación del grado de madurez

© Copyright 2019 by **Big Dutchman**