

# TRATAMIENTO DE LAS DEYECCIONES GANADERAS



Explotación vacuna donde las deyecciones del ganado se acumulan en un estercolero anejo. Foto: D. Lozano.



Balsa de almacenamiento de purines en una explotación porcina. Foto: A. Magrí.

## 01 Introducción

Agricultura y ganadería han sido actividades complementarias durante muchos años. En esta coyuntura, las deyecciones del ganado son un recurso valioso para abonar la tierra a la vez que su aplicación al suelo permite cerrar el ciclo de la materia. La profunda transformación experimentada por el sector agropecuario en las últimas décadas ha provocado la aparición de una ganadería industrial separada de la actividad agrícola. Con la intensificación de la producción se acentúa la necesidad de una correcta gestión de las deyecciones para evitar que estas causen un problema medioambiental. Aunque la actuación a priorizar continúe siendo su empleo como fertilizante de acuerdo con las necesidades de los cultivos (véase Dossier Tècnic núm. 6), varios factores pueden hacer recomendable un tratamiento.

La planificación de la gestión de las deyecciones hace falta realizarla en base a dos premisas: 1) la minimización de caudales en origen, 2) la correcta aplicación al suelo en función del cultivo, el espacio y el tiempo. Satisfechos estos requerimientos, puede darse el caso de que el ganadero no disponga de la suficiente superficie accesible para hacer la aplicación, o que el transporte a parcelas lejanas le represente un coste excesivo, o que necesite adecuar su capacidad de almacenamiento a las necesidades

temporales de los cultivos, o que le sobre una parte del nitrógeno que produce, o que los malos olores que genera creen un problema adicional a resolver, etc. Es en este momento cuando hace falta plantearse los tratamientos.

Un tratamiento es una herramienta tecnológica que permite adecuar la calidad y la cantidad de las deyecciones a la demanda existente. Tal y como se apunta en el anterior párrafo, el tipo de tratamiento a aplicar depende de la problemática a resolver, aunque el propósito final siempre sea el mismo: aumentar la capacidad de gestión, y por lo tanto, la capacidad de toma de decisiones. Así que, no hay una solución universal única aplicable en cualquier circunstancia.

En Cataluña, hoy, los nitratos son considerados los compuestos más problemáticos. Como consecuencia de su elevada solubilidad, este ión puede ser lavado del suelo con facilidad, y ser arrastrado fuera de la zona accesible para las raíces de los cultivos, contribuyendo así a la contaminación de aguas subterráneas. Es por esta razón que la legislación actual está muy focalizada en este problema y los planes de gestión se deben realizar en base al balance de nitrógeno. El Manual del Código de Buenas Prácticas Agrarias en relación con el Nitrógeno (<http://www.gencat.net/darp/c/campo/nitrogeno/doc/cnitro01.pdf>) es la guía básica de trabajo. No se puede olvidar, sin embargo, que la legis-

lación evolucionará para conseguir el mínimo impacto ambiental en relación a todas aquellas otras acciones y compuestos potencialmente perturbadores del medio: metales pesados, fósforo, emisiones de gases y malos olores a la atmósfera, consumo de energía, etc. Es pues necesario, escoger el tratamiento más adecuado, evaluar la problemática en su globalidad.

El marco legal actual y los documentos básicos de modificación o ampliación de este orientan la tendencia general respecto a la gestión y el tratamiento de los residuos orgánicos. La Directiva Europea 91/156/EEC de residuos, establece las bases para la gestión de estos, y sus palabras



**El tipo de tratamiento a aplicar depende de la problemática a resolver, aunque el propósito final siempre sea el mismo: aumentar la capacidad de gestión**

clave son: reducción, reciclaje y reutilización. La Directiva Europea 91/676/EEC, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en agricultura, establece restricciones al uso de abonos nitrogenados, entre los cuales se encuentran los residuos orgánicos, en zonas definidas como vulnerables, con el objetivo de luchar contra la contaminación difusa. La Directiva Europea 96/61/EC relativa a la prevención y control integrados de la contaminación, más conocida como Directiva IPPC, establece como objetivos la prevención y reducción integrada de la contaminación (suelos, agua y atmósfera) procedente de una serie de actividades, e introduce los límites de emisión según las mejores técnicas disponibles.

## 02 Características de las deyecciones ganaderas

No resulta sencillo tipificar la composición de estiércoles y purines. Muchos factores influyen: especie animal, estado fisiológico, alimentación, sistema de manejo, gestión del agua, sistema de limpieza, época del año, etc. Hace falta tener presente que la composición de las deyecciones puede condicionar el éxito de un tratamiento. A nivel de ejemplo, la tabla 1 muestra un rango de valores típico para la composición de purines de cerdo, los cuales, a grandes rasgos se caracterizan por:

- Contenido elevado en agua, superando fácilmente el 90%. Este bajo contenido en sólidos totales (ST) es la principal limitación para su transporte. A nivel terminológico, el contenido en agua de unas deyecciones se utiliza como criterio para diferenciar entre estiércoles y purines.
- Contenido bajo en materia orgánica. Este parámetro se mide a partir de los sólidos volátiles (SV) o bien de la demanda química de oxígeno (DQO). La relación SV/ST indica la fracción de los sólidos asimilable a orgánico. Elevados tiempos de almacenamiento de los purines bajo los emparillados de las naves supone la volatiliza-



**En el momento de su generación, las deyecciones ganaderas no contienen cantidades elevadas de nitratos. Este ión se forma con posterioridad, a partir de la oxidación biológica del amonio**

**Tabla 1. Composición, sobre materia fresca, de purines de cerdo (Bonmatí, 2001).**

Parámetro	Unidades	Mínimo	Máximo	Media
pH	-	6,56	8,70	7,68
Alcalinidad total	g CaCO <sub>3</sub> kg <sup>-1</sup>	5,08	59,25	21,47
Sólidos totales	g kg <sup>-1</sup>	13,68	169,00	62,16
Sólidos volátiles	g kg <sup>-1</sup>	6,45	121,34	42,33
Demanda química de oxígeno	g O <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup>	8,15	191,23	73,02
Nitrógeno total Kjeldahl	g N kg <sup>-1</sup>	2,03	10,24	5,98
Nitrógeno amoniacal	g N kg <sup>-1</sup>	1,65	7,99	4,54
Fósforo	g P kg <sup>-1</sup>	0,09	6,57	1,38
Potasio	g K kg <sup>-1</sup>	1,61	7,82	4,83
Cobre	mg Cu kg <sup>-1</sup>	9	192	40
Zinc	mg Zn kg <sup>-1</sup>	7	131	66

ción de compuestos orgánicos volátiles, y esto reduce su disponibilidad para posteriores procesos de tratamiento que requieran de materia orgánica biodegradable, como por ejemplo la producción de biogas o la desnitrificación.

- Contenido alto en nitrógeno amoniacal. El nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) representa alrededor del 75% del nitrógeno total (N<sub>TK</sub> = N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + N<sub>ORGÁNICO</sub>) contenido en los purines. Este hecho junto con la poca materia orgánica presente sitúa a los purines más próximos a un fertilizante mineral que a una enmienda orgánica. Hace falta señalar que, en el momento de su generación, las deyecciones ganaderas no contienen cantidades elevadas de nitratos (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Este ión se forma con posterioridad a la aplicación, a partir de la oxidación biológica del amonio en las capas superficiales del suelo.
- Contenido apreciable en fósforo y potasio, elementos fertilizantes necesarios para los cultivos.
- Contenido apreciable en metales. En el caso de aplicación al suelo, estos metales se van acumulando y pueden llegar a ocasionar problemas de fitotoxicidad.
- Elevada capacidad tampón, según indica su alcalinidad. Este hecho favorece algunos procesos de tratamiento, como por ejemplo la nitrificación, pero dificulta otros, especialmente aquellos que requieren una modificación del pH.

## 03 Procesos y estrategias de tratamiento

Hay que entender como procesos de tratamiento aquellos procedimientos que permiten conseguir un objetivo concreto. Estos procesos a la vez podrán combinarse para dar lugar a estrategias globales de tratamiento.

No hay ningún tratamiento que haga desaparecer completamente los purines o los estiércoles. Los únicos componentes eliminables, mediante su transformación en compuestos gaseosos inocuos para el medio ambiente, son el agua, la materia orgánica y el nitrógeno, que pueden convertirse en vapor de agua, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y nitrógeno molecular (N<sub>2</sub>). El resto de componentes tan sólo se pueden separar o concentrar.

Sin pretender ser exhaustivos, en la tabla 2 se enumeran algunos de los procesos aplicables al tratamiento de las deyecciones del ganado. Más información sobre estos procesos puede encontrarse a la web <http://www.arc-cat.net/ca/altres/purins/guia.html> (Campos et al., 2004). La combinación de procesos puede llevar a varias estrategias de tratamiento. La solución idónea dependerá de cada problemática. Ante la necesidad de aplicar un tratamiento, hace falta decidir si se debe hacer en la propia granja o bien, de mane-

ra colectiva, en una planta gestora de residuos. La mejor opción será aquella que implique un menor coste, teniendo en cuenta los costes totales de transporte y tratamiento (inversión y explotación).

#### 04 Soluciones a un excedente de nitrógeno

En caso de que interese dar solución a una situación de excedente de nitrógeno causado por deyecciones de tipología asimilable a un líquido (purines), dos actuaciones pueden ser aconsejables: (04.01) eliminar mediante nitrificación-desnitrificación previa separación de fases o (04.02) concentrar para abaratar la exportación hacia zonas deficitarias. Los procesos de concentración pueden verse favorecidos por una

digestión anaerobia previa. Si las deyecciones responsables del excedente fueran de tipología sólida (estiércoles y gallinazas), la mejor opción sería un tratamiento basado en el proceso de (04.03) compostaje y posterior exportación del compuesto producido.

##### 04.01 Eliminación de nitrógeno

En un contexto de tendencia a cerrar ciclos, hace falta priorizar los procesos de recuperación de nutrientes por encima de los de eliminación. Aún así, condicionantes económicos, de localización, o bien dificultades para valorar los productos recuperados pueden influir en la decisión del tipo de tratamiento a aplicar, y hacer aconsejable eliminar en lugar de recuperar.



Ante la necesidad de aplicar un tratamiento, hace falta decidir si este se debe hacer en la propia granja o bien, de manera colectiva, en una planta gestora de residuos

**Tabla 2. Síntesis de procesos aplicables en el tratamiento de las deyecciones ganaderas, principales objetivos y requerimientos energéticos limitantes**

Proceso	Principales objetivos	Energía
<b>Almacenamiento</b> <i>estercoleros, balsas</i>	Adecuar la producción a la necesidad de los cultivos Regular entradas y salidas en instalaciones de tratamiento	
<b>Incorporación de aditivos</b> <i>absorbentes, fluidizantes, floculantes, enzimas, bacterias</i>	Reducir emisiones de olores y gases contaminantes Fluidificar, evitando la formación de costras y deposiciones Transformar parte del nitrógeno amoniacal en orgánico Favorecer la separación de fases	
<b>Separación sólido-líquido</b> <i>tamices, centrifugas, prensas</i>	Propiciar líneas diferentes de tratamiento, transporte o aplicación a las fracciones resultantes	Eléctrica
<b>Compostaje</b> <i>pilas estáticas pilas con volteo</i>	Obtener una enmienda orgánica (compuesto) Estabilizar y higienizar con temperatura Reducir peso y volumen para la descomposición de la materia orgánica y la evaporación de humedad	Eléctrica Mecánica
<b>Digestión aerobia</b>	Eliminar y estabilizar la materia orgánica	Eléctrica
<b>Digestión anaerobia</b>	Producir biogas, fuente de energía Eliminar y estabilizar la materia orgánica Higienizar	
<b>Evaporación y secado</b>	Reducir el volumen Recuperar los nutrientes en la fase sólida Aprovechar la energía térmica excedente de una cogeneración	Térmica
<b>Stripping y absorción</b>	Recuperar el nitrógeno amoniacal	Térmica Eléctrica
<b>Nitrificación y desnitrificación</b> <i>sistema continuo, discontinuo</i>	Eliminar nitrógeno amoniacal y materia orgánica de la fase líquida	Eléctrica
<b>Ultrafiltración y ósmosis inversa</b>	Reducir la conductividad y la presencia de materiales solubles en la fase líquida Higienizar	Eléctrica
<b>Ozonización</b>	Oxidación de compuestos orgánicos recalcitrantes	Eléctrica



**El compost es un material estable, libre de patógenos y, que puede ser aplicado al suelo de forma beneficiosa para los cultivos**

En un tratamiento diseñado con el propósito de eliminar nitrógeno, el objetivo básico radica en transformar el  $\text{N-NH}_4^+$  contenido en los purines a  $\text{N}_2$ . La nitrificación-desnitrificación (NDN) es un proceso biológico combinado que permite esta transformación. Durante la nitrificación, el amonio es oxidado a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) por microorganismos, en presencia de oxígeno (condiciones aerobias) y carbono inorgánico.



Durante la desnitrificación, el nitrato es reducido por otros microorganismos a nitrógeno molecular en ausencia de oxígeno (condiciones anóxicas) y presencia de carbono orgánico, y se transfieren finalmente a la atmósfera.



Mediante un tratamiento de NDN sólo se debe plantear eliminar la parte sobrante del nitrógeno generado en una explotación. La cuantificación de esta fracción hace falta hacerla de acuerdo con el correspondiente plan de gestión. Si el objetivo planteado fuera eliminar la máxima cantidad posible del nitrógeno, en determinadas



**Mediante un tratamiento de ndn sólo se debe plantear eliminar la parte sobrante del nitrógeno generado en una explotación. La cuantificación de esta fracción hace falta hacerla de acuerdo con el correspondiente plan de gestión**

situaciones podría darse la paradoja de necesitar adquirir fertilizantes minerales con tal de satisfacer las necesidades de los propios cultivos a la vez que se elimina nitrógeno.

Previa a la etapa de tratamiento biológico, una separación de las fases sólida y líquida de las deyecciones permitirá la gestión diferencial de ambas corrientes resultantes. Las eficiencias de separación conseguidas dependen de la tecnología utilizada (Ford y Fleming, 2002). Únicamente la fracción líquida será susceptible de un tratamiento de NDN. Aquella parte del nitrógeno que haya sido separada en la fracción sólida, así como el nitrógeno acumulado en los lodos generados durante el tratamiento, también habrán de ser considerados en el balance de este elemento. En este contexto, pretender conseguir un agua completamente depurada, a pesar de ser posible, puede resultar económicamente inviable. En cuanto al consumo de energía, son habituales valores entre 10 y 25 kW-h por cada metro cúbico de purín tratado.

#### 04.02 Recuperación de nitrógeno

Diferentes procesos permiten concentrar el nitrógeno presente en las deyecciones ganaderas, y hacen posible la recuperación. El producto concentrado se debe poner a disposición de gestores u otros agentes con capacidad para valorar el producto en el mercado de los fertilizantes. Los procesos de recuperación pueden basarse en principios físicos, químicos y/o térmicos. Los principales son:

- Separación de las fracciones sólida y líquida con la posible adición de algún agente que aumente la eficiencia. La mejora en la gestión que permite este proceso puede hacerlo también interesante en situaciones en que no haya un problema de excedente.
- Precipitación de sales de amonio en forma de estruvita ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ). La utilización de reactivos químicos permite favorecer fenómenos de precipitación, con la recuperación simultánea de nitrógeno y fósforo. El gasto en reactivos asociado a este proceso puede ser elevado.
- Recuperación de una solución amoniacal mediante el proceso combinado de stripping y absorción. El nitrógeno amoniacal puede ser separado de los purines mediante arrastre con una corriente gaseosa y posterior absorción en una solución ácida. El proceso de stripping se ve favorecido por elevados valores de pH y temperatura.



Vista superficial del reactor aerobio de una instalación para la eliminación de nitrógeno situada en Calldetenes (Osona). Foto: A. Magri.



Vista de una planta de tratamiento de purines basada en la combinación de los procesos de digestión anaerobia y evaporación, Juneda (las Garrigues). Foto: X. Flotats.



Vista general de una planta de compostaje en Alguaire (Segrià). Foto: F. Solé.

- Evaporación (aplicable a líquidos, con una concentración final del 20-30% en ST) y secado (aplicable a sólidos, con una concentración final que puede superar el 90% en ST).

Los tres últimos procesos de recuperación mencionados mejoran con una digestión anaerobia previa, puesto que este proceso modifica las características de las deyecciones y además puede aportar parte de la energía necesaria para el tratamiento. De hecho, la capacidad de producir energía puede ser motivo suficiente como para hacer interesante una estrategia de tratamiento basada en esta tecnología. Se trata de un proceso biológico fermentativo en que la materia orgánica se descompone y transforma en una mezcla de gases combustible formada



Planta de compostaje. Foto: ECA de l'Empordà.

mayoritariamente por metano y dióxido de carbono, el biogas, con una potencia calorífica inferior del orden de  $22.000 \text{ KJ Nm}^{-3}$ . Este proceso se caracteriza por desarrollarse en ausencia de oxígeno. En las últimas décadas, la digestión anaerobia aplicada a purines se ha mostrado como un proceso técnicamente viable a la vez que versátil que se adapta a diferentes condiciones de trabajo (Burton y Turner, 2003). A nivel orientativo, un metro cúbico de purines de cerdo puede generar unos  $15\text{-}20 \text{ Nm}^3$  de biogas. Producciones ligeramente superiores pueden ser logradas en el caso de tratar purines de origen vacuno. La producción de biogas puede verse incrementada si se plantea el tratamiento junto con otros residuos orgánicos (codigestión).

#### 04.03 Compostaje

El compostaje consiste en un proceso biológico aeróbico de estabilización de la materia orgánica. Al inicio del proceso, la descomposición del sustrato da lugar a un incremento de la temperatura, y logra condiciones termófilas (entre  $50$  y  $70^\circ\text{C}$ ). Esta generación de calor conlleva la evaporación de parte de la humedad del residuo. El proceso requiere de la aportación de aire hasta que la materia orgánica biodegradable se haya agotado, momento en que la temperatura disminuirá y se iniciará la etapa de maduración. El producto resultante (compuesto) es un material estable, libre de patógenos y que puede ser aplicado al suelo de forma beneficiosa para los cultivos.

La forma más simple y asequible de operar consiste en la formación de pilas de unos 2 metros de altura, que se voltean y humedecen cuando

es conveniente. Hay otros sistemas que permiten acelerar el proceso, pero a un mayor coste. Para que se pueda iniciar el proceso, hace falta que se cumplan unas ciertas condiciones de humedad, estructura y composición.

- *Humedad.* Una falta de agua retarda el proceso, y dificulta la descomposición de la materia orgánica. Si por el contrario hay un exceso de agua, el oxígeno no puede entrar dentro de los poros, y limita el crecimiento de los microorganismos. Se considera como óptima una humedad inicial entre el 45 y 60%.
- *Porosidad.* La porosidad del material dificulta o favorece la transferencia del oxígeno, hecho que afecta la descomposición de la materia orgánica. Normalmente habrá que mezclar los estiércoles con material vegetal (paja, restos de poda, corteza de pino, etc.) para conseguir esta porosidad.
- *Relación C/N.* Hace falta ajustar la relación entre el contenido en carbono y nitrógeno del material a compostar dentro el rango 25-35. Las deyecciones ganaderas suelen contener bastante nitrógeno, de forma que será conveniente mezclarlas con materiales complementarios, ricos en carbono pero pobres en nitrógeno.

#### 05 Bibliografía

BONMATÍ, A. (2001). *Usos de l'energia tèrmica per a la millora del procés de digestió anaeròbia de purins de porc i per a la recuperació de productes d'interès*. Tesis doctoral. UdL. Lleida.

BURTON, C. H.; TURNER, C. (2003). *Manure management: treatment strategies for sus-*



Los procesos de recuperación se ven mejorados con una digestión anaerobia previa, puesto que este proceso modifica las características de las deyecciones y además puede aportar parte de la energía necesaria para el tratamiento

*tainable agriculture*. Silsoe Research Institute. Bedford, UK.

CAMPOS, E.; ILLA, J.; MAGRÍ, A.; PALATSI, J.; SOLÉ, F.; FLOTATS, X. (2004). *Guia de tractaments de les dejeccions ramaderes*. ARC i DARP Generalitat de Catalunya. Lleida. (<http://www.arc-cat.net/ca/altres/purins/guia.html>)

FORD, M.; FLEMING, R. (2002). *Mechanical solid-liquid separation of livestock manure, literature review*. Ridgetown College. University of Guelph. Ontario, Canada. ([http://www.ridgetownc.on.ca/Research/documents/fleming\\_separator.pdf](http://www.ridgetownc.on.ca/Research/documents/fleming_separator.pdf))

GENERALITAT DE CATALUNYA (2000). *Manual del codi de bones pràctiques agràries: nitrogen*. DARP. Barcelona. (<http://www.gencat.net/darp/c/camp/nitrogen/doc/cnitro01.pdf>)

#### 06 Autores



**Magrí Aloy, Albert**  
GIRO Centro Tecnológico.  
[albert.magri@giroct.lirta.es](mailto:albert.magri@giroct.lirta.es)



**Palatsi Civit, Jordi**  
GIRO Centro Tecnológico.  
[jordi.palatsi@giroct.lirta.es](mailto:jordi.palatsi@giroct.lirta.es)



**Flotats Ripoll, Xavier**  
GIRO Centro Tecnológico.  
[xavier.flotats@giroct.lirta.es](mailto:xavier.flotats@giroct.lirta.es)