



Xavier Flotats

GIRO Centro Tecnológico. Rambla Pompeu Fabra.

Departamento de Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología. Universidad Politécnica de Cataluña.

XXV Curso de Especialización FEDNA



Foto: AXON COMUNICACIÓN

» Introducción

En los últimos años hemos pasado de hablar de "echar purines" a "fertilizar con purines". Este cambio de nomenclatura es indicativo de una evolución positiva en el sector, en la que además estamos aprendiendo que no debe abordarse la problemática de los purines como algo independiente de la producción animal. La gestión de las deyecciones es una actividad que ha de formar parte íntegra de la producción ganadera, tan primaria como la alimentación o el control sanitario, y estrechamente relacionada con éstas.

No existe una solución única y universal de tratamiento de deyecciones ganaderas que asegure la "eliminación" del problema. La solución es una combinación de gestión y tecnología, adaptada a cada realidad, y siempre con el objetivo, u objetivos, que se defina en cada zona en función del balance de nutrientes realizado en ésta, del problema de transporte que se deba resolver y de otros requerimientos que se deban cumplir. La herramienta básica de toma de decisiones, y de ordenación de las actuaciones, ha de ser el plan de gestión de nutrientes (PGN), individual, o colectivo, de las deyecciones y otros residuos orgánicos en el área geográfica objeto del plan.

Los residuos orgánicos potencialmente valorizables como fertilizantes o enmiendas deben verse como recursos a gestionar, en lugar de contaminantes a considerar. Siguiendo este simple concepto, las deyecciones deben consolidarse como un subproducto de la producción animal y ser tratadas conforme se requiera para cumplir el objetivo de

una gestión óptima como fuente de recursos. Esta gestión depende de condiciones locales, tales como la accesibilidad a los cultivos, los costes de transporte o los precios de los fertilizantes minerales (Cuadro 1).

Un plan de gestión se puede definir como un conjunto de acciones conducentes a adecuar la producción de deyecciones a la demanda de los suelos agrícolas como productos de calidad (Teira-Esmatges y Flotats, 2003). Este conjunto de acciones debe incluir la minimización de componentes limitantes (por ejemplo, reducción del contenido en agua de las deyecciones mediante la desviación de aguas pluviales o el control de bebederos, la reducción del contenido en metales pesados, nitrógeno o fósforo, mediante cambios en la alimentación del ganado, etc); un plan de fertilización de suelos; el análisis económico de costes; y el análisis de posibles tratamientos conducentes a la mejora de la gestión. Cuando en una determinada zona la cantidad de nutrientes producidos es superior a la demanda, la complejidad del sistema hace necesario un mayor nivel de planificación, lo cual significa un cambio de escala de análisis y de gestión, de individual a colectiva. La diferenciación en la escala de planificación de la gestión es, pues, un factor clave para posteriores implantaciones de instalaciones de tratamiento individuales, a escala de granja, o colectivas, centralizadas (Flotats *et al*, 2009). En este sentido, la decisión sobre la escala de tratamiento y su complejidad tecnológica ha de resultar de la planificación de la gestión en lugar de ser un objetivo en sí mismo.

Cuadro 1: Factores a considerar durante el diseño del PGN y posibles objetivos a cumplir por el tratamiento de las deyecciones.

Factores a considerar
Disponibilidad de suelos y cultivos accesibles para fertilizar
Requerimientos nutricionales y productividad de estos cultivos
Presencia de otros fertilizantes orgánicos competitivos/sinérgicos en la zona
Precios de los fertilizantes minerales
Factores climáticos
Densidad e intensidad de granjas
Estructura de la propiedad de granjas y parcelas de cultivos
Distancias y costes de transporte
Precios de la energía
Posibles objetivos de la estrategia de tratamiento adoptada
Adecuar la producción a las necesidades estacionales de los cultivos
Transportar fuera de la zona de producción; reducir volumen
Transformar las deyecciones en productos con valor añadido
Adecuar la composición a la demanda agrícola
Recuperar nutrientes
Eliminar nitrógeno
Estabilizar, eliminando materia orgánica fácilmente biodegradable
Higienizar
Eliminar xenobióticos u otros contaminantes orgánicos
Producir energía renovable
Reducir emisiones de gases de efecto invernadero
Reducir emisiones de amoníaco

La producción de nitrógeno de origen ganadero podría sustituir una parte del nitrógeno mineral que se consume, y se importa. Por otro lado, la dosis de nitrógeno mineral de origen ganadero aplicable por unidad de superficie agraria útil en España es relativamente baja (21,8 kg N/ha; ver Figura 1), de manera que en líneas generales podría afirmarse que España es un país que no debería tener problemas graves en este ámbito. El principal problema radica en la producción ganadera concentrada en determinadas áreas geográficas, donde localmente puede existir un problema especialmente grave. En este contexto, el transporte se convierte en un limitante técnico y económico para una adecuada gestión. El coste del transporte también aporta un criterio económico para la toma de decisiones: un tratamiento será interesante si el coste final del tratamiento, transporte y uso de los productos obtenidos es inferior al coste del transporte de las deyecciones en bruto.

Asimismo, el mercado de las deyecciones ganaderas aplicables a los suelos, como abono o enmienda orgánica, encuentra competencia: fangos de estaciones depuradoras, residuos orgánicos de la industria alimentaria y fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (Figura 2.A). esta situación de competencia es positiva a fin de tender a un mercado que evolucione hacia cotas de calidad en los productos que se aplican a los suelos y cultivos, pero requiere de un marco global que ordene esta evolución y de las herramientas de gestión, control y tecnológicas que lo hagan posible. Este marco abre un campo de actividad nuevo, el de la gestión y tratamiento de residuos orgánicos, de importancia estratégica para cualquier país.

Uno de los principales inspiradores básicos para la creación del marco global del conocimiento es considerar que el suelo no es un vertedero, sino que es un valor patrimonial que hay que conservar y, en su caso, mejorar. Este principio básico implica que al suelo y a los cultivos no se les puede aplicar residuos, sino productos de calidad comprobada y contrastada. Implica, también, que los residuos orgánicos han de modificar sus características mediante los procesos tecnológicos de transformación que permitan obtener productos de calidad.

Un último concepto, implícito en todo lo mencionado hasta ahora, es el de la gestión integrada de residuos de diversos orígenes por áreas

geográficas. Las mezclas pueden permitir pasar de una situación de competencia por el suelo agrícola a otra de complementariedad (Figura 2.B). Hay que evitar, obviamente, que la mezcla de residuos sea una práctica para diluir contaminantes.

La herramienta básica de toma de decisiones, y de ordenación de las actuaciones, ha de ser el plan de gestión de residuos orgánicos en el área geográfica objeto de éste. Este plan puede ser individual, por cada granja, o colectivo, por granjas o por área geográfica.

► Planes de gestión

Un plan de gestión de residuos ganaderos es un programa, individual o colectivo, de actuaciones que conduzcan a adecuar la producción de deyecciones a las necesidades de productos de calidad contrastada para los cultivos, en el espacio y en el tiempo. A ser posible, un plan de gestión ha de incluir todos los residuos orgánicos, producidos en la zona geográfica objeto de estudio, susceptibles de ser aplicados, también, a suelos y cultivos, a fin de pasar de situaciones de competencia a situaciones de complementariedad y de aprovechamiento de sinergias. Un plan de gestión ha de contemplar actuaciones en los ámbitos que se indican, por orden de prioridad:

1. Medidas de reducción en origen

- *Medidas de reducción de caudales.* Estas medidas son especialmente importantes para los purines de cerdo, los cuales tienen un contenido en agua superior al 90%. Su aplicación se ha de traducir en un ahorro en los costes de transporte y tratamiento. Una acción simple con gran impacto en esta reducción de costes es evitar que las aguas pluviales lleguen a las balsas de almacenamiento de purines.

- *Medidas de reducción de componentes,* tales como nitrógeno, fósforo, potasio y metales pesados. Su aplicación concierne a la modificación de las dietas del ganado. Y se ha de ver compensada con la posibilidad de aplicar dosis superiores de purines en cultivos próximos, reduciendo costes de transporte.

Estas medidas tienen asociados costes de producción, pero también reducción de costes de gestión y tratamiento de los purines. La internacionalización de los costes ambientales se presenta como una herramienta necesaria para determinar la relación óptima.

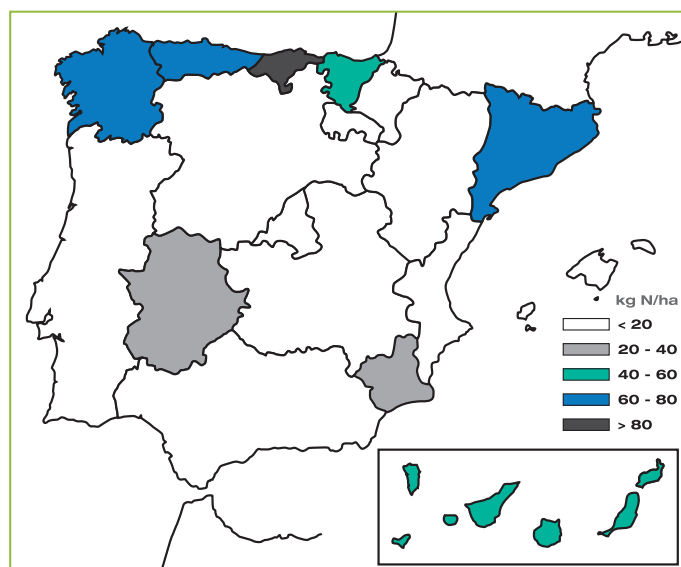
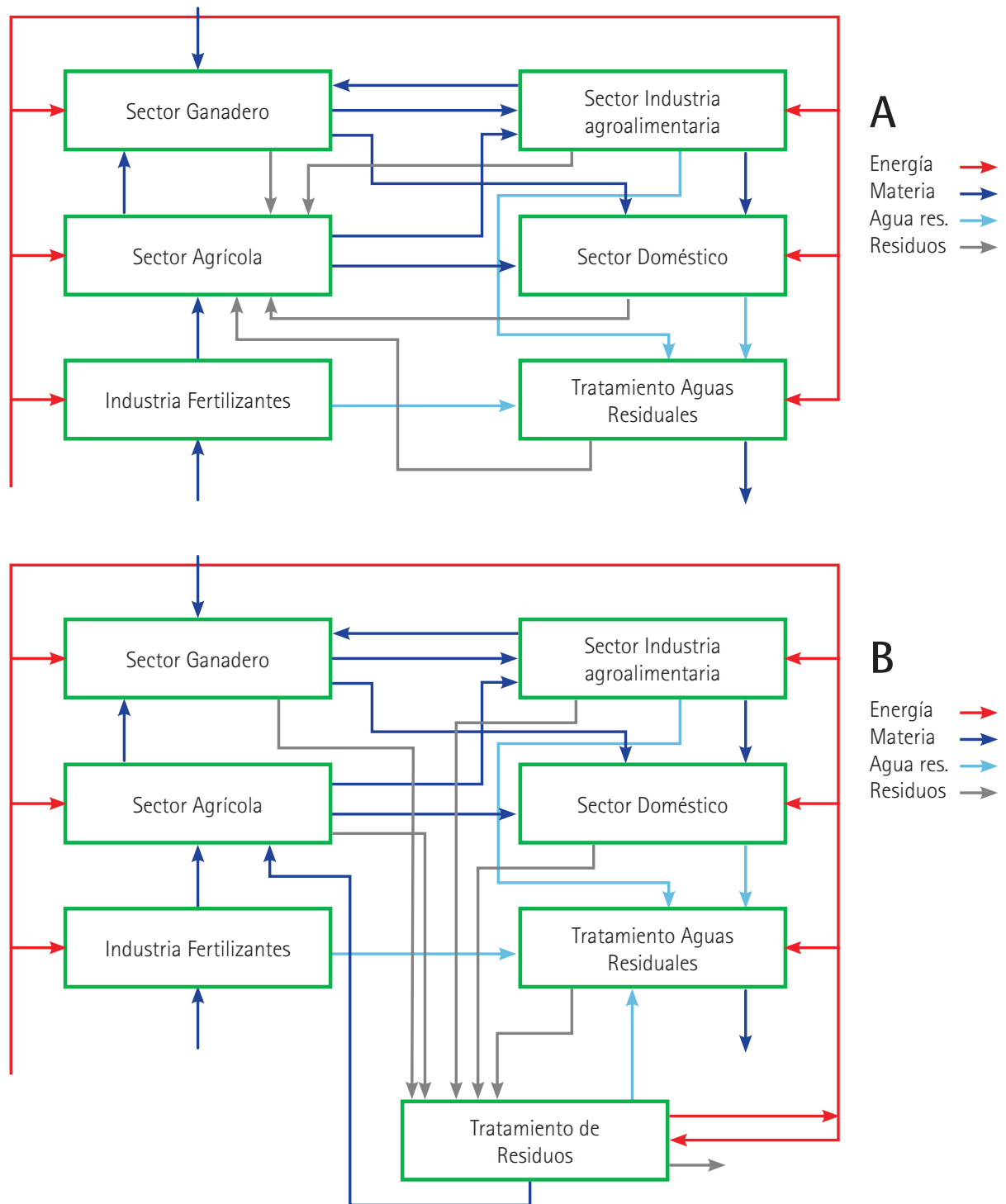


Figura 1: Dosis media de Nitrógeno de origen ganadero en España: 21,8 Kg N/ha. Elaboración propia a partir de datos MAPA: Encuesta ganadera en España (Diciembre 2003) para: porcino, bovino, caprino y ovino; Encuesta de superficies agrarias (pastos incluidos) de 2004.



Figura 2: Las deyecciones ganaderas no son los únicos productos orgánicos que compiten por el suelo agrícola (A). La gestión y tratamiento de los residuos orgánicos ha de abastecer de productos de calidad al sector agrícola (B).



2. Plan de aplicación a suelos y cultivos

Un plan de aplicación, o de fertilización, se ha de confeccionar a partir del conocimiento de la composición de los residuos, o de los productos derivados de ellos, el mapa de suelos de la zona de aplicación, y características de los cultivos, del sistema agrícola, climatológicos e hidrológicos. En caso de gestión colectiva y centralizada de varias granjas, la distribución geográfica de éstas, y la logística de recogida a adoptar, también han de ser objeto de consideración. El balance de nutrientes entre los contenidos en los residuos ofertados y la demanda de los cultivos, las demandas externas a la zona de aplicación del plan, y los costes de transporte asociados, definen la posible problemática a la que los tratamientos han de dar solución. Asimismo, el plan de aplicación estacional de los cultivos incide directamente en el volumen necesario de almacenamiento, en las propias granjas o en almacenes colectivos.

La ejecución del plan comporta dificultades extremas si hay que gestionar gran cantidad de parcelas, con cultivos y tipologías de suelos diferentes. Si a la vez hay que gestionar muchas granjas, es necesario el uso de aplicaciones informáticas (Thompson *et al.*, 1997). Este es el caso de la zona norte de la comarca de Les Garrigues (Lleida), donde se ejecuta un plan de gestión desde el año 2001, en el que se combina un programa informático de logística de recogida a granjas, la distribución a parcelas utilizando un sistema de información geográfica (SIG) y el tratamiento colectivo en dos plantas de concentración térmica, combinando la digestión anaerobia, la evaporación al vacío y el secado para obtener un producto seco que concentra todo el nitrógeno orgánico y amoniacal, el cual se transporta a zonas deficitarias en nutrientes (Palatsi *et al.*, 2005).



3. Tratamientos

Una estrategia de tratamiento es una combinación de procesos unitarios con el objetivo de transformar los residuos a fin de adecuarlos a la demanda como productos de calidad. La definición anterior comporta un cambio en la apreciación popular sobre el tratamiento de residuos y obliga a un cambio en la nomenclatura, primando los conceptos de recuperación o creación de nuevos productos a partir de residuos orgánicos. El tratamiento de residuos es una nueva actividad industrial de importancia estratégica y deben utilizarse términos que la identifiquen.

La idoneidad de una estrategia de tratamiento dependerá de cada zona geográfica, de las necesidades que hayan puesto de manifiesto los estudios preliminares del plan de gestión, de la calidad del producto final obtenido y de los costes asociados. En todo caso, el objetivo básico que hay que perseguir es el de aumentar la capacidad de gestión sobre el residuo. Los objetivos a cumplir por los tratamientos pueden ser múltiples, pudiendo ser: 1) *Adecuar* la producción de residuos a las necesidades estacionales de los cultivos; 2) *Transportar* fuera de la zona de aplicación del plan de gestión; 3) *Valorar* económicamente el residuo; 4) *Adecuar* la composición a los requerimientos del entorno (suelos, cultivos, malos olores, eliminar parte del nitrógeno...); 5) *Extraer y recuperar* nutrientes valorizables (nitrógeno, fósforo...); 6) *Higienizar*: reducir o eliminar patógenos; 7) *Producir* energía; 8) *Aislar*, en caso de no ser posible su valoración o no cumplir los requerimientos de calidad, previa estabilización y/o valoración.

Un análisis detallado de cada operación y estrategia de tratamiento puede encontrarse en Burton y Turner (2003). Una descripción más simple y visual, con objetivos pedagógicos, puede encontrarse en Campos *et al.* (2004).

En el cuadro 2 se sintetizan las características básicas de los procesos susceptibles de ser aplicados en la estrategia de tratamiento, indicando las formas de energía necesarias limitantes del proceso. En todos los casos, la energía eléctrica se refiere al consumo de energía mecánica para separar fases, agitar o transferir O_2 . Una combinación de estos procesos corresponderá a una estrategia de tratamiento.

En general, las tendencias legislativas a nivel europeo priman la introducción de los procesos de compostaje y digestión anaerobia, por

separado o integrados en la estrategia de tratamiento, para obtener productos orgánicos estables, mineralizados, higienizados, ahorrar energía o minimizar las emisiones gaseosas. La tendencia legislativa y la necesidad de primar la recuperación de compuestos a fin de reintroducirlos en los ciclos productivos, crea problemas locales allí donde la demanda de productos recuperables es muy inferior a la oferta de éstos. Éste es el caso de las zonas excedentarias de nutrientes. En estas zonas se pueden adoptar tres tipos de soluciones genéricas:

- 1) Cerrar granjas y localizarlas de nuevo en zonas deficitarias de nutrientes;
- 2) Reducir el volumen de residuos y modificar su calidad a fin de favorecer el transporte a zonas donde el mercado los acepte;
- 3) Depurar, eliminando o apartando de los circuitos de reciclaje los residuos o parte de sus componentes.

La primera opción tiene repercusiones socioeconómicas para la zona geográfica considerada, y ha sido una de las actuaciones emprendidas por países como Holanda. La segunda opción corresponde a los sistemas de depuración, para los cuales es necesario considerar que sólo son eliminables en parte la materia orgánica (por vía aerobia o anaerobia) y el nitrógeno (mediante nitrificación-desnitrificación). Si también se producen excedentes en fósforo, será necesario concretar éste para ser transportado a zonas con demanda. La tercera opción, complementable con la segunda, corresponde a los sistemas de concentración de la fracción sólida, mediante separación física o concentración, para favorecer económicamente el transporte y uso en zonas con demanda de fertilizantes.

El proceso de concentración puede realizarse mediante dos métodos genéricos: mediante separación en membrana o mediante procesos térmicos. La separación en membrana, mediante ósmosis inversa sólo es aplicable a la fracción líquida previamente separada mediante tamizado, filtración o ultrafiltración, y con costes de mantenimiento y de operación prohibitivos, siendo los costes energéticos elevados ($> 25kWh/m^3$). Según Burton y Turner (2003), el uso de tecnologías de membranas es posible, siempre y cuando se haya estabilizado previamente la materia orgánica y los sólidos hayan sido eliminados mediante un proceso de separación.

Los procesos térmicos unitarios aplicados a la concentración son, de forma genérica, la evaporación (aplicable a líquidos para concentrar hasta el 20-30% en sólidos totales) y el secado (aplicable a sólidos para concentrar hasta más del 90% en sólidos totales). Los procesos térmicos han de complementarse con otros para evitar el deterioro del material, la volatilización de compuestos orgánicos y amoníaco y, en general, para conseguir la recuperación de recursos con el mínimo impacto ambiental. Una revisión del estado de la tecnología de los procesos de concentración térmica puede encontrarse en Flotats *et al.* (2004).





Para la definición de las alternativas y asegurar que el plan de fertilización se puede cumplir, el estudio base del plan de gestión se ha complementar con:

a) *Cálculo de la capacidad de almacenaje* (balsas y estercoleros) para equilibrar la producción con la demanda temporal de los cultivos. La capacidad adecuada puede constituir un limitante económico para cada granja y puede ser recomendable un almacenaje colectivo para reducir costes. El método de cálculo de esta capacidad es igual al del cálculo de volumen de una balsa de homogenización de caudales en una planta depuradora. Un ejemplo de cálculo puede encontrarse en Campos *et al.* (2004).

b) *Análisis de restricciones legales* a las aplicaciones en la zona geográfica objeto de estudio, tales como normativas municipales o de rango superior.

c) *Análisis territorial de la distribución de granjas y de otros residuos orgánicos*, a fin de definir zonas donde sea posible y/o recomendable un tratamiento colectivo, reduciendo así los costes asociados al transporte.

La elección de la escala geográfica de análisis y aplicación del plan de gestión (individual por granja o colectivo) se considera una de las decisiones clave para el éxito de las soluciones.

Cuadro 2: Síntesis de operaciones aplicables al tratamiento de residuos ganaderos (T:residuo íntegro; S:fracción sólida; L:fracción líquida).

Proceso	Alocado a fracción S,L, o T	Objetivo	Necesidades energéticas limitantes
1. Balsas homogeneización, estercoleros	T,S,L	Regular la producción continua al consumo estacional de cultivos. Regular entradas discontinuas a plantas de tratamiento. Reducir patógenos.	
2. Separación de fases	T	Separar para propiciar líneas específicas de tratamiento, transporte o aplicación a fracción S o L resultante.	Energía eléctrica
3. Aplicación de encimas y bacterias a balsas	T	Aumentar concentración de sólidos. Transformar N amoniacal a orgánico.	
4. Nitrificación	L	Transformar N amoniacal a nítrico.	Energía eléctrica
5. Desnitrificación	L	Transformar N nítrico a N ₂ . Eliminar materia orgánica fácilmente degradable.	
6. Descomposición aeróbica heterótrofa	L,T	Eliminar materia orgánica.	Energía eléctrica
7. Digestión anaerobia	T,L,S	Producir CH ₄ (energía). Eliminar materia orgánica. Higienizar.	
8. Compostaje	T,S	Eliminar/estabilizar materia orgánica. Higienizar. Obtener abono orgánico de calidad.	Energía mecánico/ eléctrica
9. Reducción biológica de fósforo (P)	L	Transferir P soluble a fase biológica sedimentable. Eliminar materia orgánica fácilmente degradable.	Energía eléctrica
10. Precipitación química	L	Transferir algunos componentes a fase sedimentable. Separar P (apatitas, estruvita).	
11. Secado/peletización	S	Separar agua. Reducir volumen.	Energía térmica
12. Evaporación/ concentración	L	Separar agua. Reducir volumen.	Energía térmica
13. Stripping/absorción	L	Recuperar N amoniacal.	Energía eléctrica/ térmica
14. Higienización térmica	T	Eliminar/inactivar patógenos. Hidrólisis térmica.	Energía térmica
15. Dosificación de aditivos	T,S,L	Modificar composición para adecuarla a cultivos o posibilitar otros procesos.	
16. Ozonización	L	Oxidación compuestos orgánicos recalcitrantes.	Energía eléctrica
17. Filtración en membrana/osmosis inversa	L	Separar sales. Reducir conductividad.	Energía eléctrica