

GUÍA DE LOS TRATAMIENTOS DE LAS DEYECCIONES GANADERAS



Generalitat de Catalunya
Departament de Medi Ambient i Habitatge
Agència de Residus de Catalunya



Generalitat de Catalunya
Departament d'Agricultura,
Ramaderia i Pesca



Centre UdL-IRTA
Àrea d'Enginyeria Ambiental

AUTORES:

Lleida, diciembre de 2004

Elena Campos Pozuelo

Josep Illa Alibés

Albert Magrí Aloy

Jordi Palatsi Civit

Francina Solé Mauri

Xavier Flotats Ripoll
(Coordinador)

Con la colaboración técnica de la Agència de Residus de Catalunya

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL DOCUMENTO	5
2. CARACTERÍSTICAS DE LAS DEYECCIONES GANADERAS	7
3. ¿QUÉ HACEN LOS TRATAMIENTOS?	11
4. FICHAS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	15
4.1. BALSAS	16
4.2. ADITIVOS A BALSAS Y PIENSOS	20
4.3. SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO-LÍQUIDO	24
4.4. COMPOSTAJE	30
4.5. NITRIFICACIÓN-DESNITRIFICACIÓN (NDN)	34
4.6. DIGESTIÓN ANAEROBIA	40
4.7. DIGESTIÓN AEROBIA	45
4.8. EVAPORACIÓN Y SECADO	47
4.9. STRIPPING Y ABSORCIÓN	49
4.10. FILTRACIÓN POR MEMBRANA Y ÓSMOSIS INVERSA	50
4.11. OZONIZACIÓN	55
4.12. COMBINACIÓN DE PROCESOS PARA LA ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO	56
4.13. COMBINACIÓN DE PROCESOS PARA LA REDUCCIÓN DE VOLUMEN	
POR CONCENTRACIÓN TÉRMICA	58
5. SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO	59
6. ESQUEMAS DE ESTRATEGIAS DE TRATAMIENTO DE LOS DIAGRAMAS 5.1	64

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL DOCUMENTO

Desde siempre, las deyecciones ganaderas se han considerado como un recurso de gran valor para la tierra, por aportar nutrientes a los cultivos, por mantener un suelo esponjoso y rico, con capacidad de retener agua y evitar su pérdida por erosión y, en definitiva, por mejorar las cosechas. Este conocimiento ancestral se fue enriqueciendo de generación en generación, con aportaciones sobre qué debe hacerse con el estiércol para mejorar su calidad, sobre el tiempo de espera hasta su aplicación, sobre cómo mezclarlos, sobre las cualidades específicas de cada uno, sobre cómo apilarlos y voltearlos e, incluso, sobre cómo puede tenerse en cuenta el efecto de la luna. De algún modo, el concepto de tratamiento estaba implícito en la cultura tecnológica del sector.

El cambio en la manera de actuar se produjo cuando se fue pasando de una agricultura y ganadería de supervivencia, a una agricultura productiva con nuevas y mayores necesidades de fertilizantes, y a una ganadería industrial desvinculada de la producción agrícola cercana. Este aumento de la productividad de los sistemas agrarios ha representado una mejora económica y en la calidad de vida del sector, pero el cambio en los esquemas de trabajo no ha llevado a una sustitución de los antiguos hábitos, en relación a los estiércoles, por una nueva cultura tecnológica que valore adecuadamente estos productos. Estos productos de gran valor son un grave problema si no se gestionan correctamente. Esta gestión necesaria obliga a la planificación, a la definición del problema y de las acciones que deben tomarse para solucionarlo.

La aplicación en el suelo en las dosis adecuadas para cada cultivo es la mejor vía de valorización. Estas dosis deben calcularse basándose en el contenido en nutrientes de los estiércoles y de los purines, y las aplicaciones deben llevarse a cabo en unas épocas determinadas del año, que dependen de cada cultivo. La planificación de las aplicaciones y, también, la planificación de todas las acciones que hacen referencia a qué debe hacerse con los estiércoles y los purines para asegurar que no son un problema ambiental constituyen el plan de gestión de las deyecciones.

Este plan no puede tomarse como una traba burocrática, sino como una herramienta importante para el ganadero para definir exactamente el estado de su situación, las acciones que debe emprender para mejorarla y, por lo tanto, la priorización en la toma de decisiones.

Este plan debe contar con dos ejes de actuación básicos: 1) la minimización de los caudales y de los constituyentes de las deyecciones, ya que esto permite ahorrar en el transporte y en la necesidad de superficie agrícola; 2) la planificación correcta de las dosis para cada cultivo en el espacio y en el tiempo. Como resultado de estas dos actuaciones, puede darse el caso de que el ganadero no disponga de suficiente superficie accesible, o que el transporte a parcelas alejadas le represente un coste excesivo, o que necesite adecuar su capacidad de almacenamiento a las necesidades temporales de sus cultivos, o que le sobre una parte del nitrógeno que produce, o que los malos olores que genera creen un problema adicional que debe resolverse, o cualquier otro problema. En este momento deben plantearse los tratamientos.

Un tratamiento es una herramienta tecnológica para adecuar la calidad y la cantidad de las deyecciones a la demanda de materia orgánica y/o de elementos de fertilidad. Esta demanda puede ser propia, de los campos propios, o ajena. La definición del tratamiento adecuado depende de la problemática que debe resolverse, de manera que no hay soluciones únicas aplicables a todas las circunstancias.

Debido a que actualmente los nitratos son el compuestos más problemáticos, ya que son solubles y lixivian con facilidad hacia las aguas subterráneas, con lo que ocasionan graves problemas de contaminación, la legislación actual se encuentra muy focalizada hacia este problema y los planes de gestión deben llevarse a cabo basándose en el balance de nitrógeno. El Código de buenas prácticas agrarias en relación con el nitrógeno es la guía básica de trabajo. No obstante, no puede olvidarse que la legislación evolucionará hacia alcanzar el mínimo impacto ambiental en relación con todas las demás acciones y compuestos potencialmente perturbadores del medio si las dosis son superiores a las que este medio puede admitir: metales pesados, fósforo, emisiones de gases y compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera, consumo de energía, etc. En el momento de escoger el tratamiento adecuado, debe valorarse también la problemática de forma global.

Este documento es una guía simple sobre los tratamientos que el mercado puede ofrecer actualmente, y tiene como objetivo un acercamiento al conocimiento de estas tecnología para poner al alcance del lector la terminología básica sobre el tema, las ventajas y los inconvenientes de cada solución y los datos básicos para decidir hacia dónde enfocar esta solución.

2. CARACTERÍSTICAS DE LAS DEYECCIONES GANADERAS

Las características de los purines y los estiércoles dependen de muchos factores: de la alimentación, del estado fisiológico de los animales, del tipo de abrevaderos, de las prácticas de limpieza, etc. Incluso con una misma alimentación, según su edad, los animales la aprovecharán de manera diferente y, por lo tanto, también será diferente la composición de las deyecciones en cada época del año. Los valores en los que se encuentra su composición son muy variables, y se pueden mover en unos intervalos amplios. Por ejemplo, en la tabla 2.1 se indican estos valores para purines de cerdo.

Tabla 2.1. Composición, sobre materia fresca, de purines de cerdo

Parámetro	Unidades	Mínimo	Máximo	Media
Sólidos totales (ST)	g/kg	13,68	169,00	62,16
Sólidos volátiles (SV)	g/kg	6,45	121,34	42,33
Porcentaje SV/ST	%	46	76	65
Demanda química de oxígeno (DQO)	g/kg	8,15	191,23	73,02
Nitrógeno total Kjeldhal (NTK)	g/kg	2,03	10,24	5,98
Nitrógeno amoniacal (N-NH ₄ ⁺)	g/kg	1,65	7,99	4,54
Nitrógeno orgánico (Norg)	g/kg	0,40	3,67	1,54
Porcentaje N-NH ₄ ⁺ /NTK	%	57	93	75
Fósforo (P)	g/kg	0,09	6,57	1,38
Potasio (K)	g/kg	1,61	7,82	4,83
Cobre (Cu)	mg/kg	9	192	40
Zinc (Zn)	mg/kg	7	131	66

Para purines, y a la vista de la tabla 2.1, destacan los extremos siguientes:

- Contenido elevado en agua.** En la tabla, esta es la diferencia entre los sólidos totales y el total de la materia fresca, el resultado es, $1.000 - 62,16 = 937,84$ g/kg de media, o el 93,8% de agua. Esto implica en que, cuando se transportan purines, mayoritariamente se está transportando agua.
- Poca materia orgánica.** Esta materia orgánica se mide por los sólidos volátiles (SV) o con la DQO, que corresponde a la cantidad de oxígeno necesario para oxidar esta materia orgánica. El valor medio del porcentaje SV/ST del 65% es bajo si lo comparamos, por ejemplo, con los estiércoles de terneros, los purines de bovino o la gallinaza, que se encuentran normalmente por encima del 80%. Los valores bajos del intervalo se deben a un alto tiempo de almacenamiento bajo el emparrillado de las naves, que hace que parte de la materia orgánica se volatilice y que esta pérdida afecte negativamente algunos procesos de tratamiento que necesitan materia orgánica, como puede ser la producción de biogás, la desnitrificación o el compostaje de la fracción sólida.

- c. *Contenido alto en nitrógeno amoniacal.* El nitrógeno amoniacal puede presentar una media del 75% de todo el nitrógeno y puede hacer que, junto a la poca materia orgánica, sea necesario considerar los purines más cerca de un fertilizante mineral que de una enmienda orgánica. Tenga en cuenta que si se transporta una cisterna de 10 m³ de purines, se están transportando unos 60 kg de nitrógeno (5,98 g/kg). Si este nitrógeno se tuviera en forma de fertilizante mineral, cabría en el maletero de un coche. Este hecho hace que el transporte de purines sea un limitador importante para la gestión, ya que debe moverse mucho volumen para poco contenido útil.
- d. *Contenido apreciable en metales: cobre (Cu) y zinc (Zn).* Estos metales se van acumulando en el suelo y pueden llegar a crear problemas de fitotoxicidad en los cultivos. Si las concentraciones se encuentran en la parte alta del intervalo dado en la tabla, pueden afectar negativamente a los tratamientos que utilizan las bacterias, ya que les puede ser un tóxico para estos tratamientos. Reducir el contenido de estos metales en las dietas representa la obtención de purines de mayor calidad, que afectará muy positivamente cualquier acción que se lleve a cabo, tanto en la aplicación directa en el suelo como en la valorización económica del compost que puede obtenerse de la fracción sólida.
- e. *Fósforo (P) y potasio (K).* Son elementos fertilizantes necesarios para los cultivos. La concentración de P es especialmente elevada en purines de cerdo, en comparación con otras deyecciones, y tiene una elevada capacidad de contaminación si llega a las aguas superficiales. Esta es la razón por la que en muchos países ya se ha empezado a legislar para limitar las dosis de aplicación en el suelo. Debido a que las deyecciones sólo pueden separarse y concentrarse, para transportar, y no eliminar como el nitrógeno, los cambios en la alimentación del ganado para reducir su concentración en los purines debería ser, probablemente, una vía de actuación prioritaria.

Cabe destacar que ni los purines ni otras deyecciones tienen nitratos. Estos nitratos se producen a partir del nitrógeno amoniacal cuando en un medio hay aire, bacterias nitrificantes y bicarbonato (proceso de nitrificación), que son las condiciones que se encuentran en las capas superiores del suelo. Cualquier acción que relentice o retarde este proceso de nitrificación ayudará a reducir el problema de la contaminación por nitratos: por ejemplo, intentar tener el nitrógeno en forma orgánica o aplicar en los purines algún retardante del proceso.

En general, cualquier acción encaminada a: 1) reducir el contenido en agua de los purines, mediante el control de abrevaderos o evitando que aguas pluviales desemboquen en las balsas o las fosas; 2) disponer de balsas cubiertas para evitar el almacenamiento de agua de lluvia; 3) reducir el contenido en nutrientes, como puede ser nitrógeno o fósforo, mediante la modificación de las dietas; 4) reducir el contenido en metales, mediante la modificación de las dietas, y/o 5) reducir el tiempo de almacenamiento

bajo la nave, disponiendo de balsas exteriores, hará que se reduzca la necesidad de transporte para las aplicaciones, que deba moverse menos volumen para tratar, que se requiera menos superficie agrícola y, en definitiva, que la calidad de los purines mejore y que sea posible acercarse al concepto de que las deyecciones son un recurso y no un problema.

La tabla 2.1. se ha incluido para ilustrar los conceptos descritos. Los valores por defecto que deben utilizarse para calcular los caudales y el nitrógeno producido en una granja, y para llevar a cabo un plan de gestión, se indican en la tabla 2.2. Pese a todo lo dicho, la mejor manera de conocer cómo son las deyecciones propias es mediante análisis periódicos, los cuales deben servir para guiar y valorar las acciones que deben emprenderse, y para justificar otras composiciones si difieren de las de la tabla 2.2.

*Generación de nitrógeno y deyecciones para cada tipo de plaza de ganado y fase productiva
(Manual de la aplicación GDR —gestión de las deyecciones ganaderas y fertilizantes nitrogenados—)*

Tipo de ganado y fase productiva	Kg N /plaza /año	Purín m ³ /plaza /año	Estiércol t/plaza /año	Densidad estiércol (t/m ³)
Bovino de leche	73,00	14	18	0,8
Vacas nodrizas	51,10	9	12	0,8
Terneras de reposición	36,50	5,5	7	0,8
Cría de bovino (animales de 1 a 4 meses en 3 ciclos/año/plaza)	7,70	0,5	0,7	0,8
Engorde de terneros/terneras (1)	21,90	3,6	4	0,8
Cerda en ciclo cerrado (2)	57,60	17,75	-	-
Cerda con lechones hasta destete (0-6 kg)	15,00	5,1	5,4	0,8
Cerda con lechones hasta 20 kg	18,00	6,12	-	-
Cerda de reposición	8,50	2,5	2,75	0,8
Lechones de 6-20 kg	1,19	0,41	0,6	0,8
Cerdo de engorde (20-50 kg)	6,00	1,8	-	-
Cerdo de engorde (50-100 kg)	8,50	2,5	-	-
Cerdo de recebo (20-100 kg)	7,25	2,15	2,4	0,8
Verraco	18,00	6,12	-	-
Avicultura de puesta (por plaza de gallina ponedora, comercial o selecta)	0,50	0,037	0,04	0,9
Polluelos de criar (2,5 ciclos/año/plaza. Animales de 100 días hasta 1,4 kg)	0,08	-	<u>0,0073</u>	-
Engorde de pollos (5 ciclos/año/plaza. Tiempo de engorde de 48-50 días)	0,22	-	0,02	0,5
Engorde de patos (3,5 ciclos/año/plaza)	0,24	0,088	0,102	-
Producción de conejo (3)	4,30	-	0,412	0,75
Ganado equino	63,80	-	11	0,8
Ovejas de reproducción	9,00	-	0,9	-
Cabrío de engorde (2,0 ciclos/año/plaza. Conjunto corderos/corderas)	3,00	-	0,3	-
Ovejas de reproducción	4,50	-	0,45	-
Cabrío de reproducción (con o sin producción lechera)	7,20	-	<u>0,72</u>	-
Cabrío de reposición	3,60	-	<u>0,36</u>	-
Cabrío sacrificio	2,40	-	<u>0,24</u>	-
Engorde de codornices (8 ciclos/año/plaza. Animales de 200 g de peso final)	0,03	-	<u>0,00267</u>	-
Engorde de perdices (4 ciclos/año/plaza. Animales de 800 g de peso final)	0,07	-	<u>0,0064</u>	-
Engorde de pavo (3 ciclos/año/plaza. Animales de peso final aproximado de 7 kg)	0,46	-	<u>0,1947</u>	-
Ocas	<u>0,24</u>	0,088	0,102	-
Avestruces adultos (animales de más de 12 meses)	<u>1,72</u>	-	0,73	-
Avestruces de engorde	<u>0,94</u>	-	0,4	-

Los datos adjuntos referentes a generación de nitrógeno proceden en su mayoría de la Orden de 22.10.1998, del Código de buenas prácticas agrarias en relación con el nitrógeno (DOGC 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). Los datos de volúmenes y peso de estiércoles y purines proceden del Manual de gestión de los purines y de su reutilización agrícola, del Real decreto 324/2000, del Departamento de Medio Ambiente, y de fuentes bibliográficas. Los datos en cursiva y subrayados han sido estimados a partir de los anteriores.

(1) 1,2 ciclos/año/plaza. Peso medio de 200 kg a los 6 meses.

(2) Incluye la madre y su descendencia hasta finalizar el recebado.

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

3. ¿QUÉ HACEN LOS TRATAMIENTOS?

Una estrategia de tratamiento es una combinación de procesos con el objetivo de adecuar las deyecciones ganaderas a la demanda como productos de calidad. La demanda corresponde a necesidades de fertilizantes, enmiendas o sustratos, los cuales deben tener una calidad/composición determinada dependiendo del cultivo.

No existe ningún tratamiento que elimine o haga desaparecer completamente los purines o los estiércoles. Los únicos componentes eliminables, mediante su transformación en compuestos gaseosos inofensivos para el medio ambiente, son parte de la materia orgánica y parte del nitrógeno, los cuales pueden pasar a CO₂ y N₂. El resto sólo pueden separarse o concentrarse.

Existen diversas estrategias, pero la idónea dependerá del problema en cuestión. La prioridad en la toma de decisiones se indica en la figura 3.1.

La primera actuación se refiere al cambio en los sistemas de alimentación y manejo en la misma granja, a fin de minimizar la concentración de nutrientes y de metales en las deyecciones y minimizar su volumen.

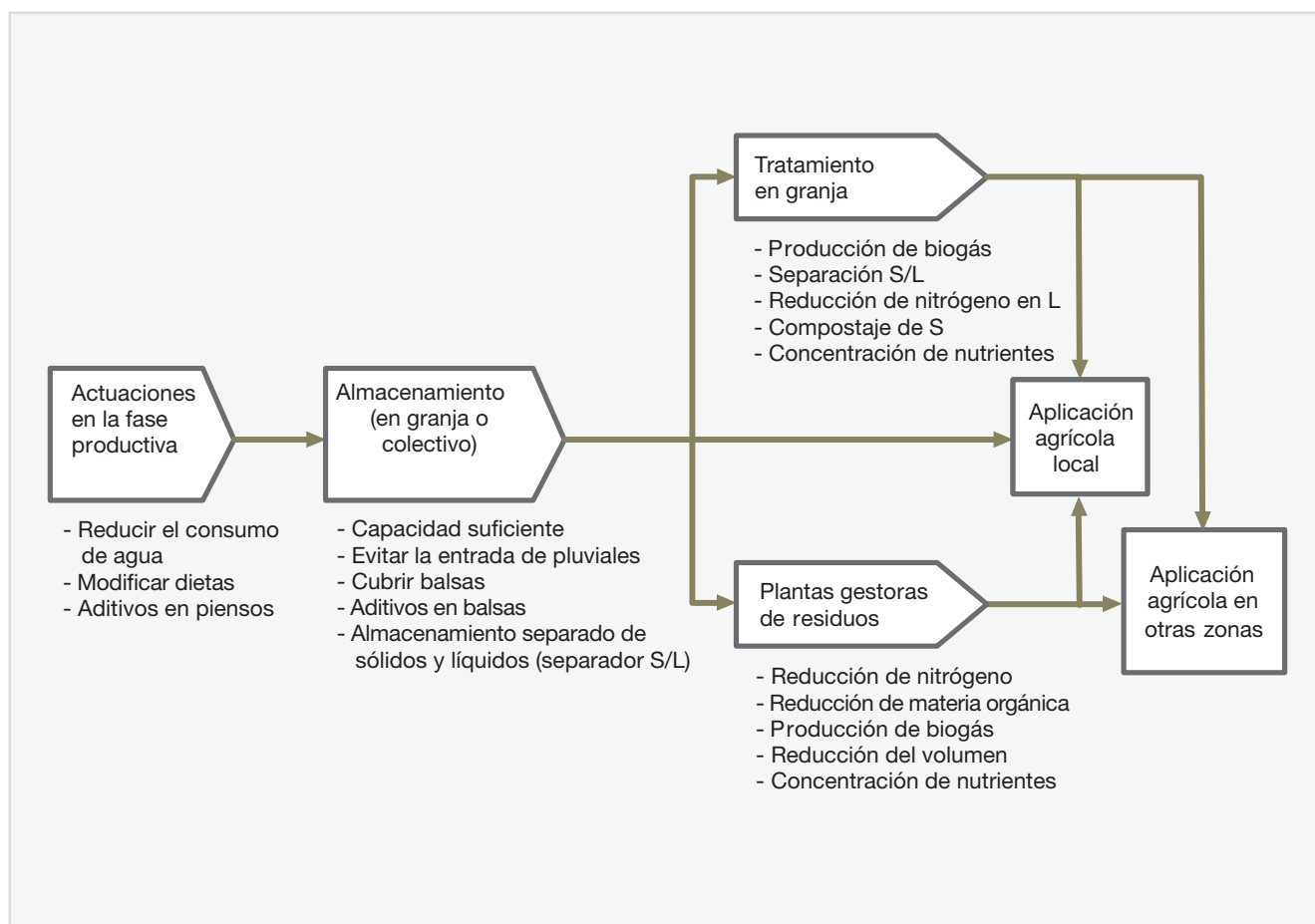


Figura 3.1. Líneas de actuación para la gestión y el tratamiento de deyecciones ganaderas

La segunda actuación se refiere a la capacidad de almacenamiento, la cual debe ser adecuada a las necesidades temporales de los cultivos. Este almacenamiento puede realizarse para las deyecciones en bruto o para las fracciones sólida y líquida por separado. También pueden añadirse aditivos al pienso o a las balsas, bien para reducir los malos olores bien para transformar el nitrógeno amoniacal en orgánico durante el almacenamiento. También pueden cubrirse las balsas para evitar molestias por malos olores, pérdida de nitrógeno amoniacal o entrada de aguas pluviales.

La tercera actuación se refiere al uso posterior de las deyecciones. La actuación prioritaria es la aplicación en los cultivos. Puede plantearse la producción de biogás previamente a esta aplicación, si la instalación puede rendibilizarse sustituyendo un combustible fósil, por ejemplo, para cubrir la demanda de calefacción de una granja de maternidad o ciclo cerrado, con lo cual, además, se consigue una reducción significativa de los malos olores. Si no hay suficiente superficie agrícola accesible para absorber los nutrientes de las deyecciones, o si el transporte hasta allí presenta un coste excesivo, deberá plantearse el tratamiento para reducir el contenido en nitrógeno o para concentrar los nutrientes (separando agua) y hacer que el transporte sea más accesible. La evaluación realista de los costes de transporte es una herramienta importante para tomar decisiones.

Cuando se ha llegado a la conclusión de que debe aplicarse alguna estrategia de tratamiento, debe decidirse si este tratamiento debe llevarse a cabo en la misma granja o, de manera colectiva, en plantas gestoras de residuos. Existe otra opción intermedia, no expresada en la figura 3.1, que es el tratamiento conjunto entre unas cuantas granjas (dos o tres). La mejor opción será la que aporte un coste global menor, teniendo en cuenta costes totales de transporte y de tratamiento, contando siempre como coste de tratamiento los costes de operación y los costes financieros de la inversión.

Será planteable un tratamiento colectivo en plantas gestoras de residuos si en un área geográfica hay excedentes que afecten a un número importante de ganaderos —y, por consiguiente, con necesidades de tratar un gran volumen de deyecciones— para hacer más interesante económicamente esta opción que el tratamiento individual o el conjunto entre pocas granjas vecinas. Casi siempre deberá plantearse esta opción cuando los excedentes obligan a transportar a largas distancias, pese a que a resultas de este tratamiento se podría dar la situación de que una fracción del efluente tratado se aplique a los cultivos cercanos. Si la planta de tratamiento colectivo debe procesar un caudal considerable de deyecciones (cerca de 100.000 toneladas/año), puede ser planteable incluir una planta de cogeneración eléctrica y térmica, para así aprovechar la energía térmica para reducir el volumen de los purines y vender energía eléctrica a la red. Las condiciones para hacer posible el éxito de una planta de este tipo no se dan en todas partes, y debe realizarse un estudio detallado previo que englobe los aspectos de organización, gestión, transporte, tecnología, uso final de los productos obtenidos y, sobretodo, precios y costes de la energía.

En general, los tratamientos o los almacenamientos colectivos se pueden beneficiar de la economía de escala; por ejemplo, un depósito conjunto de 10.000 m³ es más económico que 20 depósitos de 500 m³. Pero no debe olvidarse el coste de transporte, las molestias o los problemas sanitarios que puede ocasionar, ni los aspectos de organización y gestión que esto comporta.

En el caso de que deba plantearse el tratamiento individual a cada granja, debido a que es la solución más interesante desde el punto de vista económico o de gestión, puede plantearse la necesidad de reducir los costes de transporte o de reducir el contenido en nitrógeno de las deyecciones, que también afectará un menor coste de transporte por el hecho de requerir una superficie agrícola menor. El sistema más simple para reducir costes de transporte es la separación de las fracciones sólida y líquida, aplicando la fracción líquida en las parcelas cercanas mediante técnicas de riego, y la fracción sólida en parcelas más alejadas. También puede plantearse el compostaje de la fracción sólida para ser exportado fuera de la zona de aplicación del plan de gestión, para conseguir un producto con valor económico, para transferirlo a un gestor autorizado de residuos, o para transferirlo a una empresa productora de sustratos destinados a la horticultura y a la jardinería.

Cuando se pretende reducir el contenido de nitrógeno de las deyecciones, existen dos posibilidades:

- 1) Eliminar parte del nitrógeno mediante el proceso combinado de nitrificación-desnitrificación. Con este proceso se reduce el nitrógeno, pero todos los demás nutrientes (fósforo y potasio) permanecen, de manera que si se da un excedente de estos otros nutrientes, deberán concentrarse para transportarlos a largas distancias a bajo coste. Es conveniente dimensionar la instalación para reducir el nitrógeno sólo en la parte que sobra, la parte excedente. Pretender conseguir agua completamente depurada tiene un coste excesivo. Por otro lado, si se reduce el nitrógeno a valores inferiores a las necesidades de los cultivos, posteriormente deberá cumplimentarse con fertilizantes minerales, hecho que representará un coste añadido innecesario.
- 2) Concentrar los nutrientes, para poderlos transportar a largas distancias, para ser aplicados fuera del plan de gestión. El producto concentrado debe ponerse a disposición de gestores de residuos o de otros agentes con capacidad para poder valorizar el producto en el mercado de los fertilizantes. Los métodos para concentrar pueden ser diversos: separar sólidos y líquidos adicionando algún agente coagulante que permita una concentración elevada en la fracción sólida; obtener sales de amonio, mediante la aplicación del proceso de stripping y absorción; obtener sales de fósforo y amonio, mediante la precipitación de estruvita y la evaporación de parte del agua, si se dispone de energía a bajo coste. Estos procesos se ven muy mejorados con la digestión anaerobia previa y la producción de biogás, ya que modifica las características de las deyecciones y, además, puede aportar parte de la energía necesaria.

Todos los tratamientos presentan un coste económico, pero será interesante si este coste más el coste de transporte del efluente tratado es inferior al coste de transporte para valorar las deyecciones mediante la aplicación en el suelo en las dosis adecuadas. Evaluar el coste de transporte actual aporta un valor muy útil para tomar decisiones. En las tablas 3.1. y 3.2. se indican algunos valores estimados de costes de transporte, que pueden utilizarse a modo de referencia.

Tabla 3.1. Estimación de los costes de transporte (€/h), según el tipo de vehículo y su capacidad

Tipo de vehículo	Capacidad (m ³)	Consumo (L gasóleo/h)	Potencia (CV)	Coste (€/h)
Dúmper	20	15	320	31,9
	25	16	375	34,0
	30	17	400	36,9
Camión con remolque	16	15	320	30,2
	22	16	375	32,3
	27	17	400	35,1
Tractor	16	16,8	140	26,9

Tabla 3.2. Estimación de los costes de transporte dependiendo de la distancia, a una velocidad media de 20 km/h y un coste horario medio según la tabla 3.1.

Distancia (km)	€/m ³
2	0,29
4	0,58
6	0,87
8	1,17
10	1,45
12	1,75
15	2,18
20	2,75

Los costes de las Tablas 3.1. y 3.2. se han calculado a partir de precios de 2001, aplicando el IPC para actualizarlos al 2004. Debe tenerse en cuenta que son costes y no precios de mercado. Estos últimos se obtendrían sumando el beneficio industrial y los impuestos correspondientes. Asimismo, para calcular mejor el coste de transporte de la tabla 3.2, debería tenerse en cuenta el tiempo de carga y de descarga.

4. FICHAS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

A continuación se detallan los tratamientos más importantes, con indicación de lo que hacen y de los rendimientos que pueden conseguirse para los parámetros que caracterizan la contaminación. El usuario que debe decidir qué tratamiento necesita debe definir previamente el problema que tiene: de transporte, de nitrógeno, etc.

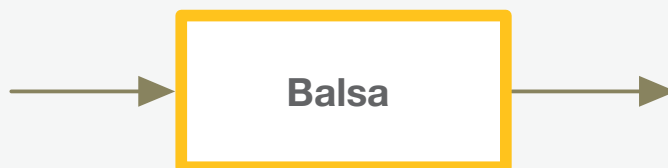
Los procesos unitarios son los siguientes:

- 4.1.** *Balsas*
- 4.2.** *Aditivos (fluidizante, activadores del crecimiento de biomasa, floculante)*
- 4.3.** *Separadores sólido/líquido*
- 4.4.** *Compostaje*
- 4.5.** *Nitrificación–desnitrificación*
- 4.6.** *Digestión anaerobia*
- 4.7.** *Digestión aerobia*
- 4.8.** *Evaporación y secado*
- 4.9.** *Stripping y absorción*
- 4.10.** *Ultrafiltración y ósmosis inversa*
- 4.11.** *Ozonización*

Los procesos anteriores se pueden combinar para conseguir un objetivo determinado. Las combinaciones de interés aparecen en el apartado 5, y los esquemas correspondientes, en el apartado 6. En este apartado se describen dos de estas combinaciones a modo de ejemplo de diferentes grados de complejidad tecnológica.

- 4.12.** *Combinación de procesos para la eliminación de nitrógeno*
- 4.13.** *Combinación de procesos para la reducción de volumen por concentración térmica*

4.1. BALSAS



Las balsas son una herramienta fundamental para regular el equilibrio entre la producción continua de purines y la aplicación estacional en los cultivos. Esta regulación se realiza gracias al volumen de la balsa que debe ser el necesario para hacer una buena gestión de los nutrientes, principalmente del nitrógeno. Para calcular el volumen necesario de la balsa, deben planificarse las aplicaciones.



Figura 4.1.
*Balsa excavada con
lámina de polietileno*

¿A qué afecta?

Durante el almacenamiento se producen efectos interesantes, como pueden ser la reducción de agentes patógenos y un cierto grado de mineralización. Por contra, se producen fermentaciones incontroladas y pérdidas por volatilización de amoníaco y compuestos orgánicos, por lo cual se generan olores desagradables y pérdida de valor fertilizante del purín. Para evitarlo, es conveniente cubrir las balsas, exteriores a la nave, para evitar que los animales respiren el ambiente enrarecido a causa de la volatilización del amoníaco y la materia orgánica, y que, además, la balsa se encuentre fuera del recinto sanitario de la granja, para facilitar la evacuación sin la necesidad de que entren tractores o cisternas. Esto último permite ahorrar en la desinfección de estos equipos.

El volumen depende del caudal de purines que se generen. Cuanto mas aguados sean mas caudal se producirá y más volumen necesitará. Un ahorro de agua a la granja repercutirá siempre económicamente y de una manera positiva en el volumen necesario de la balsa y en coste de transporte.

Ventajas

- Aprovechamiento del valor fertilizante de los purines cuando los cultivos lo necesiten.
- Reducción de patógenos y, en general, reducción de la capacidad de contaminación microbiológica, aunque no total.
- Reducción de pérdida de valor fertilizante, de malos olores y de molestias a la vecindad, si la balsa está cubierta.
- Reducción de agua de lluvia que entra en la balsa, y que incrementará el coste del transporte, si la balsa está cubierta.

Inconvenientes

- Si el volumen necesario es muy grande, la superficie ocupada y la inversión pueden ser elevadas.
- En esta situación puede ser interesante plantear balsas colectivas para reducir costes, pero sin olvidar que tienen que gestionarse.
- Si las balsas no están cubiertas, se aumenta el volumen de los purines por efecto de la lluvia y se producen emisiones de gas a la atmósfera que ocasionan malos olores.
- La balsa no es un elemento estático, es necesario mantenerla: deben revisarse posibles fugas y limpiar el fondo periódicamente para retirar arenas y otros materiales que reduzcan la capacidad de almacenamiento y comprobar la impermeabilidad de la misma.
- No es estrictamente un inconveniente, pero implica la dedicación necesaria de cierto tiempo para el mantenimiento.

Intervalos de rendimientos

El parámetro más importante es el tiempo de almacenamiento, que tiene un efecto directo sobre la supervivencia de microorganismos patógenos, como se puede ver en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Supervivencia de patógenos en los purines

Microorganismos Patógenos	Tiempo de permanencia
<i>Yersinia enterocolitica</i>	< 1 semana
<i>Pasteurella multocida</i>	6 días
<i>Fusobacterium necrophorum</i>	6 días
<i>Escherichia coli</i>	1-5 semanas
<i>Salmonella</i>	De 2 semanas a 5 meses
<i>Leptospira</i>	4-5 meses
<i>Clostridium perfringens</i>	> 7 meses
<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>	9 meses

Ejemplo de cálculo del volumen de una balsa

El tiempo de almacenamiento se tiene que calcular basándose en el valor fertilizante de los purines, y siempre con el valor mínimo que dicte la normativa vigente. En Cataluña, este tiempo mínimo está determinado en el Decreto 61/1994, de 22 de Febrero, sobre la regulación de las explotaciones ganaderas, y el orden del 17 de Abril de 1994, por el cual se fijan las normas de ordenación de las explotaciones porcinas, avícolas, cunícolas y bovinas. En cualquier caso, el volumen tiene que ser el que se adapte a las necesidades temporales de fertilización de cada cultivo, y cuanto más grande sea, menor será el peligro de transmitir enfermedades y más seguridad se tendrá.

Las necesidades de los cultivos y los meses en que no se puede fertilizar están reguladas por el Decreto 2005/2000, del 13 de junio, de aprobación del programa de medidas agronómicas aplicables a las zonas vulnerables en relación con la contaminación de nitratos procedentes de fuentes agrarias. El Manual del Código de buenas prácticas agrarias: nitrógeno, ¹, editado por DARP, aporta también información muy útil en este sentido.

Suponemos una granja que produce cada mes el caudal de purines que se indica en la tabla siguiente, en la columna A, con el contenido en nitrógeno que se indica en la columna B. Estos valores se obtienen a partir del número de animales, aplicando los valores de la tabla 2.2 u otra correlación.

Tabla 4.2. Ejemplo de cálculo del volumen de una balsa

Mes	Entradas en la balsa		Salidas de la balsa	Entrada acumulada, mes a mes	Salida acumulada, mes a mes	Nitrógeno remanente en la balsa I	Nitrógeno remanente en la balsa II	Volumen remanente de purines
	m ³ /mes	kg N/mes	kg N/mes	Kg N	Kg N	Kg N	Kg N	m ³
	A	B	C	D	E	F	G	H
Enero	372	2.232	1.200	2.232	1.200	1.032	1.684	281
Febrero	336	2.016	3.700	4.248	4.900	-652	0	0
Marzo	372	2.232	2.160	6.480	7.060	-580	72	12
Abril	360	2.160	0	8.640	7.060	1.580	2.232	372
Mayo	372	2.232	0	10.872	7.060	3.812	4.464	744
Junio	360	2.160	0	13.032	7.060	5.972	6.624	1.104
Julio	372	2.232	0	15.264	7.060	8.204	8.856	1.476
Agosto	372	2.232	0	17.496	7.060	10.436	11.088	1.848
Septiembre	360	2.160	5.400	19.656	12.460	7.196	7.848	1613
Octubre	372	2.232	6.400	21.888	18.860	3.028	3.680	613
Noviembre	360	2.160	4.720	24.048	23.580	468	1.120	187
Diciembre	372	2.232	2.700	26.280	26.280	0	652	109
Total (año)	4.380	26.280	26.280					

¹. <http://www.gencat.net/darp>

A: Caudal de purines que se producen cada mes, en m³/mes.

B: Contenido en nitrógeno de los purines producidos cada mes, en Kg. N/mes.

C: Kg. de nitrógeno que cada mes se aplicarán a las parcelas. Si el nitrógeno total que se aplica al año es inferior a la suma del nitrógeno que ha entrado en la balsa (suma de columna B), deben planificarse otras salidas e incluirlas en esta columna. La suma de los valores de esta columna debe ser igual a la suma de la columna B.

D: Suma de B, desde principios de año, mes a mes. Si no hubiera salidas de la balsa, sería la cantidad de nitrógeno que se habría acumulado desde principios de año, por mes.

E: Suma de C, desde principios de año, mes a mes. Corresponde a las necesidades acumuladas de nitrógeno desde principios de año, por mes. El valor para diciembre debe ser igual al valor para el mismo mes de la columna D, e igual a la suma total de B.

F: Diferencia entre D y E, mes a mes. Este valor correspondería a la cantidad de nitrógeno que queda como remanente en la balsa. Los valores negativos corresponden a meses en que hay déficit. En el ejemplo, el mes con más déficit es febrero, con 652 kg.

G: Suma de F y el valor del mes con más déficit, mes a mes. A fin de que no se produzca nunca déficit, debe asegurarse de que siempre haya disponible un valor equivalente al máximo déficit calculado en la columna F. En esta columna G, se suma a todos los meses de la columna F este valor, y el valor más elevado obtenido corresponde a la capacidad que tiene que tener la balsa en el mes en que debe tener más nitrógeno disponible (en el ejemplo, agosto), a fin de poder cubrir las necesidades de fertilización hasta que la balsa se vacíe (en el ejemplo, febrero).

H: Si en lugar de utilizar como unidad de cálculo el nitrógeno se utiliza el caudal de purines, la metodología será la misma, y en vez de la columna G se obtendría el valor de la columna H. El valor más alto de este valor corresponderá a la capacidad que tiene que tener la balsa.

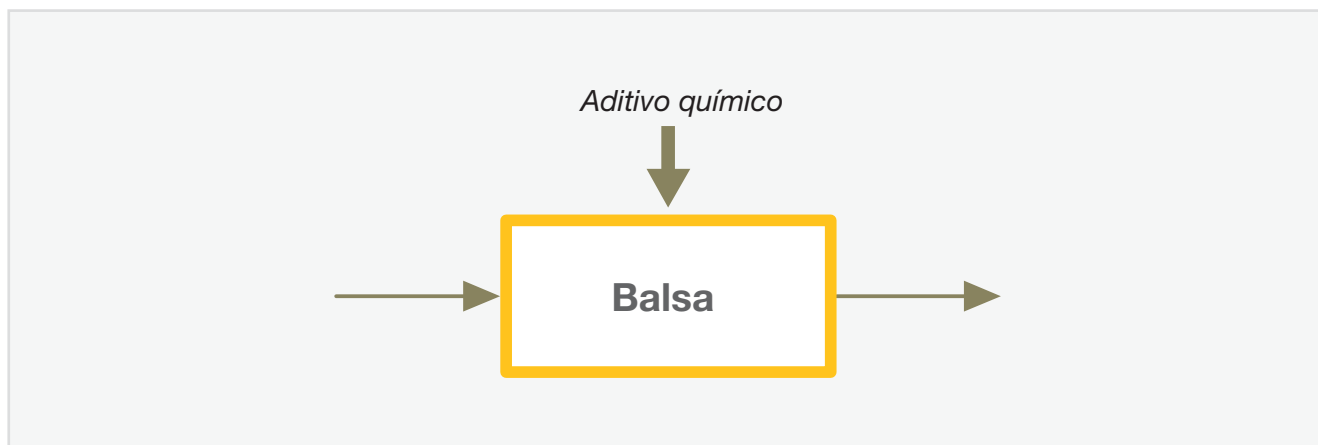
A partir del valor máximo de G, se calcula el tiempo de almacenamiento y el volumen total de la balsa, que en el ejemplo se realiza de la siguiente manera.

$$\text{Tiempo de almacén} = \frac{11.088 \text{ kgN}}{26.280 \text{ kgN/año}} \cdot 12 \text{ meses/año} = 5,06 \text{ meses}$$

$$\text{Volumen de almacén} = \frac{4.380 \text{ m}^3/\text{año}}{12 \text{ meses/año}} \cdot 5,06 \text{ meses} = 1.848 \text{ m}^3$$

Cabe apuntar que si la concentración de nitrógeno hubiera sido más elevada (como ejemplo se ha considerado 6 Kg. N/m³), entonces el volumen necesario de la balsa debería estar más bajo, para un mismo tiempo de almacenamiento. En todo caso tiene que respetarse el volumen mínimo legal.

4.2. ADITIVOS A BALSAS Y PIENSOS



Los aditivos son productos químicos y/o biológicos, que se aplican a los purines o al pienso con el objetivo de modificar las características de las deyecciones, para la aplicación posterior en el suelo, mejorar el manejo, reducir las emisiones de gases contaminantes y/o mejorar el ambiente en locales de estabulación y el bienestar de los animales.

Se pueden aplicar directamente en la corralina, en la fosa, en la balsa, o en el momento de cargar los purines en la bota. También hay compuestos que se añaden al pienso, estos compuestos son aditivos alimentarios y deben estar registrados como tales.



Figura 4.2.
Balsa con agitación y dispositivo para aplicar aditivos

¿A qué afecta?

Los objetivos que pretenden son muy diferentes y se pueden agrupar en los grupos siguientes:

- Reducir las emisiones de olores.
- Reducir las emisiones de amoníaco y otros gases contaminantes.
- Fluidificar, evitar la formación de costras y la proliferación de insectos.

Tipos de aditivos

Aditivos para los purines

- *Agentes enmascaradores.* Son compuestos aromáticos (aceites) con un fuerte olor que enmascara el olor de los purines o de los estiércoles.
- *Agentes bloqueantes.* Son mezclas de aceites aromáticos que neutralizan los compuestos volátiles responsables de los malos olores.
- *Aditivos microbiológicos.* Son cultivos bacterianos o preparados enzimáticos o combinaciones de bacterias y enzimas que digieren de manera acelerada la materia orgánica, principalmente las celulosas no digeridas por el animal. También pueden eliminar algunos compuestos olorosos o fijar el nitrógeno amoniacal en forma de nitrógeno orgánico.
- *Productos adsorbentes.* Compuestos de gran área superficial que adsorben compuestos olorosos antes que se volatilicen.
- *Aditivos químicos*
 - *Agentes oxidantes.* Cloruros (gas o hipoclorito sódico), permanganato potásico, peróxido de hidrógeno. Estos productos oxidan sulfuros e inhiben la producción de sulfhídrico. También se ha usado ozono.
 - *Agentes precipitantes.* Sales de hierro o zinc que reaccionan con sulfuros y producen compuestos insolubles.
 - *Control de pH.* Sosa o cal, aumentan el pH e inhiben la producción de sulfuros, previenen la volatilización de sulfhídrico y, como contrapartida, se incrementan las emisiones de amoníaco. Con la adición de ácidos baja el pH y disminuyen las emisiones de amoníaco, pero aumentan los problemas de olores por volatilización de compuestos ácidos.
 - *Aceptores de electrones.* Evitan la formación de sulfuros a partir de sulfatos y disminuyen los olores, como por ejemplo el nitrato sódico.

Aditivos para el pienso

- *Agentes enmascaradores* del olor, como el extracto de artemisa o el aceite de menta.
- *Enzimas, microorganismos y extractos de plantas, por ejemplo, sarsaponina,* extracto de yuca (*Yucca schidigera*). La sarsaponina puede reducir el nitrógeno amoniacal, aumentar el nitrógeno orgánico y promover acciones beneficiosas de los microorganismos en las balsas. Parece que mejora el peso y la tasa de conversión de los animales. La sarsaponina no es absorbida por el animal; por lo tanto, es un sistema fácil de aditivar y que llegue a las deyecciones de manera uniforme. Además, aporta enzimas suplementarias que pueden reducir los olores en las fosas.

- *Agentes adsorbentes*. Pueden adsorber compuestos olorosos. Algunos ejemplos son las bentonitas, las zeolitas y el carbón activo.
- *Agentes químicos* o biológicos para bajar el PH de los purines y reducir la emisión de amoniaco. Por ejemplo, la aplicación de fermentos lácticos, de ácidos orgánicos (fumárico o cítrico) y de carbohidratos muy fermentables.
- *Modificación de las dietas* para reducir el contenido de amonio en los purines, aumentando la capacidad de digestión.

Ventajas e inconvenientes

Una síntesis de ventajas e inconvenientes de estos productos se presenta en la tabla 4.3.

Intervalos de rendimientos

En general, la eficiencia de este tipo de compuestos no está contrastada. Muchos pueden ser efectivos para una cosa, pero ser perjudiciales para otra.

Pueden presentar una gran variabilidad de rendimientos según el producto, el efecto que se pretenda conseguir y las condiciones de trabajo de cada granja. Los resultados no son siempre satisfactorios.

Intervalo de costes

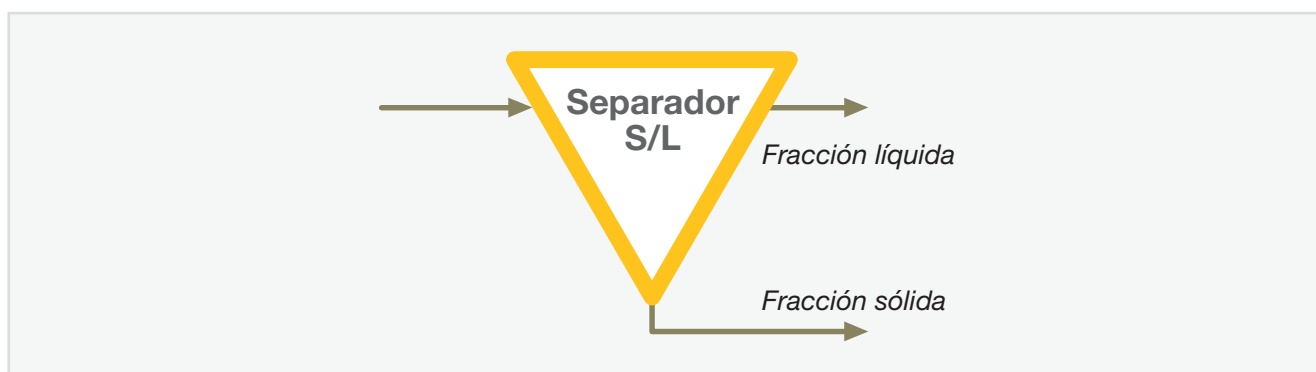
El coste es muy variable y depende mucho del tipo de aditivo de que se trate. Mientras algunos estudios en el ámbito europeo estiman costes comprendidos entre 5 y 30 euros/cerdo, otras referencias dan valores entre 0,25 y 1,25 euros/cerdo.

Tabla 4.3. Síntesis de ventajas e inconvenientes de los aditivos para piensos y deyecciones

	Ventajas	Inconvenientes
Aditivos para los purines o los estiércoles (en fosas o balsas)		
Agentes enmascaradores	<ul style="list-style-type: none"> - Disminuyen los malos olores a corto plazo - Bajo coste - Fácil y seguro de utilizar 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectividad difícil de predecir - Sólo válido a corto plazo - No tiene ningún efecto sobre las emisiones de amoníaco o sulfhídrico
Agentes bloqueantes	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden disminuir los olores a corto plazo - Fácil y seguro de utilizar 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectividad difícil de predecir - No tiene ningún efecto sobre las emisiones de amoníaco o sulfhídrico
Aditivos microbiológicos	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden reducir olores y emisiones gaseosas - Pueden ser efectivos para fluidizar y reducir la formación de costras - Pueden transformar nitrógeno amoniacal en orgánico - Pueden mejorar las eficacias posteriores de separación sólido-líquido 	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados muy variables, poco contrastados y poco reproducibles - Peores resultados en condiciones de campo que en laboratorio, por competencia con microorganismos autóctonos y por ausencia de condiciones ambientales óptimas de desarrollo de los microorganismos
Productos adsorbentes	<ul style="list-style-type: none"> - Puede reducir el olor en determinadas condiciones 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectividad difícil de predecir
Aditivos químicos	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden reducir las emisiones de algunos compuestos 	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden tener efectos no deseados sobre otros compuestos - Son productos peligrosos, en algún caso difíciles de manipular, y pueden ser peligrosos para el medio ambiente y para el uso posterior de las deyecciones
Aditivos para el pienso (con registro legal para este fin)		
Agentes enmascaradores	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden reducir el olor 	<ul style="list-style-type: none"> - Eficacia no contrastada
Enzimas, microorganismos y extractos de plantas	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden reducir olores, las emisiones y el contenido de nitrógeno amoniacal - Mejoran la tasa de conversión de los animales 	<ul style="list-style-type: none"> - Proceso no conocido en detalle (falta investigación)
Agentes adsorbentes	<ul style="list-style-type: none"> - Pueden reducir el olor 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumenta la excreción de N - Pueden reducir la eficacia de conversión de las dietas
Agentes químicos o biológicos para bajar el pH	<ul style="list-style-type: none"> - Si consiguen bajar el pH se reduce el riesgo de emisiones de amoníaco 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede aumentar la concentración de ácidos grasos volátiles y el olor asociado - La eficacia no está contrastada
Modificación de las dietas	<ul style="list-style-type: none"> - Baja el contenido de nitrógeno de las deyecciones, las emisiones de amoníaco, del sulfhídrico y el olor 	<ul style="list-style-type: none"> - Un nivel excesivo de aminoácidos sintéticos puede aumentar la concentración de compuestos olorosos en la orina

4.3. SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO-LÍQUIDO

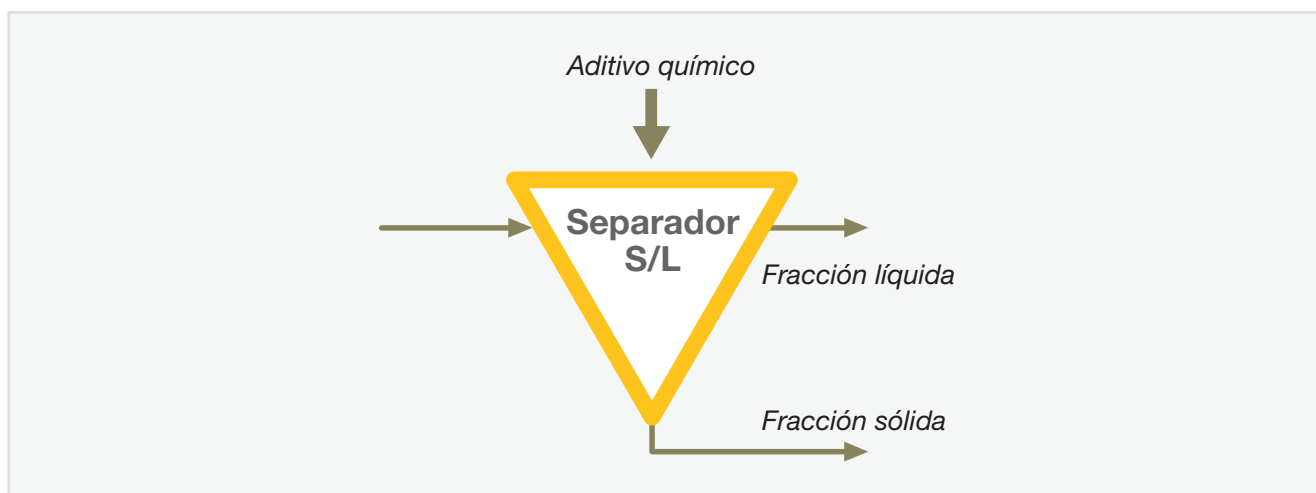
Separación sólido-líquido física



Proceso físico que permite separar los sólidos contenidos en unas deyecciones de consistencia líquida y generar dos fracciones distintas, una sólida y otra líquida. La fracción sólida tiene una concentración de sólidos mucho más elevada que las deyecciones originales, y la fracción líquida, una concentración menor.

Para aumentar la eficacia de la separación puede utilizarse algún tipo de agente químico. Cuando en la separación sólo se utilicen elementos mecánicos se hablará de separación física. Cuando se utilicen agentes químicos se hablará de separación fisicoquímica o tratamiento fisicoquímico, que engloba también procesos de precipitación de determinados compuestos y su separación.

Separación sólido-líquido fisicoquímica



Los sistemas de depuración o tratamiento fisicoquímico se refieren a métodos de transferencia de partículas suspendidas en una solución a una fase sólida, separable mediante algún sistema de separación sólido-líquido. Estas partículas suspendidas se caracterizan por tener un tamaño muy pequeño (coloides) y por no sedimentar de manera natural, debido a su tamaño y al hecho de que tienen carga superficial (normalmente negativa), lo cual causa repulsión mutua y la tendencia a mantener la distancia entre sí en la suspensión. Para conseguir que estos coloides sean decantables se requiere la ayuda de agentes químicos, para provocar la coagulación y/o la floculación.

Los coagulantes neutralizan las cargas eléctricas repulsivas, y permiten que se aglomeren formando flóculos, que sedimentarán. Los floculantes facilitan la aglomeración o la agregación de las partículas, previamente coaguladas o no, para formar flóculos más grandes y facilitar la sedimentación por gravedad o la separación por flotación.

Las partículas coloidales de carga superficial negativa normalmente están constituidas por materia orgánica. Cuando se desea separar un compuesto en dilución, debe encontrarse un compuesto químico con el que forme una sal que precipite. De esta manera, será habitual en la fracción líquida de deyecciones ganaderas querer separar el fósforo, el cual se puede encontrar en forma de fosfato. Si se quiere precipitar estruvita (fosfato amónico magnésico), se debe añadir hidróxido de magnesio. Obtener estruvita aporta la ventaja de separar de manera conjunta nitrógeno y fósforo.

Son coagulantes habituales el sulfato de aluminio, el sulfato de hierro o el cloruro de hierro. Estos coagulantes producen unos flóculos voluminosos que, cuando sedimentan, provocan un efecto añadido de barrido o arrastre de compuestos que encuentran en su trayectoria. Como floculantes encontramos una amplia familia de compuestos orgánicos con carga superficial, denominados polielectrólitos. Es conveniente que los precipitantes, los coagulantes o los floculantes no aporten compuestos que puedan afectar la calidad y el uso posterior de la fracción sólida separada.



Figura 4.3.
Prensa de tornillo



Figura 4.4.
Detalle de fracción sólida



Figura 4.5.
Detalle de la fracción líquida

¿A qué afecta?

- La aptitud de las deyecciones ante un tratamiento.
- Reduce los malos olores.
- Distribuye los nutrientes entre la fracción sólida y la fracción líquida.

Ventajas

- Aumento de la capacidad de gestión de las deyecciones, es decir, aumento de la capacidad de tomar decisiones.
- Acondicionamiento de las deyecciones para la aplicación posterior de un tratamiento. Tener una buena separación sólido-líquido implica obtener una fracción líquida clarificada y la posibilidad de un proceso posterior de nitrificación-desnitrificación con bajo consumo energético.
- Control de malos olores gracias al hecho que se evitan procesos de descomposición incontrolados.
- El uso de agentes químicos contribuye al proceso físico de separación, y los rendimientos de la separación mejoran.
- Si se utilizan polielectrólitos orgánicos biodegradables no tóxicos, la fracción sólida se puede tratar por digestión anaerobia y/o compostaje.

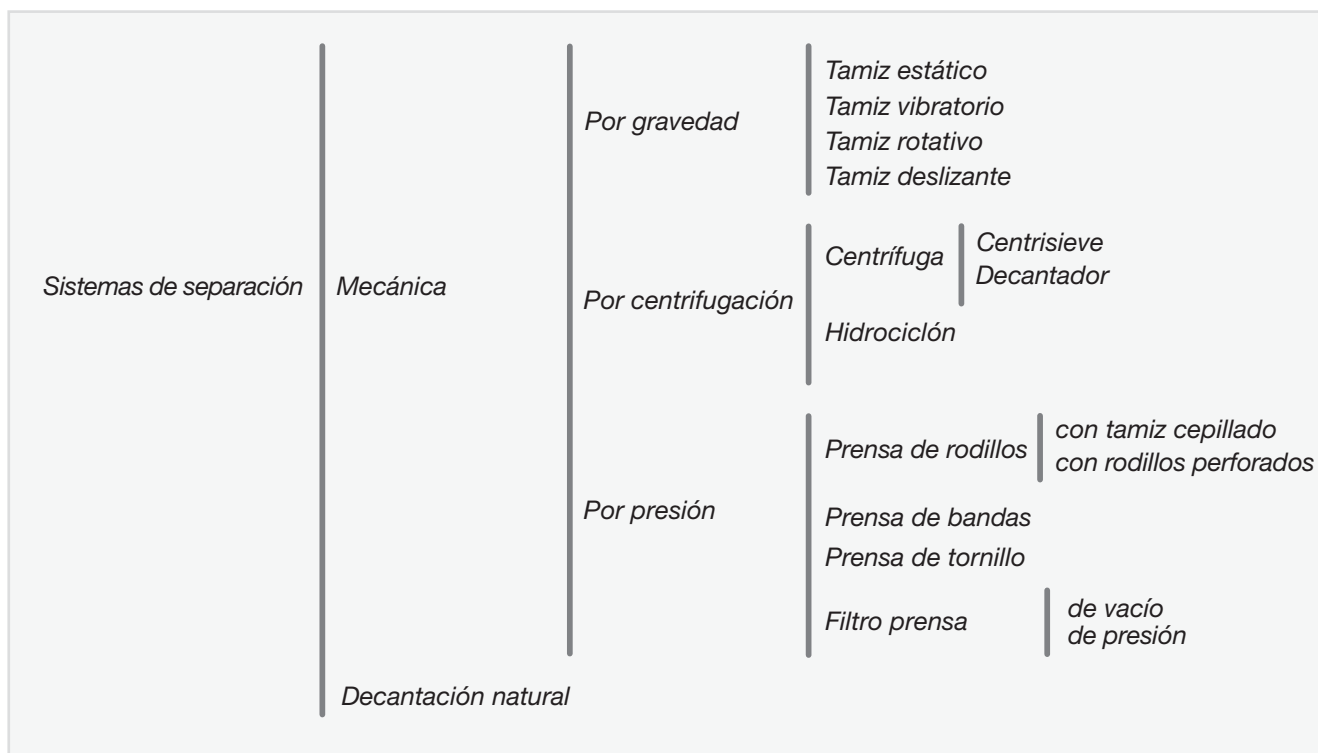
Inconvenientes

- El uso de agentes químicos puede representar un coste de operación importante.
- La eficiencia puede depender del PH, que deberá controlarse.
- Tanto la separación física como la fisicoquímica son procesos de separación, por tanto, no eliminan por si mismos la materia orgánica ni el nitrógeno.

Clasificación de sistemas

En la tabla 4.4 se presenta una clasificación de sistemas en función del mecanismo utilizado para separar. En la figura 4.6 se incluyen esquemas de algunos de los equipos.

Tabla 4.4. Clasificación de sistemas de separación sólido - líquido

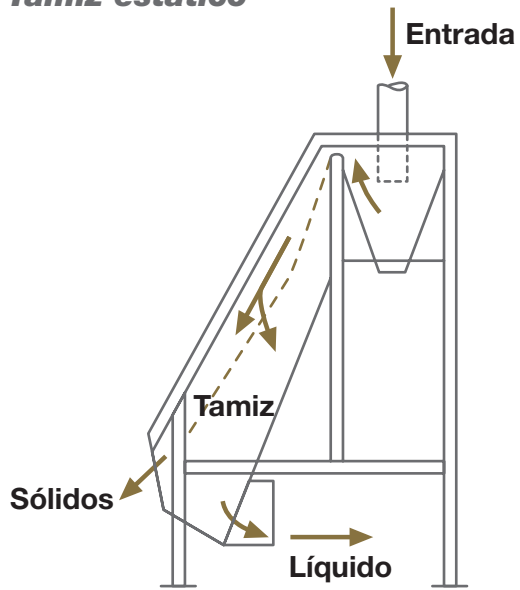


Si la medida de los sólidos es muy heterogénea puede ser interesante trabajar con una combinación de sistemas de separación. En este sentido, se puede plantear un desbaste previo del producto que se debe separar mediante tamizado seguido de un proceso de separación más fina (por centrifugado o bien por presión)

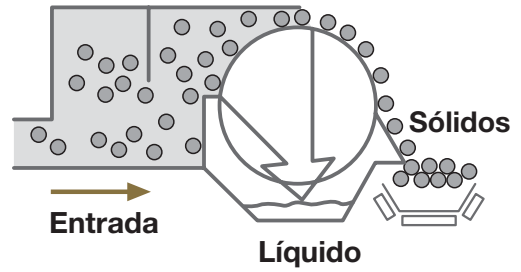
Intervalos de rendimientos

La eficiencia del proceso de separación sólido - líquido depende de diversos factores: la tipología de las deyecciones y su composición, el tipo de separador utilizado y las condiciones de operación, el uso de agentes floculantes, etc. Esta dependencia explica la gran variabilidad en los rendimientos y el hecho de que pocas empresas garanticen eficiencias determinadas en cualquier circunstancia. En la figura 4.7 y en la tabla 4.5 se muestran valores de rendimientos de diferentes equipos, según datos bibliográficos, y en la tabla 4.6 un ejemplo de prensa de tornillo.

Tamiz estático



Tamiz rotativo



Decantador centrífugo



Prensa de tornillo

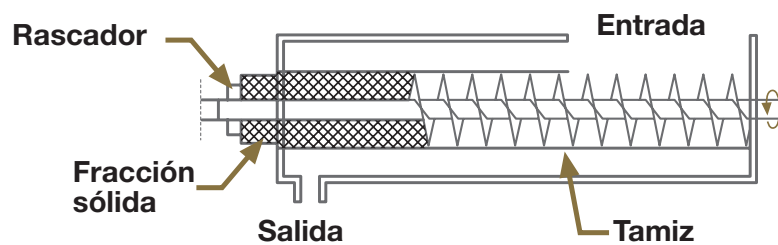


Figura 4.6. Esquemas de sistemas de separación sólido - líquido

Tabla 4.5. Valor bibliográfico de la eficiencia de la separación (porcentaje de componente separado de la fracción líquida)

Separador	Eficiencia (%)			
	Sólidos	DQO	Nitrógeno	Fósforo
Tamiz estático	0-40	0-40	0-10	0-10
Tamiz vibratorio	0-50	0-50	0-10	0-30
Prensa de bandas	10-60	30-60	10-40	20-80
Prensa de tornillo	20-60	30-60	10-40	30-80
Decantador centrífugo	20-60	30-60	10-40	40-80

Tabla 4.6. Ejemplo de cálculo de rendimientos para una prensa de tornillo

Parámetro	Fracción líquida (% de la entrada)	Fracción sólida (% de la entrada)
Caudal másico	75-85	15-25
Sólidos totales	40-80	20-60
Sólidos volátiles	30-70	30-70
DQO	40-70	30-60
Nitrógeno	60-90	10-40
Fósforo	20-70	30-80

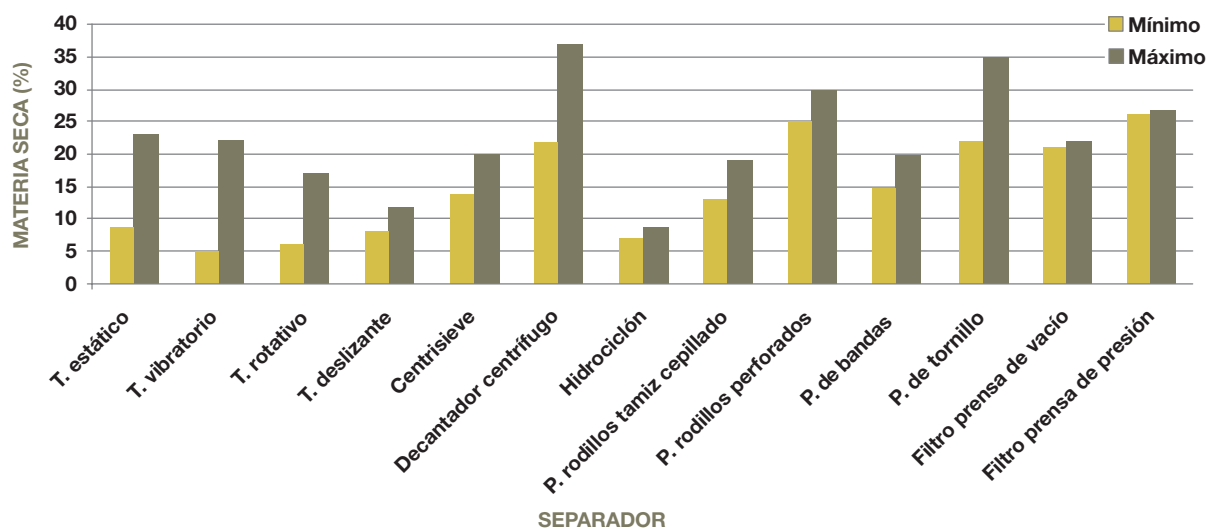
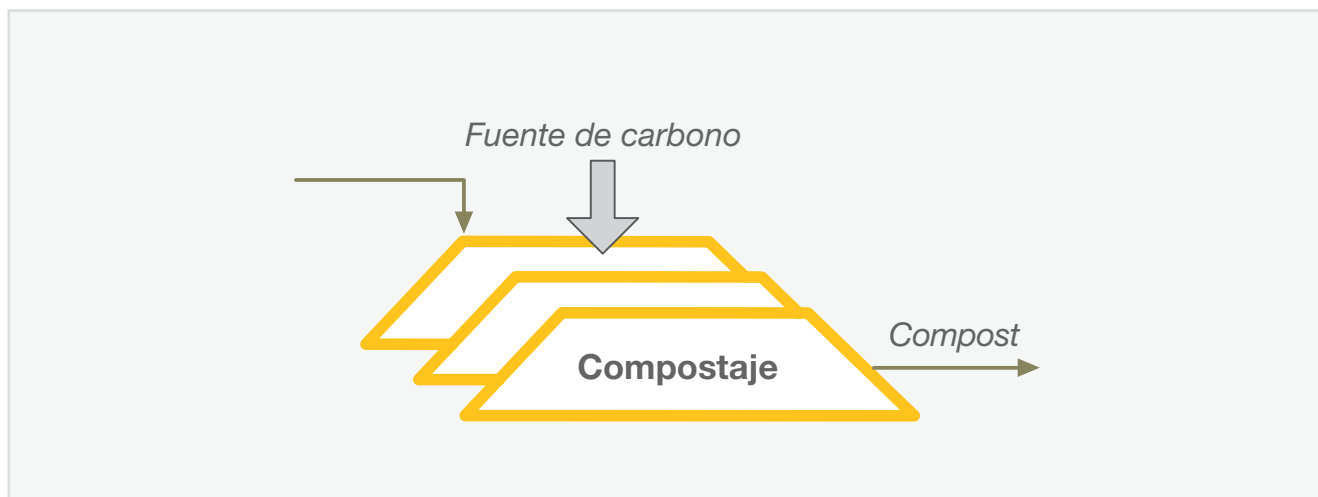


Figura 4.7. Contenido en materia seca de la fracción sólida según el tipo de separador

Intervalo de costes

El coste puede comprenderse entre 0,55 y 1,1 euros/tonelada de deyección líquida tratada. Este coste puede llegar a los 3 euros/tonelada según la sofisticación del equipo.

4.4. COMPOSTAJE



El proceso de compostaje consiste en la descomposición biológica aerobia y la estabilización de sustratos orgánicos, bajo condiciones que permitan el desarrollo de temperaturas termófilas (entre 50 y 70° C), como resultado de la generación de energía calorífica de origen biológico, de la cual se obtiene un producto final estable, libre de patógenos y semillas, y puede ser aplicado al suelo beneficiosamente.



A causa de la acción de los microorganismos, se consume oxígeno y se produce dióxido de carbono, agua y calor (Ver figura 4.9.). El sistema tiene pues, un requerimiento de aire que puede ser suministrado por volteo de la pila o por sistemas más complejos, como la aeración con un soplante.

La aeración tiene diversas funciones: proporcionar oxígeno a los microorganismos y regular el exceso de humedad por evaporación, que, a su vez, mantendrá la temperatura adecuada.

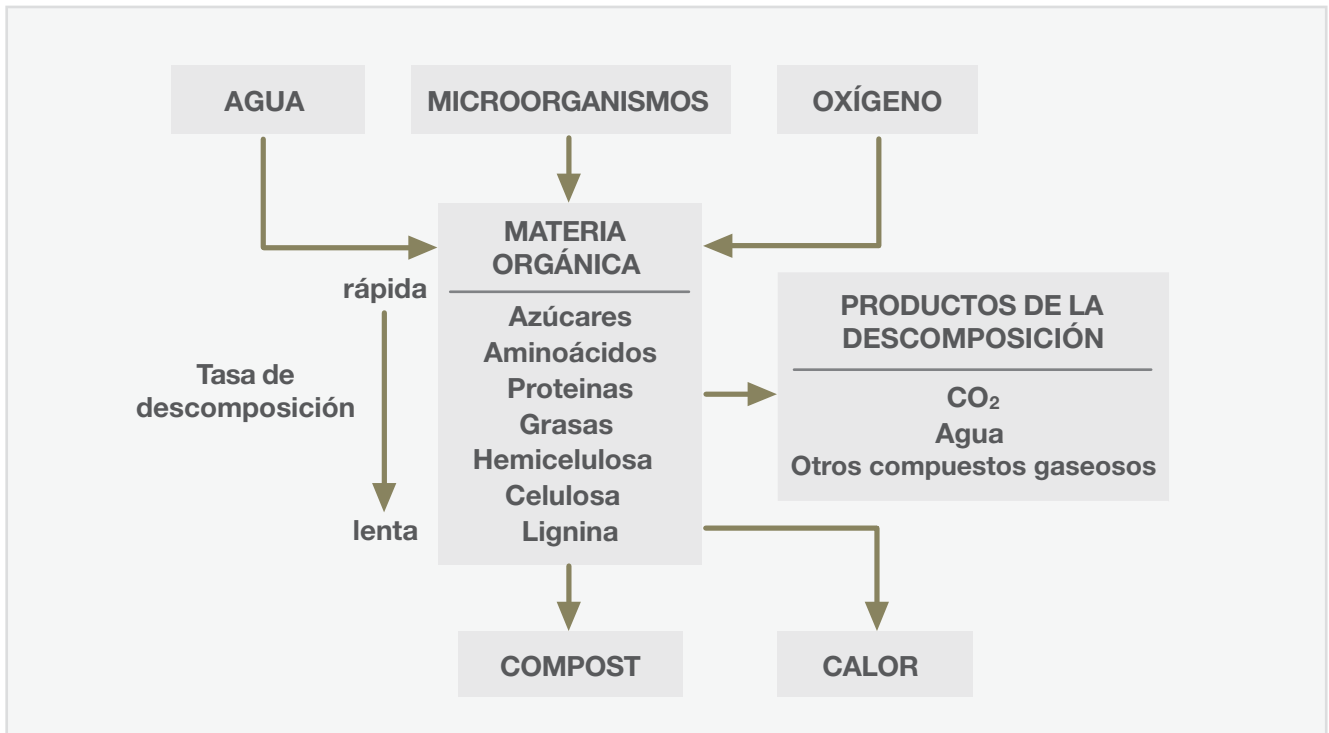


Figura 4.9. Esquema conceptual del proceso de compostaje

Condiciones iniciales

Para que el proceso se pueda iniciar, deben cumplirse unas condiciones iniciales de humedad, estructura y composición.

Humedad. Si se da una falta de agua, el proceso se ralentiza y la materia orgánica no se puede descomponer totalmente. Si, por contra, hay un exceso de agua, esta impide que el oxígeno entre en los poros y limita el crecimiento de los microorganismos. Se considera un intervalo óptimo para iniciar el proceso entre el 30 y el 65% o, en todo caso, siempre por debajo del 80%.

Porosidad. Tanto la porosidad como la estructura, la textura o el tamaño de la partícula afectan al proceso, ya que limitan o favorecen la aeración y, a su vez, la descomposición. Normalmente, se requerirá una mezcla de los estiércoles con materia vegetal (paja, restos de poda, corteza de pino, etc.) para conseguir esta porosidad.

Relación C/N (carbono/nitrógeno). Esta relación se situará entre 25 y 35 para empezar el proceso. Las deyecciones ganaderas acostumbran a tener demasiado nitrógeno, de manera que debe mezclarse con materiales que tengan, por contra, mucho carbono y poco nitrógeno. Debe mezclarse con material vegetal, tanto para regular la humedad inicial como la porosidad y la relación C/N.

En la tabla 4.7. se muestran valores orientativos de la relación C/N para diferentes materiales.

Material	C/N
Fracción sólida de purines	9
Estiércoles de bovino	18
Gallinaza	13
Residuos de jardín	23
Paja	128
Serrín	511
Corteza de pino	723

Métodos

El sistema más simple y asequible, consiste en la formación de pilas o hileras de unos 2 metros de altura (Ver figura 4.8.) que se voltean periódicamente y se humedecen cuando es necesario (pilas volteadas). También existen otros sistemas que permiten un proceso más rápido y un control más exhaustivo, pero a un coste más elevado.

El sistema de pilas volteadas es el más simple y universal. Estas pilas pueden tener una sección transversal triangular o trapezoidal, y una longitud que puede ser superior a 20 metros. Si son demasiado altas (más de 3 metros), la compresión no deja entrar aire; si son demasiado bajas, o en general pequeñas, la temperatura cuesta que suba porque, a la pila, le cuesta poco enfriarse. Para oxigenar se voltea, ya sea con una pala de tractor o con una máquina volteadora especial. Este volteo se realiza según la temperatura o la humedad o bien se lleva a cabo periódicamente.

Proceso

Al inicio del proceso, si hay oxígeno disponible para volteo u otro método, las reacciones biológicas de descomposición de la materia orgánica dan lugar a un incremento de la temperatura, que en su momento provocará una evaporación de parte de la humedad. Se debe ir aportando el aire necesario para que este proceso continúe hasta que la materia orgánica degradable se consuma y baje la temperatura. Esta es la fase de descomposición. Más tarde tendrá lugar la fase de maduración, más lenta, en la cual acaba de realizarse el proceso de estabilización a temperatura ambiente (Ver figura 4.10.)

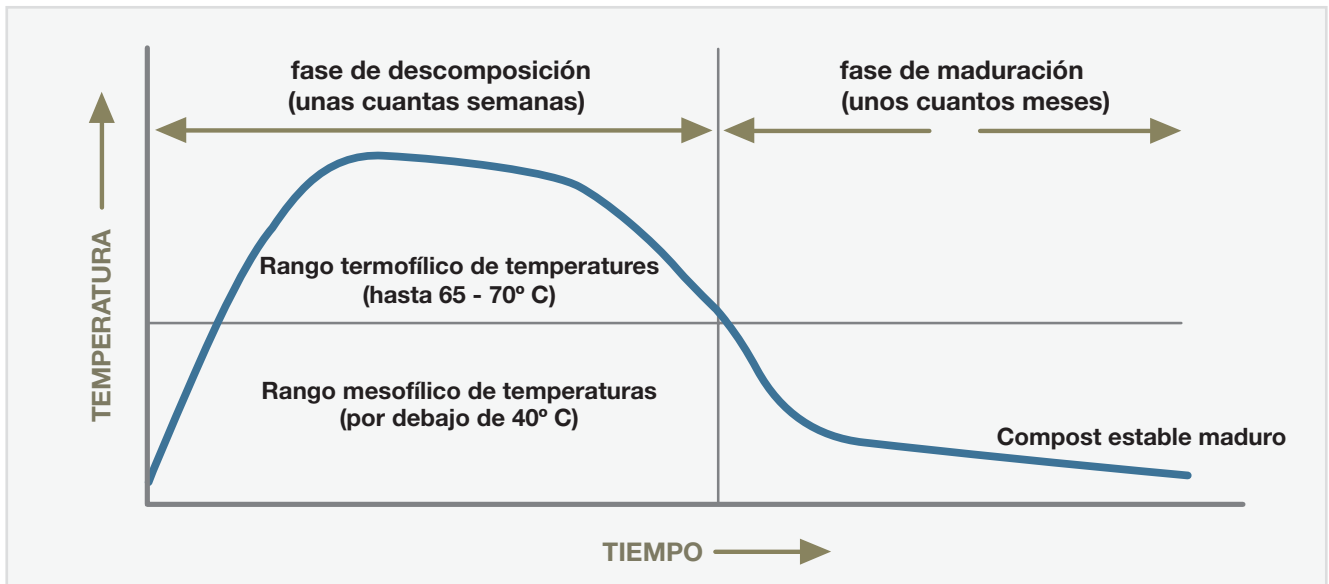


Figura 4.10. Fases del proceso de compostaje

¿A qué afecta?

- Las altas temperaturas que se alcanzan permiten la higienización de las deyecciones, eliminando patógenos, semillas de malas hierbas, huevos y larvas de insectos. Es por ello que debe asegurarse que se mantienen temperaturas superiores a los 55° C durante dos semanas, o superiores a los 65° C durante una semana.
- Se eliminan también los malos olores, por descomposición de compuestos volátiles.
- Se reduce el peso, el volumen y la humedad.
- En condiciones de trabajo ideales no afecta al nitrógeno total, y parte del nitrógeno amoniacal pasa a orgánico. En situaciones no ideales, hay pérdida de nitrógeno amoniacal que debe evitarse siempre.

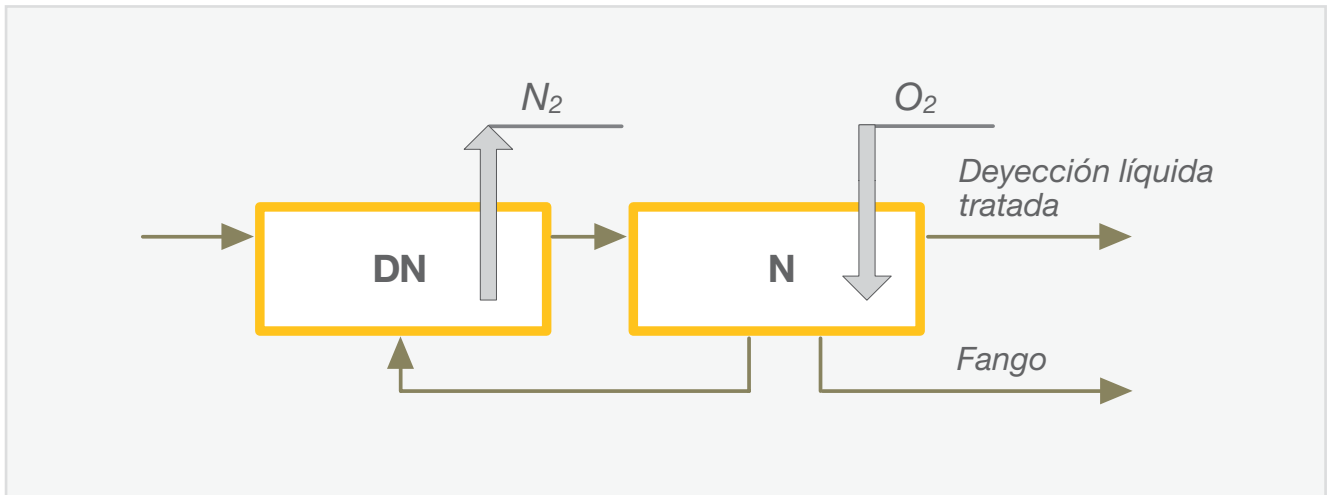
Ventajas

- Obtención de una enmienda orgánica (compost).
- Reducción del peso y el volumen (entre el 40 y el 50%), por descomposición de materia orgánica y evaporación de agua. Esto facilita la gestión y el transporte.
- Puede producir materiales alternativos a substratos no renovables, como puede ser la turba.
- Disminución de los malos olores.
- Higienización a causa de las temperaturas alcanzadas.

Inconvenientes

- Debe disponer de espacio suficiente, una superficie impermeabilizada y un sistema de recogida de lixiviados, que se podrán reutilizar para regar el compost.
- Si se parte de unas deyecciones que contengan una concentración apreciable de metales pesados, o incluso si se mezclan con otros residuos que puedan contener, estos metales se concentran en el compost, con lo cual se pierde valor agronómico.
- Si la relación C/N es muy baja se perderá nitrógeno por emisión de amoníaco a la atmósfera.

4.5. NITRIFICACIÓN-DESINITRIFICACIÓN (NDN)



El proceso de nitrificación - desnitrificación (NDN) tiene como objetivo básico la eliminación del nitrógeno que hay en un residuo. Se trata de un proceso microbiológico en el cual el amonio es oxidado por bacterias autótrofas a nitrato en presencia de oxígeno y carbono inorgánico (nitrificación) y, a continuación, este nitrato es reducido por bacterias heterótrofas a nitrógeno molecular gas, en ausencia de oxígeno y presencia de carbono orgánico (desnitrificación). El nitrógeno molecular (N_2) es un gas inerte, componente mayoritario de la atmósfera.

Este proceso se esquematiza en la figura 4.11., y en las figuras 4.12. y 4.13. se ilustra con imágenes de dos plantas tratando la fracción líquida de purines de cerdo.

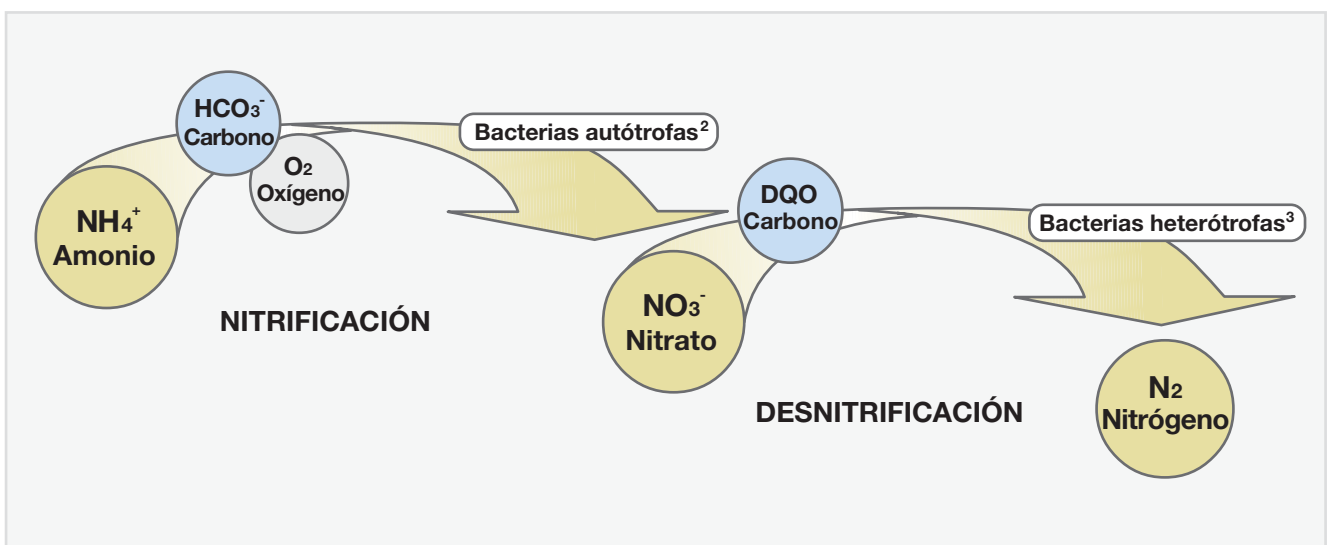


Figura 4.11. Reacción de oxidación (nitrificación) y de reducción (desnitrificación) que tienen lugar en el proceso de tratamiento NDN

2. Bacterias autótrofas: como fuente de carbono para su crecimiento utilizan una fuente inorgánica, como puede ser el CO_2 o el bicarbonato.

3. Bacterias heterótrofas: como fuente de carbono para su crecimiento utilizan compuestos orgánicos.



Fig. 4.12. Instalación de Nitrificación - Desnitrificación



Figura 4.13. Detalle reactor aeróbico (izquierda) y reactor anóxico (derecha)

¿A qué afecta?

- Transformación de nitrógeno orgánico y amoniacal en nitrógeno gas inerte y no contaminante.
- La eliminación de la materia orgánica.
- Puede afectar a la volatilización de amoníaco si no se opera correctamente.
- Reducen los malos olores, o pueden generarse si no se tiene cuidado.
- Se modifica el pH y la alcalinidad.

Ventajas

- Eliminación de nitrógeno.
- Eliminación de materia orgánica sin necesidad de aportar oxígeno.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Reducción de los malos olores.

Inconvenientes

- No permite cerrar el ciclo del nitrógeno, a diferencia de los procesos de recuperación.
- Coste de inversión relativamente elevado, según el número de equipos que deben considerarse.
- Coste de explotación que depende mucho del consumo eléctrico por aeración. Este consumo acostumbra a ser uno de los factores que limitan el sistema.
- Necesidad de control a causa de la gran cantidad de variables que intervienen en él: composición del residuo, cargas aplicadas, diferentes poblaciones bacterianas, temperatura, etc.
- Proceso sensible a la presencia de tóxicos e inhibidores, entre los cuales se da el mismo substrato durante la nitrificación.

- Se genera un fango que deberá gestionarse.
- Como cualquier proceso biológico, debe funcionar de manera continua, sin paradas.
- Debe asegurarse de que las deyecciones aporten suficiente carbono orgánico para la desnitrificación, y carbono inorgánico para la nitrificación.

Intervalos de rendimientos

La eficacia del proceso de nitrificación-desnitrificación depende de diversos factores, hecho que justifica la variabilidad en los rendimientos que se presentan. Algunos de estos factores serían:

- Composición de las deyecciones.
- Biodegradabilidad de la materia orgánica.
- Disponibilidad de suficiente materia orgánica durante la desnitrificación.
- Objetivo del tratamiento (eliminación parcial o total del nitrógeno).

El sistema tiene una entrada, la fracción líquida del purín (FLP), y dos salidas: el efluente líquido tratado y los fangos. El nitrógeno no eliminado en forma de nitrógeno gas (N₂) se distribuirá entre estas dos salidas. Intervalos usuales, de distribución de los diferentes compuestos entre las dos salidas, se muestran en la tabla 4.8.

Tabla 4.8. Distribución de los diferentes componentes de la fracción líquida de los purines (FLP) entre el efluente líquido y los fangos en un sistema de nitrificación-desnitrificación

Parámetro	Efluente líquido (% de FLP)	Fangos (% de FLP)
Sólidos totales	10-70	40-60
Sólidos volátiles	5-50	40-60
Conductividad	30-50	-
DQO	5-50	40-60
Nitrógeno	5-70	20-30
Fósforo	10-80	20-90

Los consumos eléctricos se mueven entre 10 y 25 kWoh/m³ de purines. Si se ha realizado previamente una separación sólido/líquido muy buena, con una gran transferencia de amonio a la fracción sólida, el coste energético puede bajar por debajo de los 10 kWoh/m³. Esta gran variabilidad depende de los factores siguientes:

- Eficacia del sistema de aeración utilizado.
- Consumo de oxígeno para nitrificar (alrededor de 4.6 Kg. O₂/Kg./N)
- Consumo de oxígeno para oxidar materia orgánica en la fase aerobia (que debe evitarse si es posible).
- Contenido de materia orgánica de los purines.
- Contenido de nitrógeno amoniacal y diseño del sistema utilizado.

Clasificación de sistemas y posibles configuraciones

En la tabla 4.9. se muestra una clasificación de sistemas de nitrificación-desnitrificación, donde el termino biomasa indica las bacterias responsables del proceso. En la figura 4.14. se ilustran cinco esquemas de configuraciones usuales para llevar a término este proceso.

Tabla 4.9. Clasificación de sistemas de nitrificación-desnitrificación

Sistemas de separación	Biomasa suspendida (fangos activados)	Continuos	Mezcla completa Flujo pistón Reales
		Discontinuos	SBR
Sistemas desnitrificantes	Biomasa fijada	Biodiscos rotatorios Filtros percoladores Filtros sumergidos Lechos fluidizados Reactores air-lift	
		Contenido anóxico	Continuos Mezcla completa Flujo pistón Reales Discontinuos SBR
	Biomasa suspendida	Otros	UASB
	Biomasa fijada	Filtros anóxicos Lechos fluidizados	

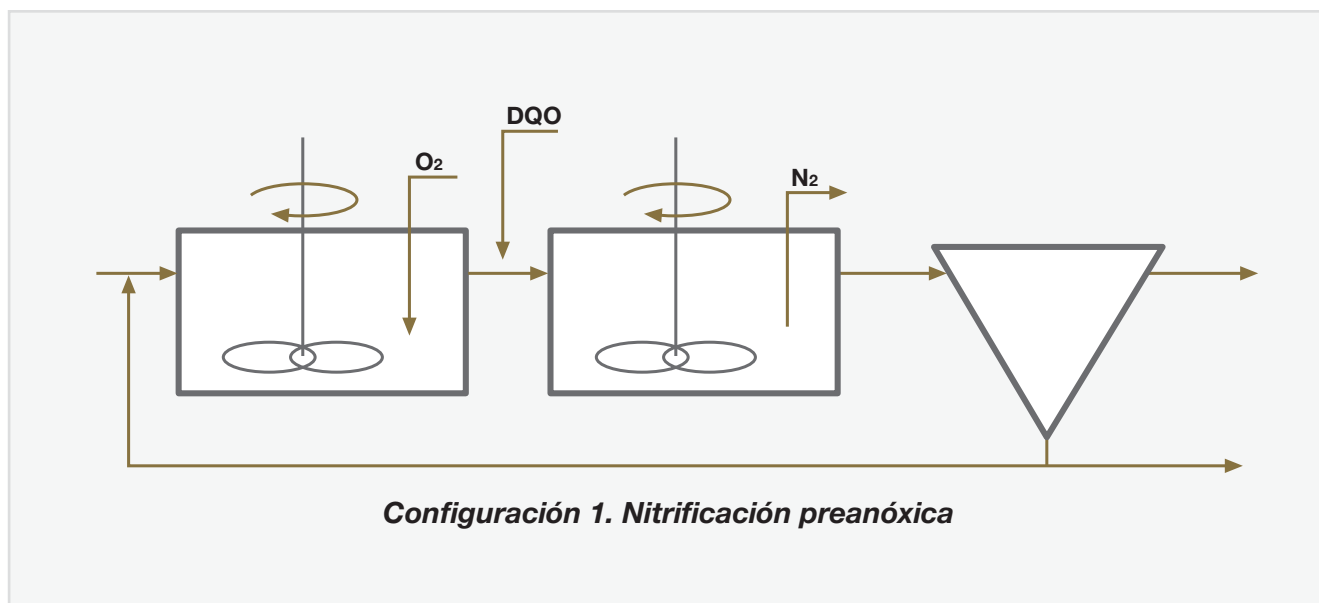
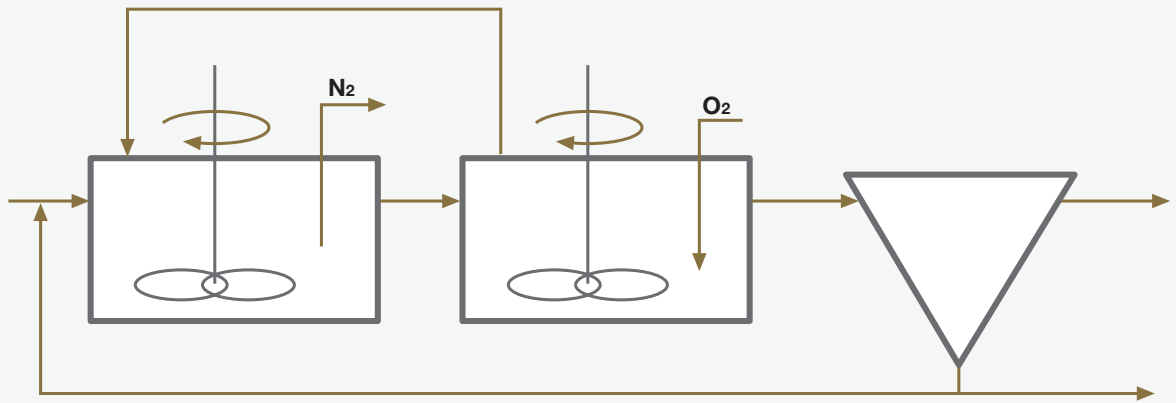
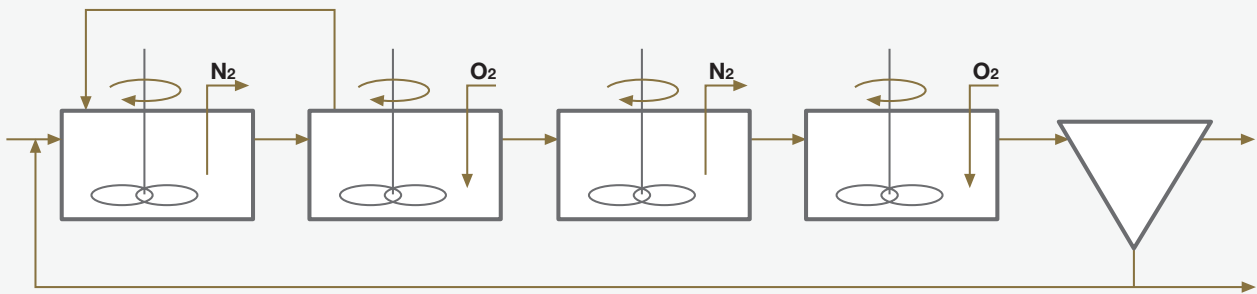


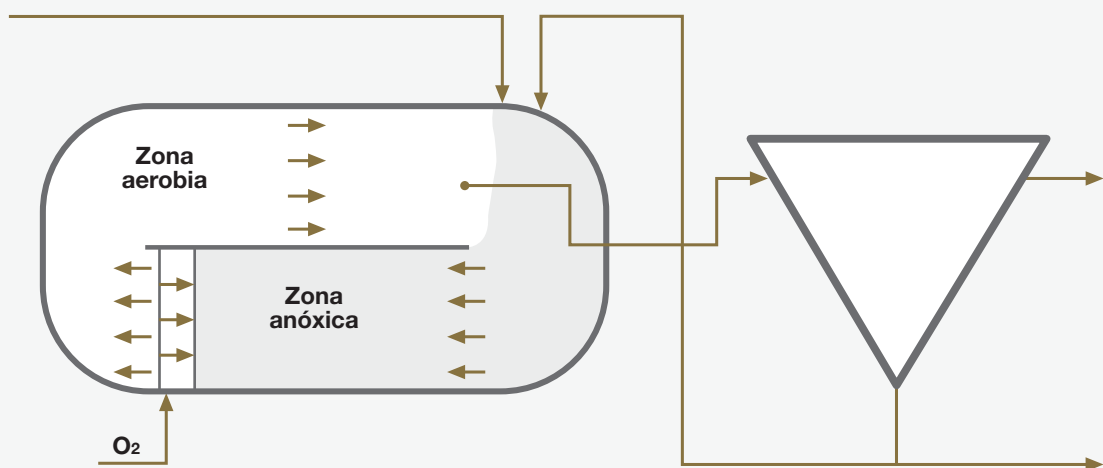
Figura 4.14a. Algunas configuraciones de sistemas de nitrificación-desnitrificación



Configuración 2. Nitrificación postanóxica



Configuración 3. Sistema Bardenpho



Configuración 4. Canal de oxidación

Figura 4.14b. Algunas configuraciones de sistemas de nitrificación-desnitrificación

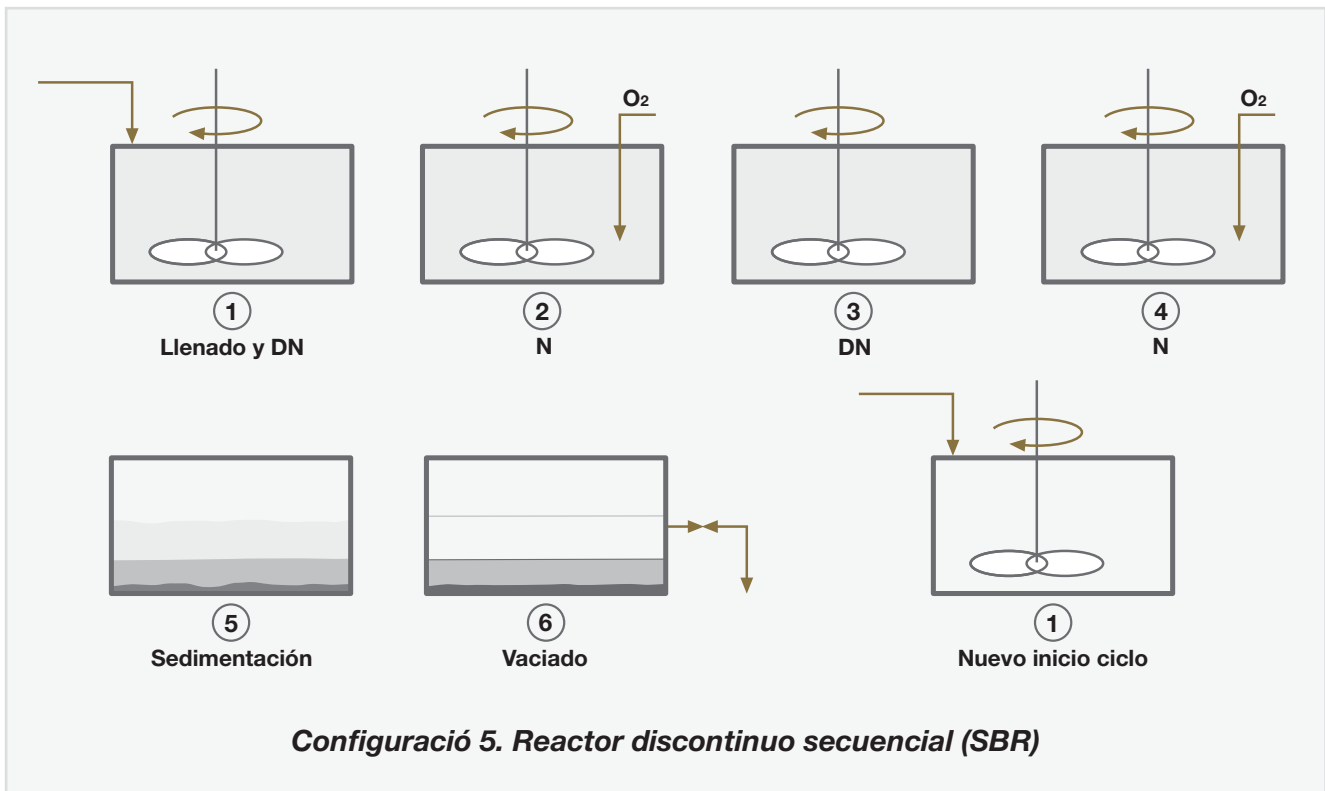
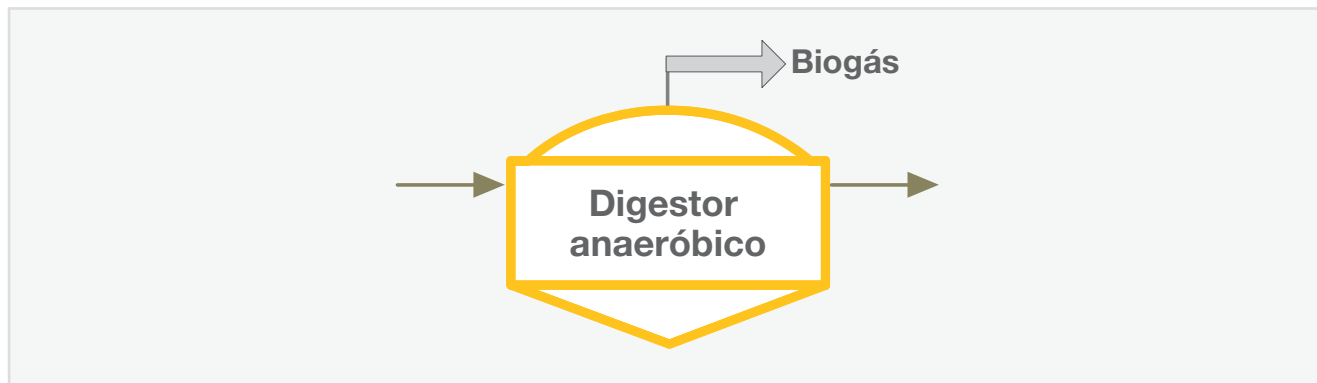


Figura 4.14c. Algunas configuraciones de sistemas de nitrificación-desnitrificación

Intervalo de costes

El coste de este tratamiento para purines de cerdo depende del objetivo planteado. Considerando exclusivamente el proceso de nitrificación-desnitrificación, el coste para un tratamiento parcial puede estar entre 0,5 y 2,1 euros/tonelada. Si el tratamiento es total, considerando la separación previa entre sólido y líquido, y el tratamiento posterior de la fracción sólida por compostaje, el coste puede aumentar hasta 2,5 - 5,2 euros/tonelada.

4.6. DIGESTIÓN ANAEROBIA



La digestión anaerobia, también denominada biometanización o producción de biogás, es un proceso biológico, que tiene lugar en ausencia de oxígeno, en el cual parte de la materia orgánica de las deyecciones se transforma, por la acción de microorganismos, en una mezcla de gases (biogás), constituido principalmente por metano y dióxido de carbono.

Se trata de un proceso complejo en el cual intervienen diferentes grupos de microorganismos. La materia orgánica se descompone en compuestos más sencillos, que son transformados en ácidos grasos volátiles, que son los principales intermediarios y moduladores del proceso. Estos ácidos son consumidos por los microorganismos metanogénicos que producen metano y dióxido de carbono. Todos estos procesos tienen lugar de manera simultánea en el reactor.

El esquema de una instalación tipo para residuos ganaderos se muestra en la figura 4.15.

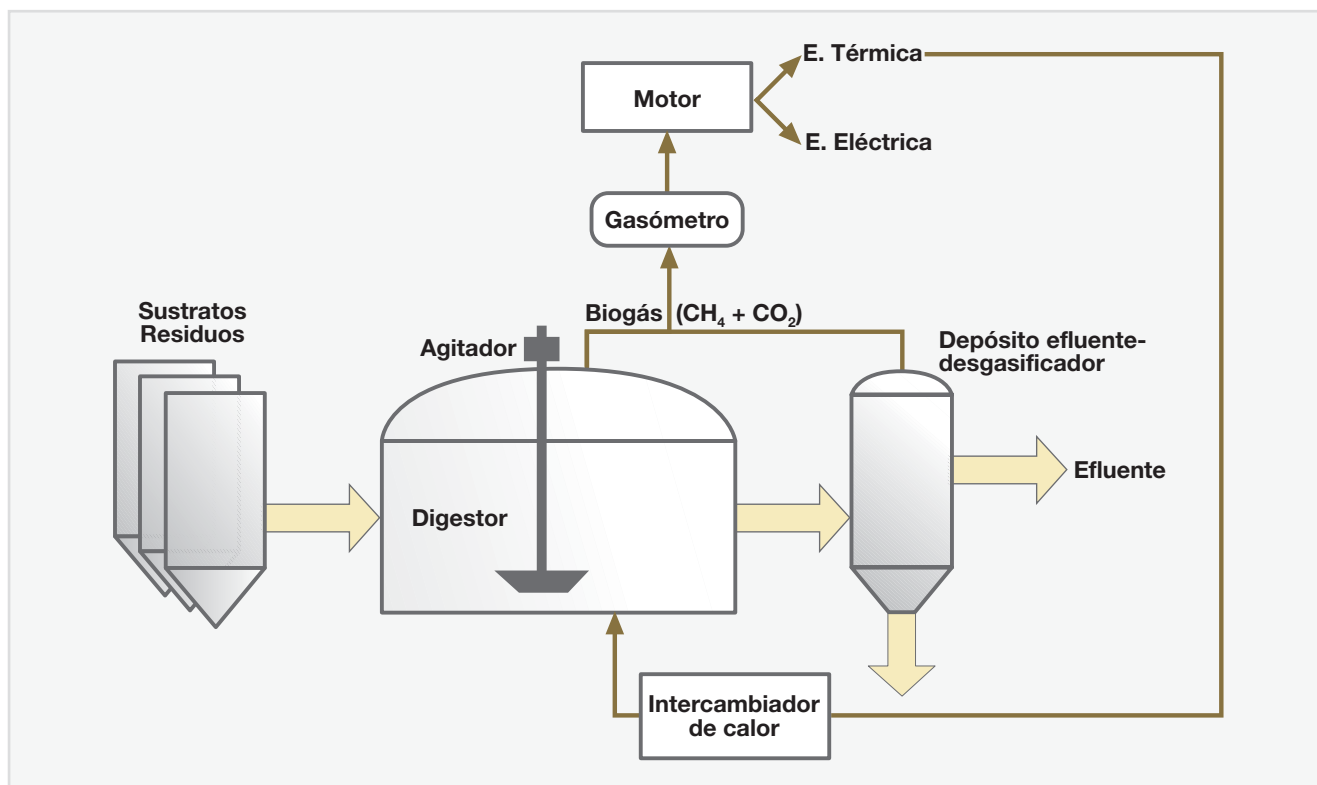


Figura 4.15. Esquema de una instalación tipo para residuos ganaderos

El biogás es combustible, y un metro cúbico de biogás corresponde energéticamente a unos 0,6 L de gasoil. El proceso se puede hacer alrededor de los 35° C (régimen mesofílico) o alrededor de los 55° C (régimen termofílico). Parte del biogás producido se utiliza para mantener esta temperatura.



Figura 4.16. Planta centralizada de digestión anaerobia



Figura 4.17. Planta de digestión anaerobia en una explotación ganadera

¿A qué afecta?

- Reduce la concentración de materia orgánica.
- Reduce los malos olores de las deyecciones.
- Reduce el contenido de sólidos.
- Reduce el contenido de microorganismos patógenos (especialmente si se realiza a 55° C, es decir, en régimen termofílico).
- La fracción de nitrógeno en forma amoniacal aumenta.

Ventajas

- Producción de energía si se aprovecha el biogás producido. Balance energético positivo.
- Estabilización parcial de la materia orgánica.
- Mineralización parcial de la materia orgánica (carbono y nitrógeno).
- Homogeneización.
- Higienización parcial.
- Control y reducción de malos olores.
- Disminución de emisiones incontroladas de gases de efecto invernadero.
- Mejora de la eficacia de otros procesos de tratamiento a los que pueden someterse las deyecciones después de pasar por la digestión anaerobia, como puede ser concentración/evaporación o stripping (arrastre) de amoníaco.

Inconvenientes

- Por ser sistemas cerrados, estancos, y con la infraestructura necesaria para el control y el aprovechamiento del gas producido, requiere inversiones elevadas.
- Debido al equilibrio necesario entre poblaciones bacterianas, necesita supervisión técnica periódica.
- Baja velocidad de crecimiento de microorganismos (requiere tiempos elevados de retención -de 15 a 20 días- y grandes volúmenes de reactores).
- Sensible a la presencia de muchos compuestos inhibidores o tóxicos (nitrógeno amoniacal, metales pesados, ácidos grasos volátiles, ácidos grasos de cadena larga, pH, antibióticos y desinfectantes, sulfuros, etc.).
- No se elimina nitrógeno.

Rendimientos

A parte de la producción de biogás, el proceso afecta al contenido de materia orgánica del efluente digerido y a la transformación de nitrógeno orgánico en amoniacal. En la tabla 4.10 se muestran algunos datos típicos.

Tabla 4.10. Rendimientos típicos que se pueden obtener en la digestión anaeróbica de purines de cerdos de engorde a 35° C con un tiempo de retención de 20 días

Parámetro	Salida del digestor (% del valor de entrada)
Caudal	95-98
Sólidos totales	20-45
Sólidos volátiles	40-60
Nitrógeno orgánico	60-40
Nitrógeno amoniacal	140-160
Nitrógeno nítrico	0
Fósforo	100
DQO	40-60

Ejemplos de cálculos de rendimientos

Para purines de cerdo de engorde con el 6,5% de MS y 55 g DQO/L, pueden obtenerse entre 11 y 18 m³ de biogás por tonelada de purín, con un contenido de metano entre el 65 y el 70%. A partir de los valores de la tabla 2.2 se pueden hacer estimaciones con los valores de potencial de producción de biogás de la tabla 4.11. Se tiene que contar siempre con un tiempo de retención mínimo entre 15 y 20 días. De esta manera, si mediante la tabla 2.2 se concluye que cada día se produce 20 m³ de purines, y el tiempo de retención es de 20 días, el volumen necesario del digestor será de 400 m³.

Tabla 4.11. Potenciales de producción de biogás por gramo de sólido volátil del influente

Origen del residuo	G ₀ (L biogás/g SV) <i>Plan de energía de Cataluña</i>	G ₀ (L CH ₄ /g SV) <i>Hill, 1982</i>
Bovino de carne	0,300	0,35
Vacuno de leche	0,300	0,20
Porcino	0,410	0,45
Aves de corral	-	0,39

Si los purines o los estiércoles se han almacenado durante bastante tiempo, su potencial de producción de biogás es muy inferior a los valores indicados, ya que se ha iniciado la transformación de la materia orgánica en biogás de una manera incontrolada, y parte de este gas ya se ha perdido previamente.

Opciones para aumentar el potencial de producción de biogás

- Aplicar el proceso de digestión anaerobia tan pronto como se produzcan las deyecciones, y almacenar después de la digestión.
- Codigestión de los purines con otros residuos de mayor potencial de producción.
- Someter los purines a un proceso previo (térmico o físico) para mejorar la descomposición de las partículas.

Intervalo de costes

En la tabla 4.12 se indican valores aproximados para la inversión según el volumen necesario de reactor. Cabe apuntar que el coste por unidad de volumen del digester baja cuanto mayor sea. Esto quiere decir que se necesita un caudal de purines mínimo para asegurar un cierto grado de rentabilidad.

Tabla 4.12. Costes orientativos de instalaciones dependiendo del tamaño de la instalación y de motores y/o calderas según la potencia necesaria para el aprovechamiento de la energía producida

Coste obra civil e instalaciones		Coste motores cogeneración		Coste caldera	
Volumen del reactor (m ³)	Presupuesto de ejecución/volumen digester (€/m ³)	Potencia eléctrica (kW)	COSTE (€)	Potencia nominal (kW)	COSTE €
50	1.999,85	30	46.000	35	579
200	910,60	70	86.000	100	1.422
800	413,47	100	112.000	300	2.567
1.200	356,39	300	252.000	2.000	11.135

El uso de un motor de cogeneración o una caldera dependerá de las características y tamaño de la instalación, de los requerimientos de energía térmica o eléctrica, así como también de los costes asociados. Siempre se tiene que solicitar un estudio económico a las empresas suministradoras.

La normativa sobre producción de energía eléctrica en régimen especial fija anualmente el precio de venta de la energía eléctrica producida a partir del biogás.

Los costes de explotación se encuentran alrededor del 2,5% de la inversión inicial. En cuanto a los beneficios, dependen de la producción de gas, del aprovechamiento de éste y de las necesidades de la granja. En el caso de aprovechamiento de la energía térmica en caldera, el ahorro equivale a 9 L de gasoil por metro cúbico de purines tratados (suponiendo una producción de biogás de 15 m³/m³ de purines), es decir, un ahorro de 4 euros/m³ de purines tratados.

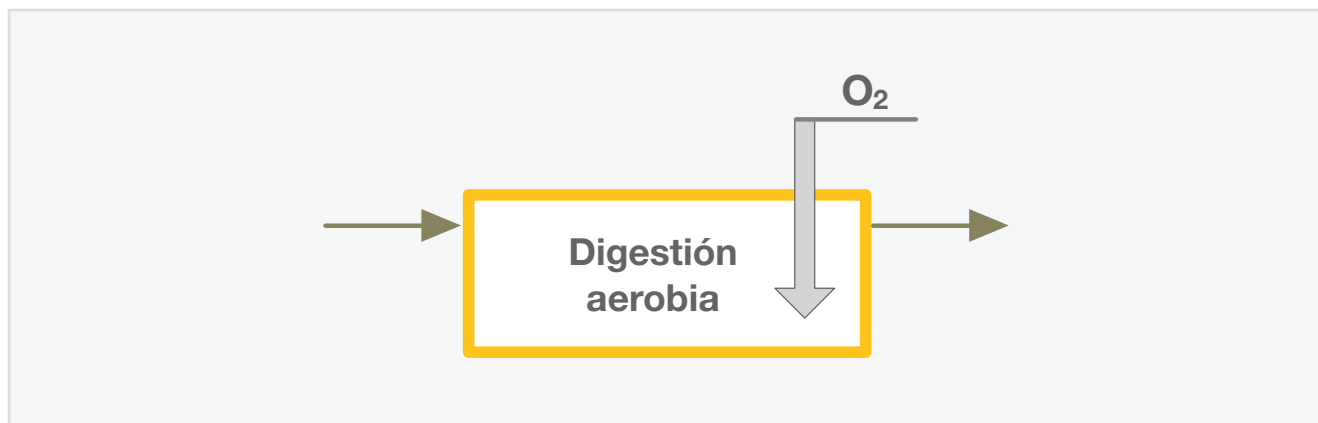
Los plazos de amortización varían mucho dependiendo del tipo de instalación, del tamaño y de las necesidades energéticas, pero de media están alrededor de 10 años. Algunos datos económicos orientativos se muestran en la tabla 4.13.

Tabla 4.13. Ejemplo para una granja de ciclo cerrado de 500 madres, con una producción de purines de 9.000 m³/año

Inversión instalaciones (€)	211.900
Costes de mantenimiento (€/año)	4.895
Ahorro energético (€/año)	19.993
TIR sin subvención	4,78 %
Payback sin subvención	13 anys
TIR con 20% de subvención	7,41 %
Payback con 20% de subvención	10,4 anys

Otra opción más asequible es el cubrimiento de balsas, con aprovechamiento del biogás producido. El coste de cubrimiento para una balsa de 1500 m² de capacidad, con un área de 375 m², es de alrededor de los 18.000 euros. El coste total de la instalación, incluyendo la balsa cubierta, un reactor pequeño para inocular la balsa y las instalaciones de recogida y aprovechamiento del biogás, es de alrededor 3,77 euros /m³ de purines producidos. La producción de gas en estas instalaciones es mucho más baja que en un reactor de mezcla completa, y esta en torno a 4-6 m³/m³ de purines, por lo cual el ahorro energético máximo teórico será de 3 l. de gasoil / m³ de purines tratados. Las producciones de biogás más importantes se darán en el verano, cuando la posibilidad de aprovechar la energía térmica sea más baja.

4.7. DIGESTIÓN AEROBIA



La digestión aerobia consiste en la descomposición biológica de la materia orgánica en presencia de oxígeno, el cual debe aportarse por agitación superficial o por burbujeo a la balsa de purines. Este proceso es equivalente al de compostaje de una deyección de consistencia sólida, pero aquí el medio es líquido y sólo se pretende una reducción de materia orgánica, sin buscar una relación C/N adecuada ni una calidad del producto final obtenido.

Si la concentración de materia orgánica es elevada, se puede llegar a conseguir un incremento significativo de temperatura y producir un ambiente termofílico (temperaturas superiores a los 45° C), con las ventajas consiguientes en cuanto a la higienización. Si el calor generado en la descomposición de la materia orgánica permite mantener temperaturas termofílicas de una manera continua, el proceso se denomina ATAD (Autoheated Thermophilic Aerobic Digestion).

¿A qué afecta?

- Reducción de la carga orgánica (hasta el 60% de los sólidos volátiles).
- Reducción del nitrógeno amoniacal; parte del nitrógeno amoniacal pasa a orgánico y se incorpora a los microorganismos aerobios que crecen en él.
- Los microorganismos aerobios que crecen forman agregados (flóculos), fáciles de sedimentar, y hacen que el producto final presente unas mejores propiedades de decantación en un proceso de separación sólido-líquido.
- Reducción de organismos patógenos.
- Estabilización de la materia orgánica y reducción de los malos olores.

Ventajas

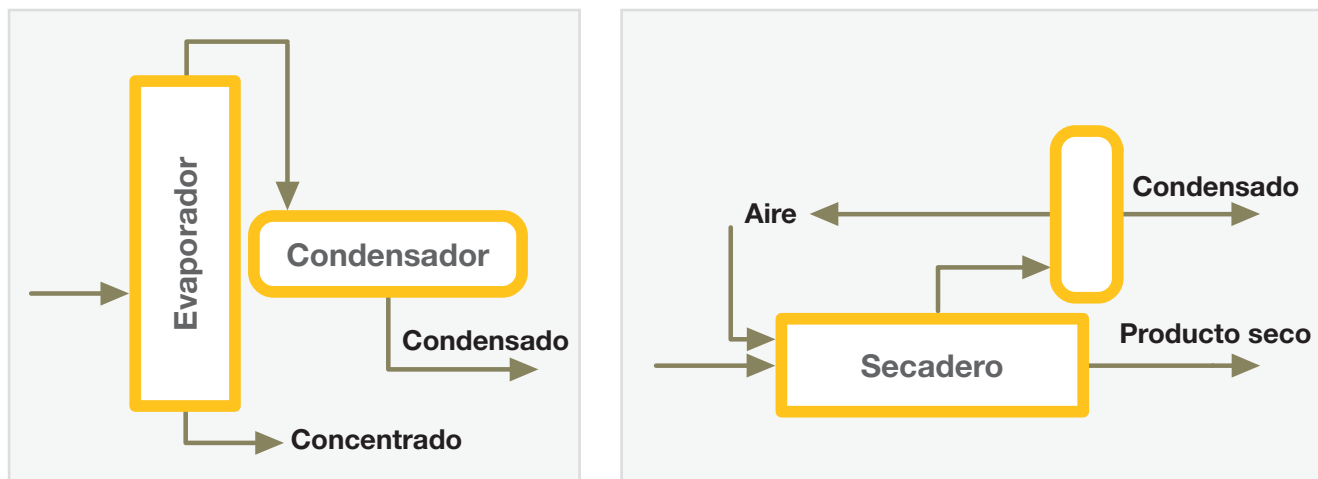
- Reducción de microorganismos patógenos.
- Manejo sencillo. Sólo se requiere un sistema de aportación de aire a las balsas.

- Mejora la separación posterior de fases, y favorece el paso del nitrógeno a la fracción sólida, en forma de nitrógeno orgánico.

Inconvenientes

- Coste elevado de la aeración, por consumo de energía eléctrica.
- Se pueden presentar problemas de formación de espumas.
- La mejora en la separación (deshidratabilidad) es menor si se mantienen temperaturas en el rango termofílico.

4.8. EVAPORACIÓN Y SECADO



Proceso por el cual se separa agua por medio de su evaporación. A fin de que los vapores no causen problemas de contaminación a la atmósfera, la evaporación debe realizarse al vacío (baja presión, o depresión), a temperatura moderada (50-60° C) y con condensación posterior de los vapores (recuperación de agua condensada).

Si la materia prima es un líquido con materia disuelta o en suspensión, el proceso se denomina evaporación, y los productos obtenidos son un jarabe, o concentrado, con un contenido en sólidos totales de alrededor del 25-30%, y los condensados (agua).

Si la materia prima es un sólido húmedo (concentración en sólidos totales superior al 20-30 %), el proceso se denomina secado, y en este caso se utiliza aire para evacuar la humedad. Debido a que este aire puede estar cargado de amoníaco y otros compuestos volátiles, es conveniente lavarlo y tratarlo posteriormente en un biofiltro, si se da el caso, después de la recuperación de agua condensada.

El concentrado de una evaporación contendrá todo el nitrógeno, si antes se ha bajado el pH con ayuda de un ácido. Por otro lado, el agua condensada será más limpia y, por consiguiente, reutilizable o vertible, si antes se ha eliminado la materia orgánica más volátil mediante, preferentemente, un sistema de digestión anaerobia y producción de biogás. De este modo, puede producirse parte de la energía necesaria para el proceso a partir del mismo material que debe tratarse. También funciona de este modo para el proceso de secado. En la figura 4.18 se muestra un equipo de evaporación al vacío.



Figura 4.18.
Imagen de evaporador al vacío.

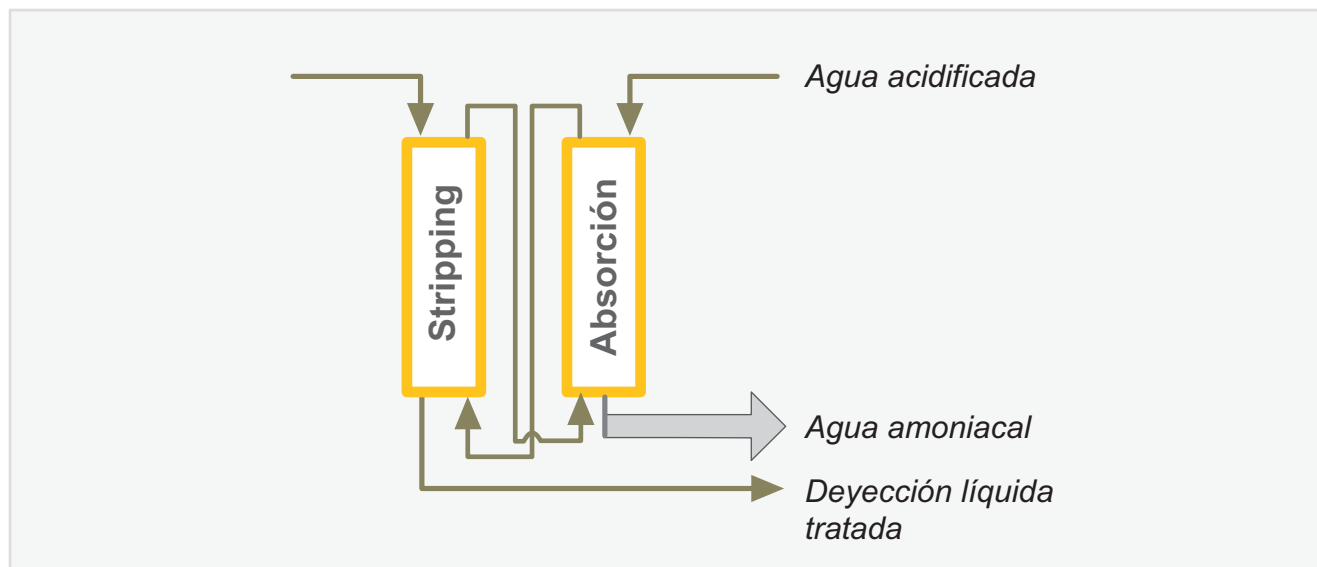
Ventajas

- Reducción de volumen, por separación del agua condensada.
- Recuperación de nutrientes en la fase sólida, ya sea en el concentrado o el producto seco.
- Permite aprovechar la energía térmica excedente de un proceso de cogeneración.
- Si no se desea una gran reducción de volumen, puede bastar la energía térmica excedente de un proceso de cogeneración alimentado con biogás.

Inconvenientes

- Requiere un proceso previo de reducción o eliminación de materia orgánica, para evitar la contaminación de los condensados.
- Proceso complejo y caro, tanto por la inversión como por el mantenimiento.
- Necesidad de utilizar compuestos químicos (ácidos) para bajar el pH.
- Debe asegurarse que el producto final obtenido tendrá un mercado o que algún agente (empresa de fertilizantes, consumidor final, etc.) lo retirará periódicamente.
- Si se desea un producto final sólido, con contenidos en agua inferiores al 10%, se necesita el aporte de calor externo de una central térmica o de cogeneración. Si se parte de purines, esto implica combinar la evaporación y el secado. Esto hace que sólo sea viable en el ámbito de un tratamiento colectivo, hecho que puede representar una ventaja de gestión.

4.9.STRIPPING Y ABSORCIÓN



El *stripping* es un proceso por el cual el nitrógeno amoniacal pasa a una corriente de aire. Este proceso se debe combinar con la absorción posterior de este amoníaco en una corriente de agua, a fin de que no se emita a la atmósfera. Como resultado de esto, se obtiene agua amoniacal o una sal de amonio (sulfato de amonio, por ejemplo).

El proceso de *stripping* se ve favorecido si el pH en la entrada del proceso es alto y/o si la temperatura es alta (superior a 60° C). El proceso de absorción requiere que el agua de absorción lleve un ácido (pH bajo).

Para obtener una sal amoniacal limpia, sin contaminación por materia orgánica ni mal olor que recuerde los purines, para que pueda sustituir un fertilizante mineral, es conveniente eliminar previamente la materia orgánica más volátil de los purines. Esto puede realizarse mediante la digestión anaerobia, con la ventaja de que la energía térmica que puede obtenerse de un proceso de cogeneración a partir del biogás se puede utilizar para subir la temperatura de la fracción líquida digerida, y favorecer su *stripping*.

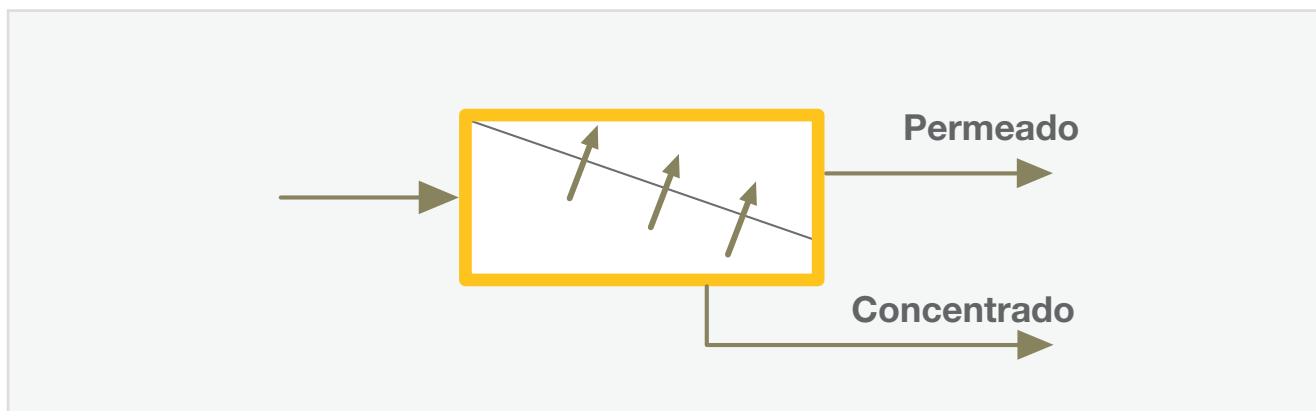
Ventajas

- Se valoriza el nitrógeno de los purines, recuperándolo en forma de agua amoniacal o sal de amonio.
- Se contribuye al ahorro de energía y a la reducción del consumo de fertilizantes minerales.

Inconvenientes

- El sistema requiere un tratamiento previo (digestión anaerobia, aerobia, separación sólido-líquido).
- Dependiendo del rendimiento deseado, deben manipularse productos químicos que pueden ser peligrosos si no se actúa correctamente (ácido sulfúrico, cal, sosa, etc.).
- Debe asegurarse que el producto final obtenido (sal de amonio, aguas amoniacales, etc.) tenga la calidad suficiente para que se pueda comercializar.
- Debe asegurarse que el producto final obtenido tendrá un mercado o que algún agente (empresa de fertilizantes, consumidor final, etc.) lo retirará periódicamente.

4.10. FILTRACIÓN PARA MEMBRANA Y ÓSMOSIS INVERSA



Son procesos que consisten en la separación de diferentes partículas de una solución dada su medida o concentración osmótica (*salinidad*) mediante membranas semipermeables.

La filtración en membrana consiste en una separación física a través de una membrana semipermeable que retiene las partículas de medida superior al diámetro de poro o selectividad.

La ósmosis inversa consiste en invertir el flujo osmótico (permeado o *efluente tratado*) a través de una membrana semipermeable mediante la aplicación de presión, con lo cual se consigue la concentración de la solución.

Las figuras 4.19 a 4.22 muestran esquemas de estos procesos. En la figura 4.23 se ilustran con imágenes algunas instalaciones.

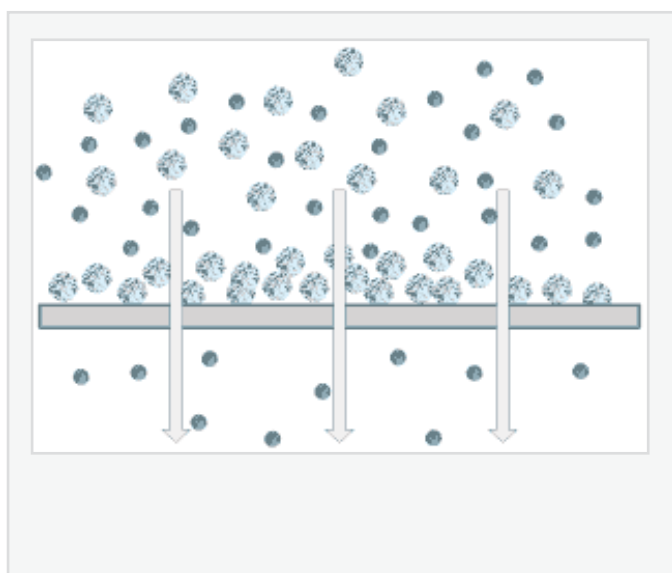


Figura 4.19.
Proceso de filtración en membrana

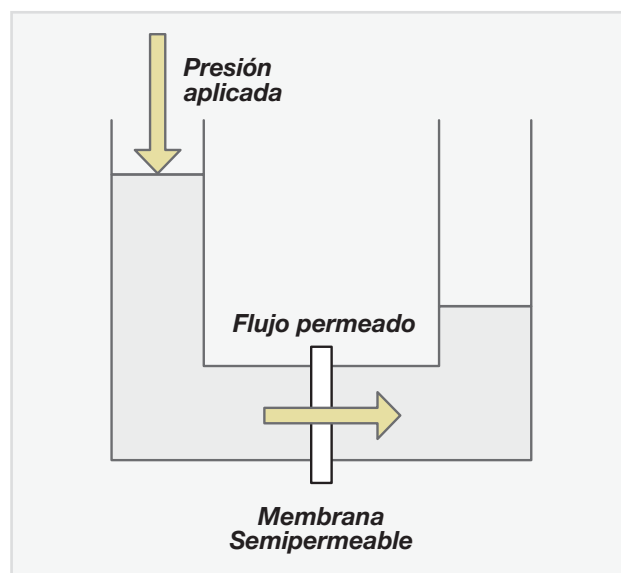


Figura 4.20.
Proceso de ósmosis inversa

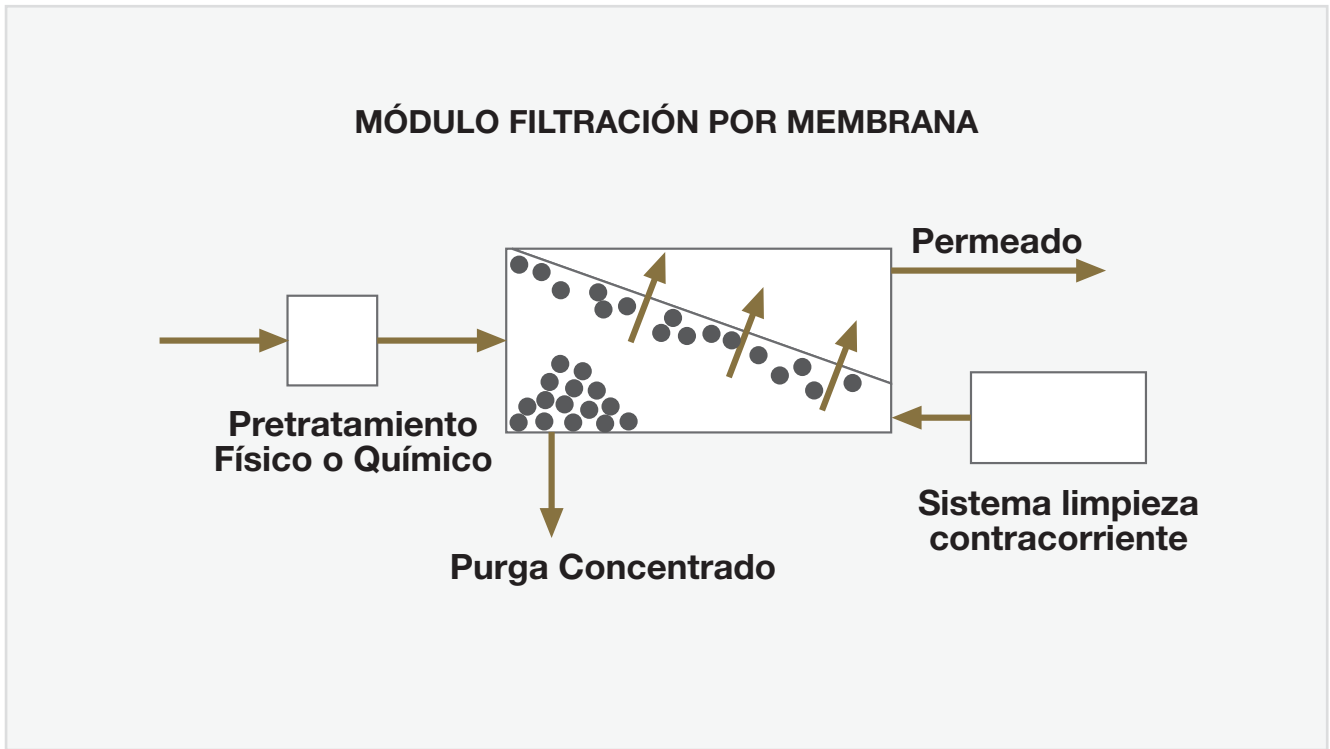


Figura 4.21. Esquema de la implantación de un proceso de filtración para membrana

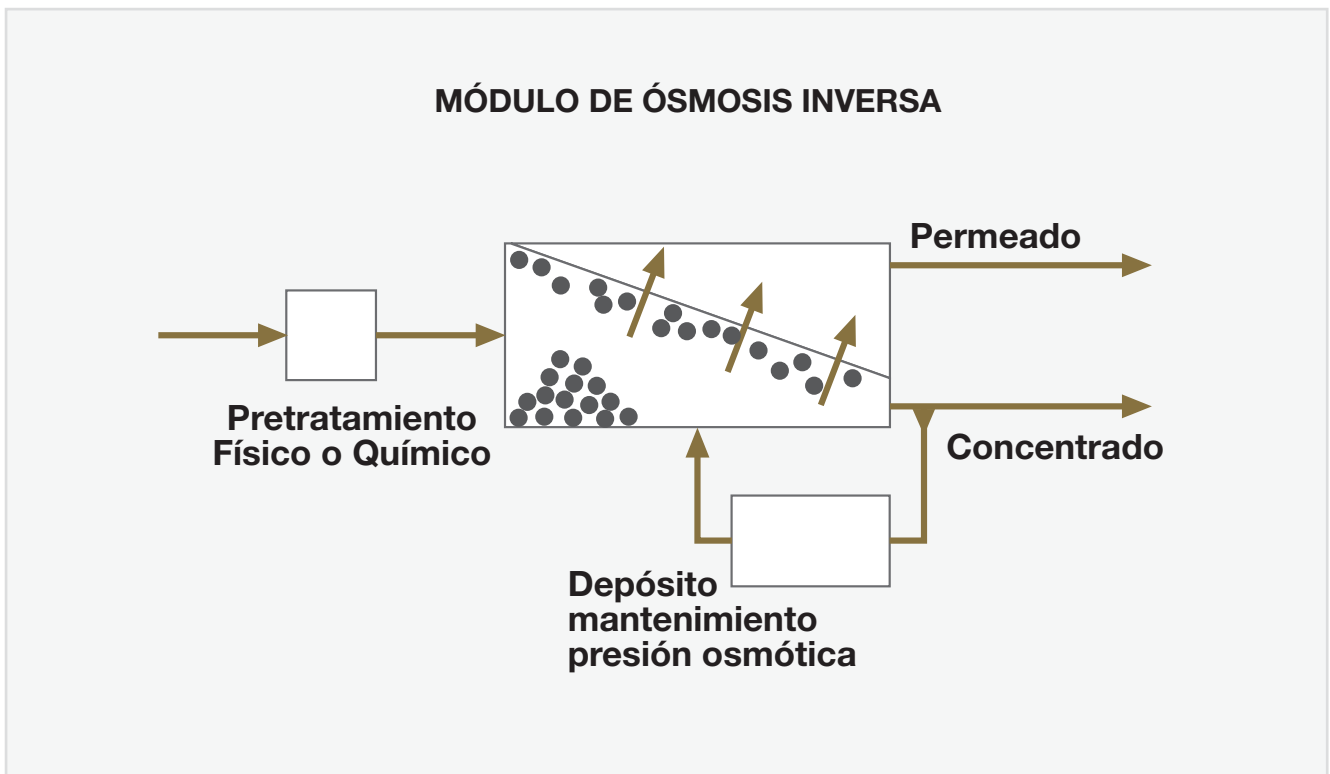
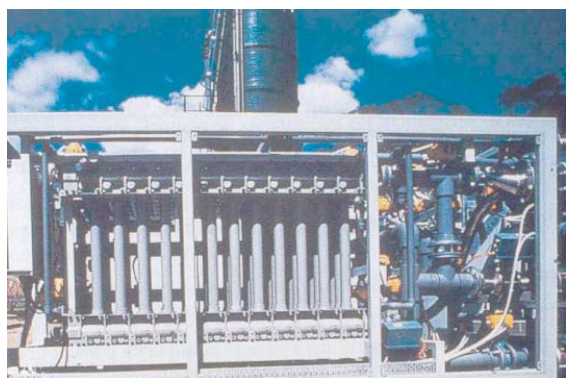


Figura 4.22. Esquema del proceso de ultrafiltración



(a)



(b)



(c)

Figura 4.23. Imágenes de módulos de microfiltración (a), de ultrafiltración (b) y de ósmosis inversa (c)

¿A qué afecta?

El efecto del proceso dependerá de la tecnología utilizada y de la selectividad de cada tecnología o proceso según se muestra en la tabla 4.14.

Tabla 4.14. Compuestos separados en función de la tecnología

	Ósmosis inversa	Nanofiltración	Ultrafiltración	Microfiltración
Selectividad	0,002 μm	0,002 μm	0,05-0,2 μm	0,2-5 μm
Desperdicios	<ul style="list-style-type: none"> • Compuestos de peso molecular elevado • Compuestos de peso molecular baix • Cloruros • Sodio • Glucosa • Aminoácidos • Proteínas 	<ul style="list-style-type: none"> • Compuestos de peso molecular elevado • Monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos • Aniones polivalentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Macromoléculas • Proteínas • Polisacáridos • Virus 	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas fango • Bacterias

De manera general:

- Disminuye el contenido en sólidos, principalmente de compuestos particulados o en suspensión.
- Disminuye la concentración de materia orgánica, principalmente de las formas solubles.
- Disminuye el contenido de microorganismos patógenos (bacterias y virus).

Ventajas

- Tecnología poco voluminosa, ampliable y transportable.
- Operación automatizada y de poco mantenimiento.
- Higienización del producto.
- Posibilidad de trabajo con caudales elevados de tratamiento.

Inconvenientes

- Necesidad de un influente pretratado o desbastado, para evitar que las membranas se ensucien.
- Posibilidad de obturaciones e incrustaciones que hacen necesarias operaciones de limpieza química, con imposibilidad de funcionamiento en régimen continuo.
- Coste energético elevado.
- No reduce la materia orgánica por debajo de los límites permitidos para verter a cauce público, y baja eficacia en la eliminación de amonio, en el caso de residuos ganaderos y aplicando ultrafiltración.

Intervalos de rendimientos

Tabla 4.15. Intervalos de rendimientos de diferentes componentes en función de la tecnología utilizada

Tabla 4.15. Intervalos de rendimientos de diferentes componentes en función de la tecnología utilizada

	Ósmosis inversa Permeado (% entrada)	Nanofiltración Permeado (% entrada)	Ultrafiltración Permeado (% entrada)	Microfiltración Permeado (% entrada)
Caudal	80-85 %	75-80 %	70-80%	65-70 %
ST		55 %	47 %	40 %
SV		80 %	68 %	50 %
SST	100 %	100 %	100 %	95-100 %
SSV	100 %	100 %	100 %	95-100 %
STS			19 %	
DQOT			84 %	
DQOs			51 %	
N _{TK}			18 %	
N-NH ₄ ⁺			13 %	
CE	85-90 %		5 %	

Nota: ST = sólidos totales; SV = sólidos volátiles; SST = sólidos en suspensión totales; SSV = sólidos en suspensión volátiles; STS = sólidos totales disueltos; DQO_T = demanda química de oxígeno total; DQO_S = DQO soluble; N_{TK} = nitrógeno total; N-NH₄⁺ = nitrógeno amoniacal; CE = conductividad

Clasificación de equipos

Los equipos empleados en procesos de filtración membrana se clasifican en función del material utilizado, que determinará la selectividad y la presión de trabajo necesaria, según la tabla 4.16. Esta clasificación ya se ha utilizado en las tablas 4.14 y 4.15.

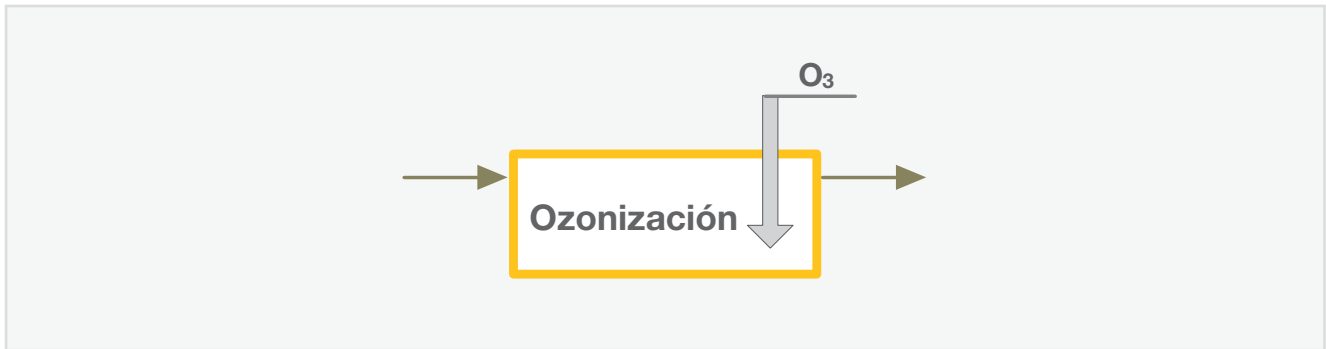
Tabla 4.16. Características de las diferentes tecnologías

	Ósmosis inversa	Nanofiltración	Ultrafiltración	Microfiltración
Material membrana	Acetato de celulosa	Acetato de celulosa	Cerámica, fluoruro de polivinilo, acetato de celulosa	Cerámica, polipropileno, fluoruro de polivinilo
Presión trabajo	15-150 bar	5-10 bar	1-10 bar	2 bar

Intervalo de costes

Los costes de operación se deben al consumo de productos químicos y al consumo de energía eléctrica, que puede llegar a 20-25 kWh/m³ por ultrafiltración. En caso de ósmosis inversa estos valores se pueden superar.

4.11. OZONIZACIÓN



El ozono (O_3) es un oxidante muy fuerte que se utiliza habitualmente para:

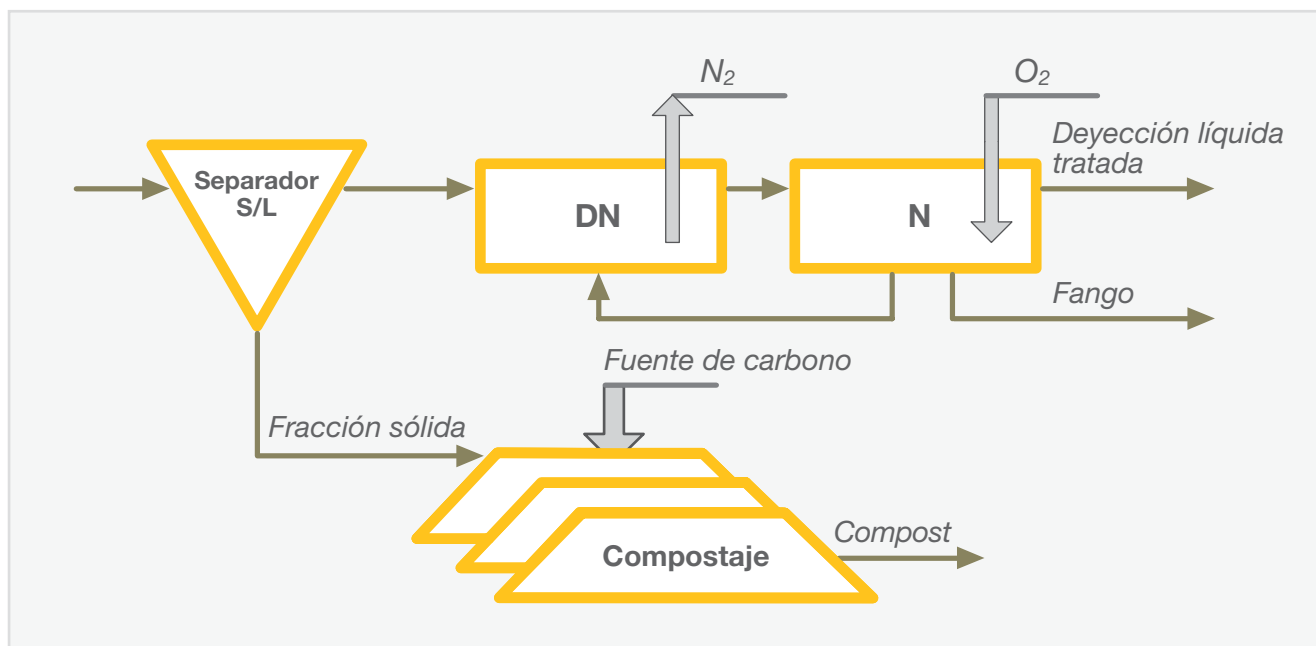
- Desinfectar aguas para potabilizarlas. Pese a su efectividad, en no dejar gusto o residuo en el agua, no puede asegurarse un control posterior de que la desinfección se haya llevado a cabo correctamente. Esta es la razón por la que se aplica más en el campo del tratamiento de aguas de proceso industrial que en la suministro de agua a poblaciones.
- Oxidar parcialmente compuestos orgánicos recalcitrantes (difíciles de descomponer), para favorecer el tratamiento biológico posterior. Esta aplicación se ha mostrado muy conveniente para depurar aguas residuales procedentes de la industria de los colorantes.

En el campo de las deyecciones ganaderas, el interés de aplicar ozono se encuentra en el segundo uso posible, como soporte a tratamientos posteriores.

Para oxidar nitrógeno amoniacal, puede aplicarse ozono para oxidar amoníaco a nitrato, pero no para oxidar el ión amonio, cuya reacción no es termodinámicamente posible. Para purines u otras deyecciones, la nitrificación por ozono será extremadamente lenta, si no es que se ayude el paso de amonio a amoníaco subiendo la temperatura o el pH.

4.12. COMBINACIÓN DE PROCESOS PARA LA ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO

Este es un ejemplo de cómo se puede combinar procesos para conseguir un objetivo.



Con una separación sólido-líquido del residuo, con la ayuda de los aditivos adecuados, se obtendrá una fracción sólida apta para ser compostada o bien transportada hasta zonas deficitarias en nutrientes, y una fracción líquida preparada para un tratamiento de eliminación de nitrógeno mediante el proceso de nitrificación-desnitrificación. Según cuál sea la composición del líquido efluente de este tratamiento, se podrá verter (directamente o con tratamiento terciario previo de afinamiento) a cauce público o bien utilizarse como agua de riego o limpieza de la granja.

Intervalo de costes

Según el Estudio sobre las tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos aplicables en Cataluña elaborado desde el LEA el año 2002, el coste de este tratamiento para purines de cerdo dependerá del objetivo planteado, tal como indica la tabla 4.17 según diferentes valores obtenidos de instalaciones europeas. El tratamiento parcial NDN significa que no se pretende hacer una depuración completa de la fracción líquida, tan solo una reducción significativa del nitrógeno. Un tratamiento total significa que la instalación está preparada como una instalación de depuración completa.

En relación a la fracción sólida, realizar un buen compostaje, implica la aportación de material estructurante y un esmerado control del proceso y de la calidad del producto final, lo que se traduce en unos mayores costes de tratamiento, pero que se podrían llegar a compensar con una venta de este producto, si hay mercado que lo demande. La amplitud de los intervalos obtenidos en la tabla 4.17 se debe a la gran variabilidad que sobre costes e ingresos se pueden dar en función de las circunstancias locales.

Tabla 4.17. Intervalo de costes encontrados en el mercado para un sistema combinado de eliminación de nitrógeno de purines de cerdo

Descripción tratamiento	Coste (€/t)
Separación de fases de los purines Fracción líquida: tratamiento parcial NDN	1,5-2,6
Separación de fases de los purines Fracción líquida: tratamiento parcial NDN Fracción sólida: compostaje con bajo control	3,0-5,0
Separación de fases de los purines Fracción líquida: tratamiento parcial NDN Fracción sólida: compostaje	4,5-8,0
Separación de fases de los purines Fracción líquida: tratamiento total NDN	3,5-5,7
Separación de fases de los purines Fracción líquida: tratamiento total NDN Fracción sólida: compostaje	4,5-7,0

4.13. COMBINACIÓN DE PROCESOS PARA LA REDUCCIÓN DE VOLUMEN POR CONCENTRACIÓN TÉRMICA

La mayoría de estrategias de tratamiento presentan un nivel de complejidad tecnológica más elevado en el momento en que, haciendo uso de energía térmica, evacuan total o parcialmente la humedad de las deyecciones mediante los procesos de evaporación y/o secado. Esto permite obtener únicamente como productos finales, a partir de purines, un granulado seco o un compuesto. Estos productos tienen que poder ser comercializados fuera de la zona aplicable del plan de gestión. La gran ventaja del sistema es la reducción significativa del volumen, que favorece al transporte de los productos finales a bajo coste.

Siempre deben combinarse los procesos de evaporación o secado con otros procesos, ya sea para reducir la materia orgánica, para reducir el nitrógeno o bien, para separar fracciones.

La fuente de energía térmica proviene de un proceso de cogeneración alimentado con gas natural, ayudado con biogás si se ha incluido el proceso de digestión anaerobia en la estrategia de tratamiento. Si el agua condensada obtenida tiene la calidad suficiente, podrá ser utilizada para la refrigeración de los motores de cogeneración, y evaporada a la atmósfera.

En la tabla 4.18 se sintetizan las características de las combinaciones de procesos de cinco empresas que disponen de instalaciones en funcionamiento en España.

Tabla 4.18. Características de combinación de procesos con implantación a escala industrial

Proceso	Reducción o eliminación de materia orgánica				Separación S/L		Tratamiento del líquido		Tratamiento del sólido	
	Digestión anaerobia	Digestión aerobia	NDN	Ozonización	Física	Físico-química	Evaporación al vacío	Evaporación atmosférica	Secado	Compostaje
Combinación 1	X				X		X		X	
Combinación 2						X	X		X	
Combinación 3				X		X	X		X	
Combinación 4		X				X		X	X	
Combinación 5			X			X	X			X

El coste depende básicamente de la existencia de primas en la producción de energía eléctrica y del precio del gas natural. Si la energía térmica tuviera que ser comprada, los costes de tratamiento estarían, según la tecnología adoptada, entre 25 y 30 euros/m³ de purines. Si la energía térmica fuera cedida por una central térmica, los costes pueden bajar hasta unos 11-15 euros/m³. Si la energía térmica es producida por una central de cogeneración propia, los costes pueden bajar por debajo de los 5 euros/m³, dependiendo del valor de las primas.

5. SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO

Una vez conocidos los diferentes procesos de tratamiento, éstos pueden combinarse para dar lugar a una estrategia que solucione la problemática concreta. La decisión sobre el tratamiento idóneo no es simple, ya que las variantes ofrecidas por cada empresa pueden ampliar las opciones por encima de las combinaciones básicas. Asimismo, puede que haya soluciones tecnológicas muy diferentes que cubran los objetivos con la misma efectividad.

Las opciones pueden agruparse según el objetivo final que desea conseguirse, que depende básicamente de la problemática que hay que resolver, de las características propias de cada granja y del grado de excedente en nutrientes o de la seguridad, o confianza, que pueda dar el suministrador de la tecnología o el gestor autorizado a quien se delega la gestión.

La solución idónea, con sus variantes, depende básicamente del coste, que depende del caudal a tratar (según cada granja), de los precios y los costes de la energía (depende de la política de primas vigente en cada momento), de las distancias hasta la aplicación (costes de transporte asociados) y de la conveniencia de un tratamiento colectivo.

En la figura 5.1 (a y b) se muestra una metodología de toma de decisiones para la selección del tratamiento que debe aplicarse en función de las condiciones de cada explotación.. En esta figura se adoptan como acciones base para tomar decisiones posteriores la realización de; 1) Un plan de minimización de caudales (reducir el volumen de agua que llega a las balsas) y cargas (reducir la cantidad de nitrógeno, fósforo y metales en la alimentación). 2) Un balance de nutrientes, entre los producidos en la granja y las necesidades de los cultivos. Estas dos acciones deben dar respuesta a la pregunta de si se está en una situación de equilibrio o en una de excedentes de nutrientes. En cualquiera de las dos situaciones se plantea la cuestión de la conveniencia de llevar a cabo una gestión individual o colectiva de las deyecciones, a la cual el ganadero debe dar respuesta.

En caso de que no haya excedente en nutrientes, ya sea con una gestión individual o colectiva, la solución tecnológica debe poder mejorar la gestión de las deyecciones, ya sea desde un punto de vista práctico mejorando el manejo como económico, reduciendo los costes de transporte y de aplicación.

En caso de excedente de nutrientes (figura 5.1b), las soluciones tecnológicas se agrupan en tres grandes grupos: 1) Las soluciones que adoptan la digestión anaerobia y el aprovechamiento energético del biogás. 2) Las soluciones que se basan en el tratamiento fisicoquímico, por el cual los nutrientes se recuperan en forma de sólidos y 3) Las soluciones que adoptan el proceso de nitrificación-desnitrificación, por el cual parte del nitrógeno se elimina. Un comentario a parte lo merecen las deyecciones de consistencia sólida (estiércoles y gallinazas), las cuales tienen como mejor opción el proceso de compostaje y la exportación del compost producido. En algún caso se puede llegar a plantear la producción de biogás con estas deyecciones, y por este motivo se llega a la decisión sobre la conveniencia del compostaje si antes ya se ha valorado negativamente el interés técnico y/o económico de la digestión anaerobia.

Las tres grandes agrupaciones de opciones técnicas se presentan, cada una, con cuatro niveles diferentes de complejidad, de la más simple a la más compleja. Se empieza valorando si la más simple basta para solucionar la problemática y, si no, se pasa a un nivel de complejidad superior, hasta llegar a la que es capaz de dar respuesta al problema. Si la más simple no es económicamente asumible, no hace falta pasar a la más compleja, porque aún será más cara.

En caso de que no se pueda asumir el coste económico de ninguna opción técnica, el diagrama propone replantear el problema y volver al inicio del proceso de decisión. Este replanteamiento puede indicar que es necesario enfrentarse con una perspectiva diferente al plan de minimización, pasar de una gestión individual a una colectiva si esta gestión aporta mejoras en las soluciones (economía de escala) o, posiblemente, transferir total o parcialmente las deyecciones a un gestor autorizado que ofrezca unas condiciones económicas asumibles.

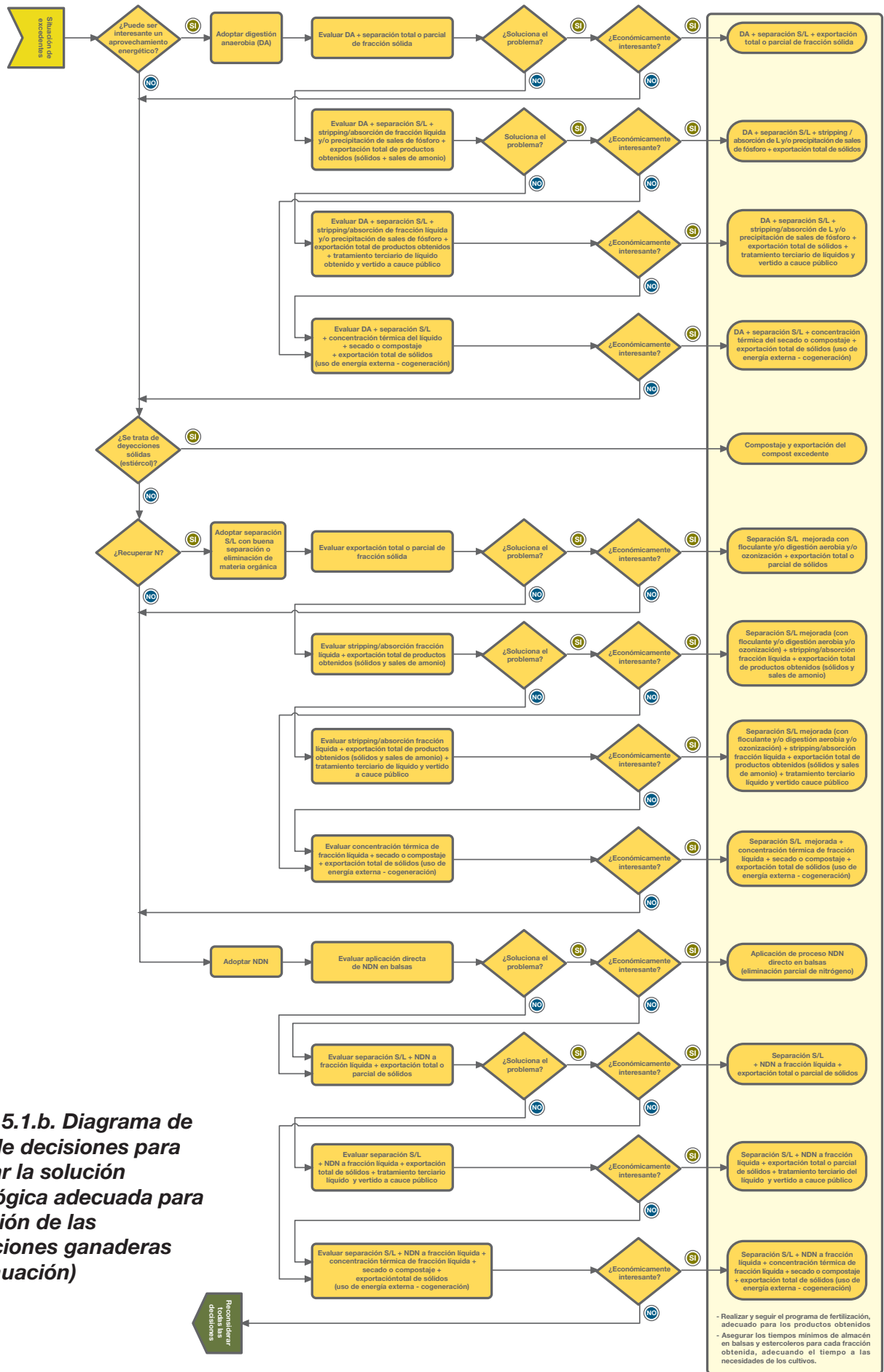


Figura 5.1.b. Diagrama de toma de decisiones para adoptar la solución tecnológica adecuada para la gestión de las deyecciones ganaderas (continuación)

Notas a las figuras 5.1, a y b:

- Es siempre recomendable que las fracciones obtenidas, con contenido de materia orgánica sean compostadas.

- Puede llegar a ser interesante estudiar el posible aprovechamiento energético por digestión anaerobia:
 - Si hay demanda de energía térmica en la granja.
 - Si hay línea eléctrica para evacuar la energía eléctrica excedentaria.
 - Si, en general, hay manera de rentabilizar el biogás producido.

- La pregunta "¿Soluciona el problema?" hace referencia a:
 - ¿Consigue equilibrar el balance de nutrientes?
 - ¿Consigue solucionar el problema de transporte entre granja y parcelas de cultivo?
 - En general, ¿soluciona el problema de la gestión de las deyecciones?

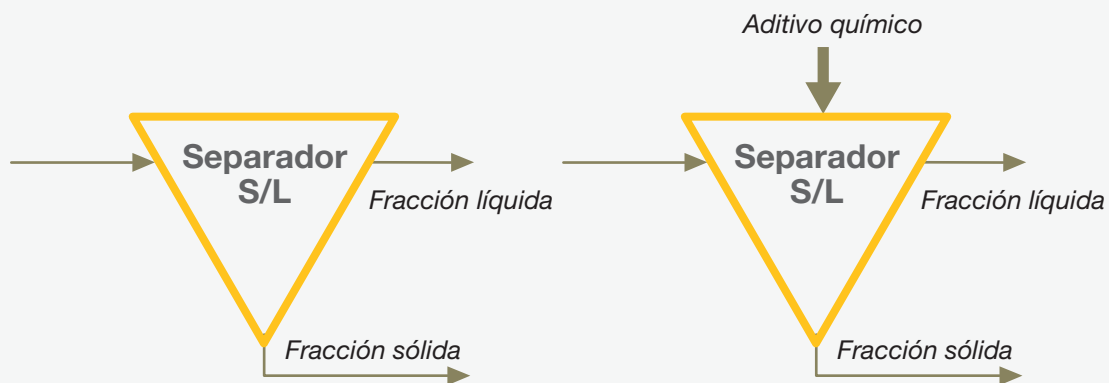
- La pregunta "¿Económicamente interesante?" se refiere a:
 - ¿Se considera que el coste económico es asumible?
 - ¿Se considera que es económicamente ventajoso respecto a otras soluciones técnicas?
 - ¿Se considera que la relación prestaciones-coste es adecuada a las necesidades?

- El objetivo del tratamiento terciario es la obtención de un líquido final susceptible de ser vertido a cauce público, y evitar la inversión en infraestructuras de riego. Esto puede conseguirse, dependiendo de las características del líquido, con:
 - Precipitación de sales (separación sólido-líquido con aditivos específicos)
 - Separación con membranas

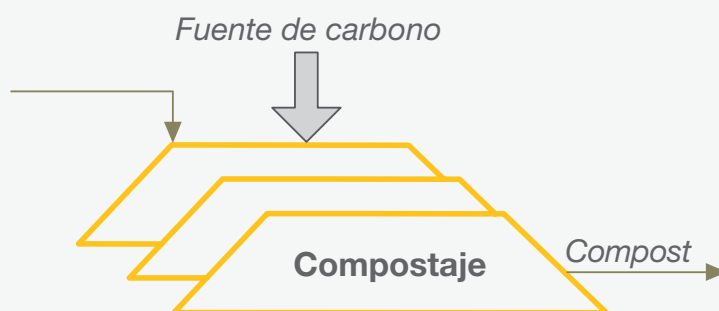
6. ESQUEMAS DE ESTRATEGIAS DE TRATAMIENTO DE LOS DIAGRAMAS 5.1

No hay excedentes. Estrategias para mejorar la gestión, mejorar la calidad de las deyecciones o producir energía

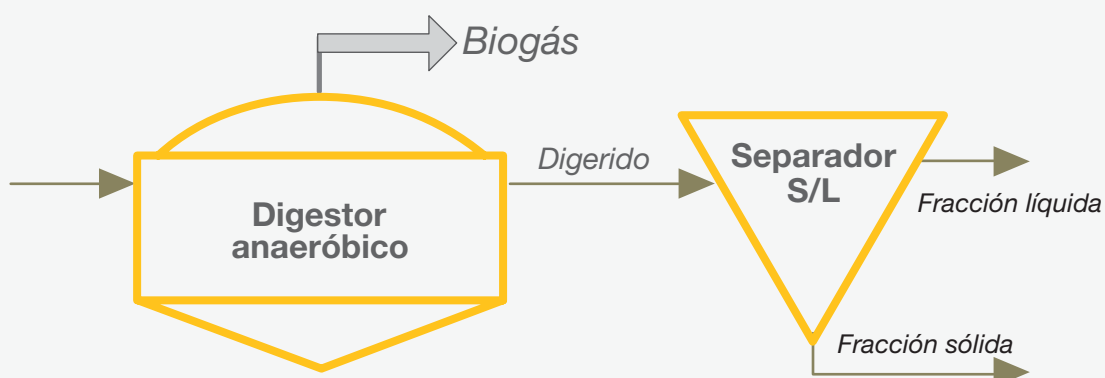
Separación S/L



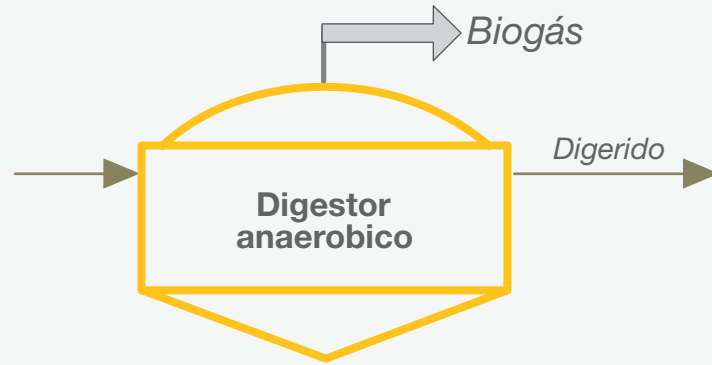
Compostaje



Digestión anaerobia y separación S/L (con o sin aditivos)

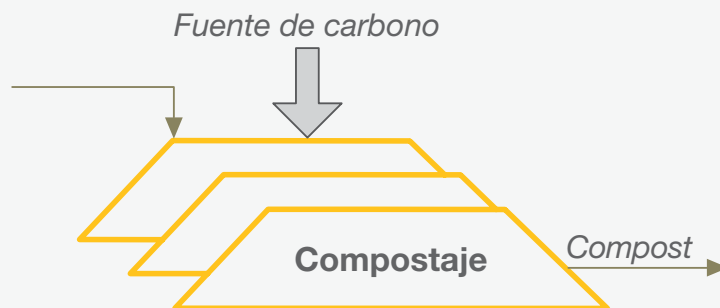


Digestión anaerobia



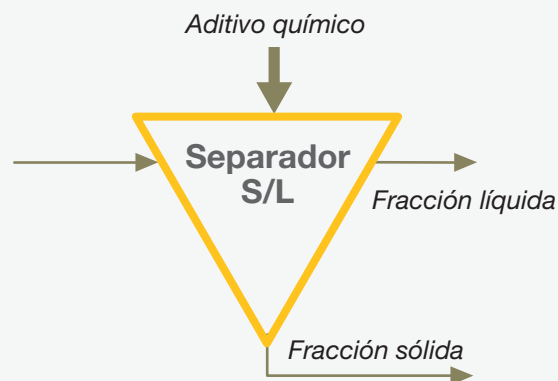
Hay excedentes. Estrategia para estiércoles y gallinazas si no son susceptibles de digestión anaerobia

Compostaje de estiércoles y gallinaza

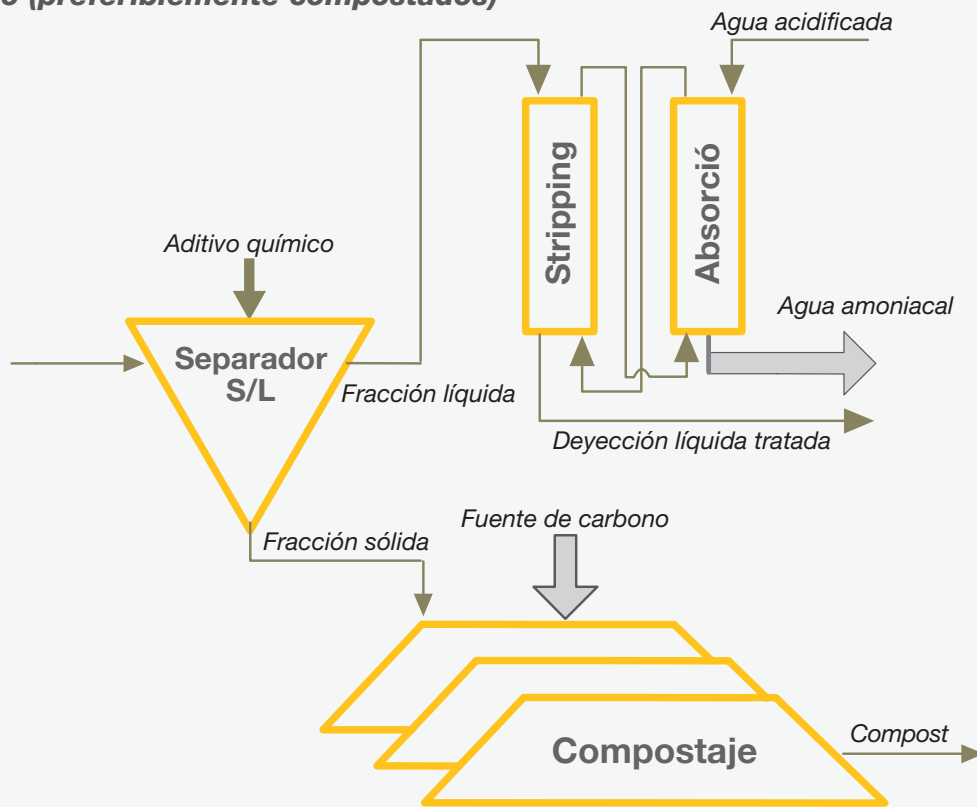


Hay excedentes. Estrategia basada en el tratamiento fisicoquímico (separación de nutrientes en fases)

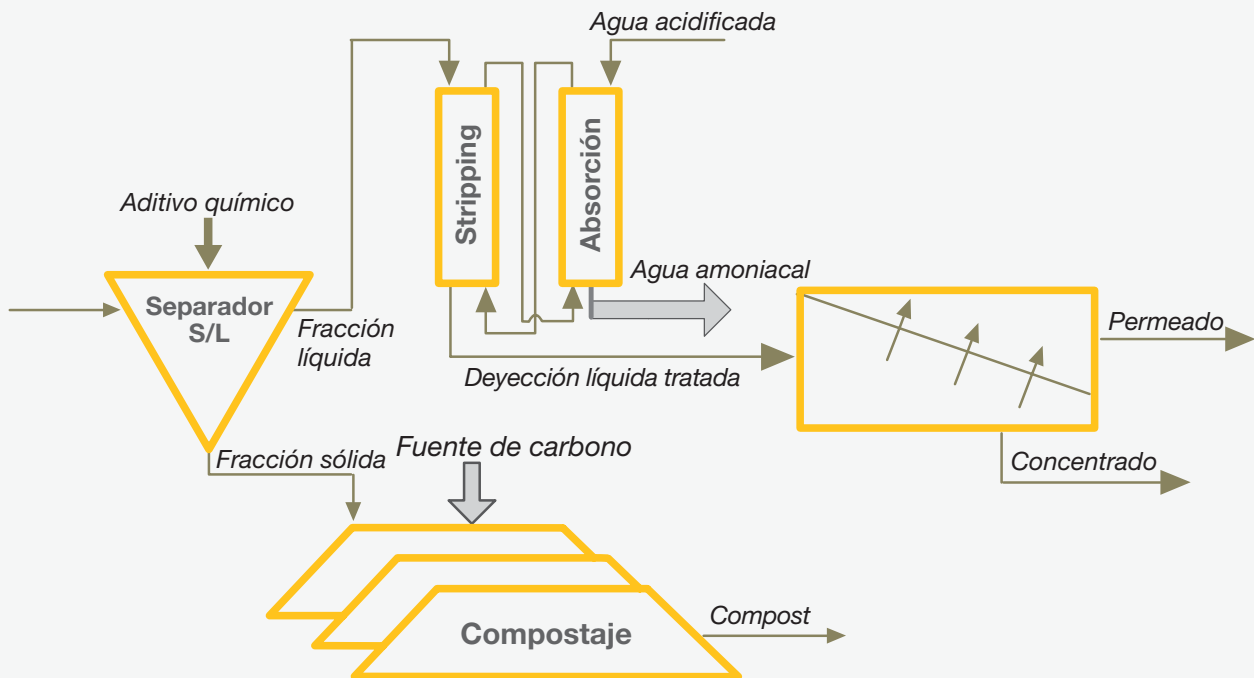
Separación S/L mejorada con aditivos y exportación del sólido



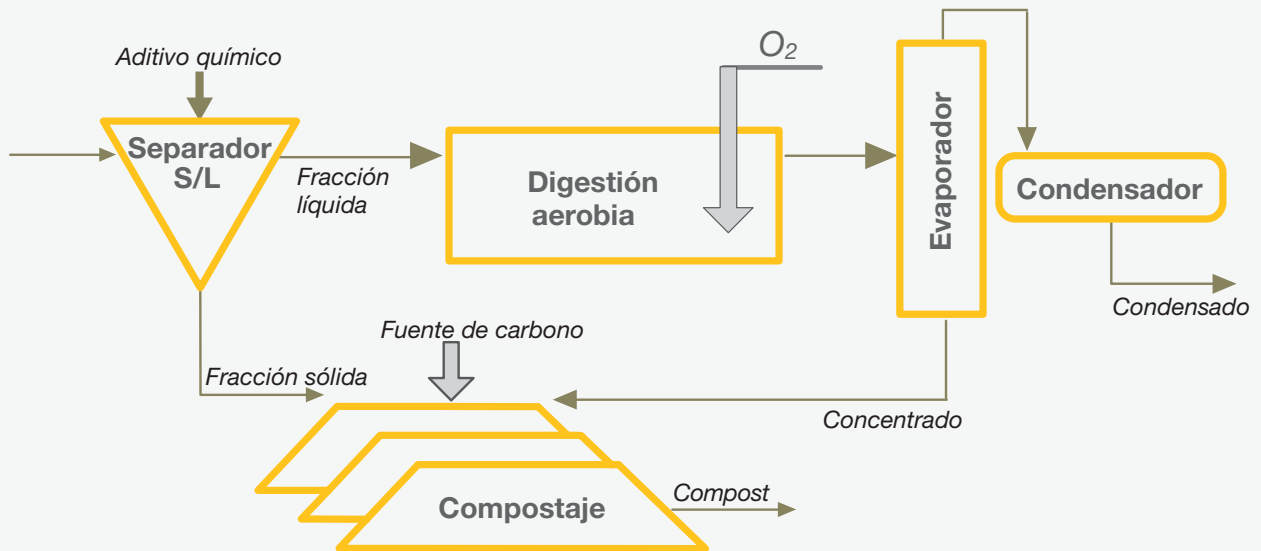
Separación S/L mejorada con aditivos + stripping fracción líquida + exportación del sólido (preferiblemente compostados)



Separación S/L mejorada con aditivos + stripping fracción líquida + tratamiento terciario del líquido + exportación de los sólidos (preferiblemente compostados)

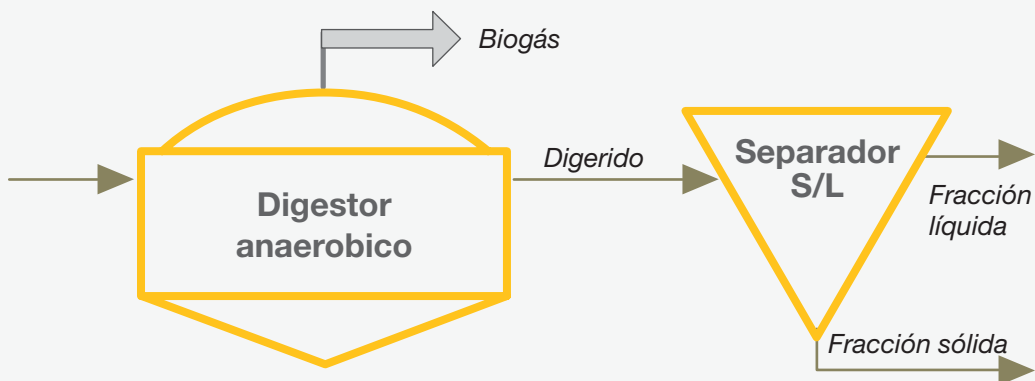


Separación S/L mejorada con floculantes + estabilización de la materia orgánica o digestión aerobia+ concentración térmica + secado o compostaje + exportación de los sólidos

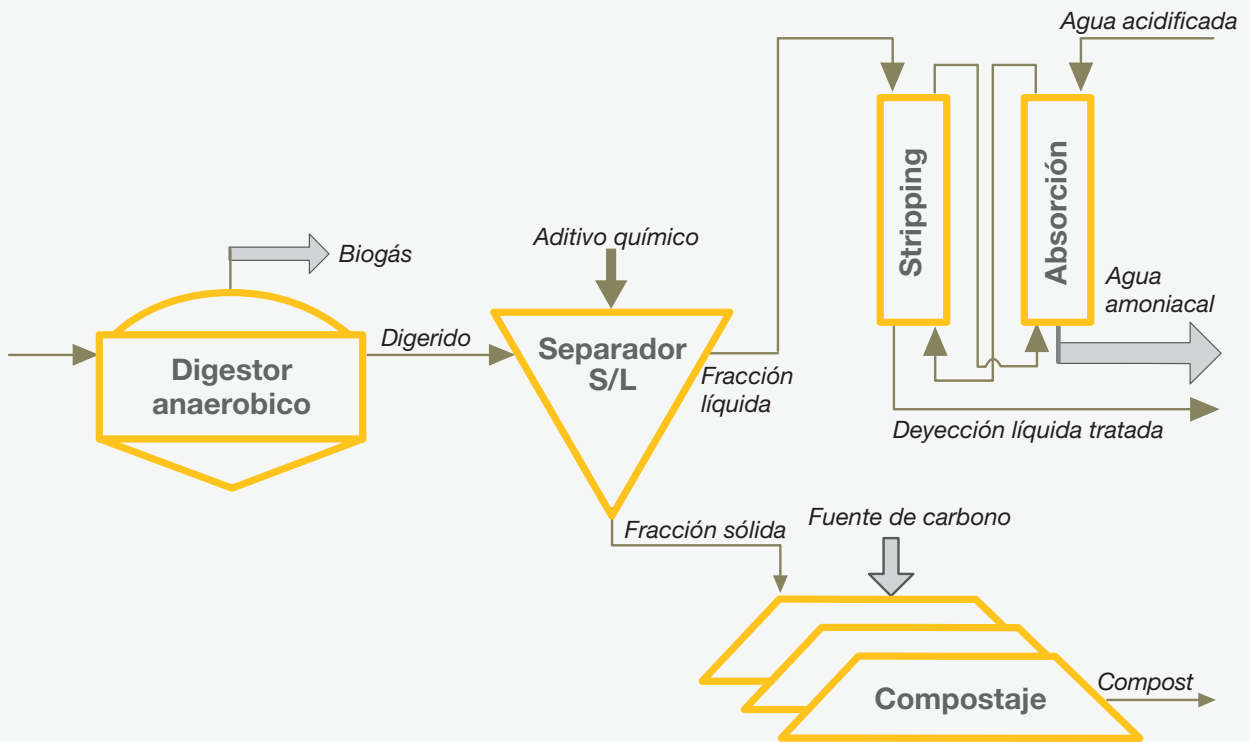


Hay excedentes. Estrategia basada en la digestión anaerobia y producción de biogás

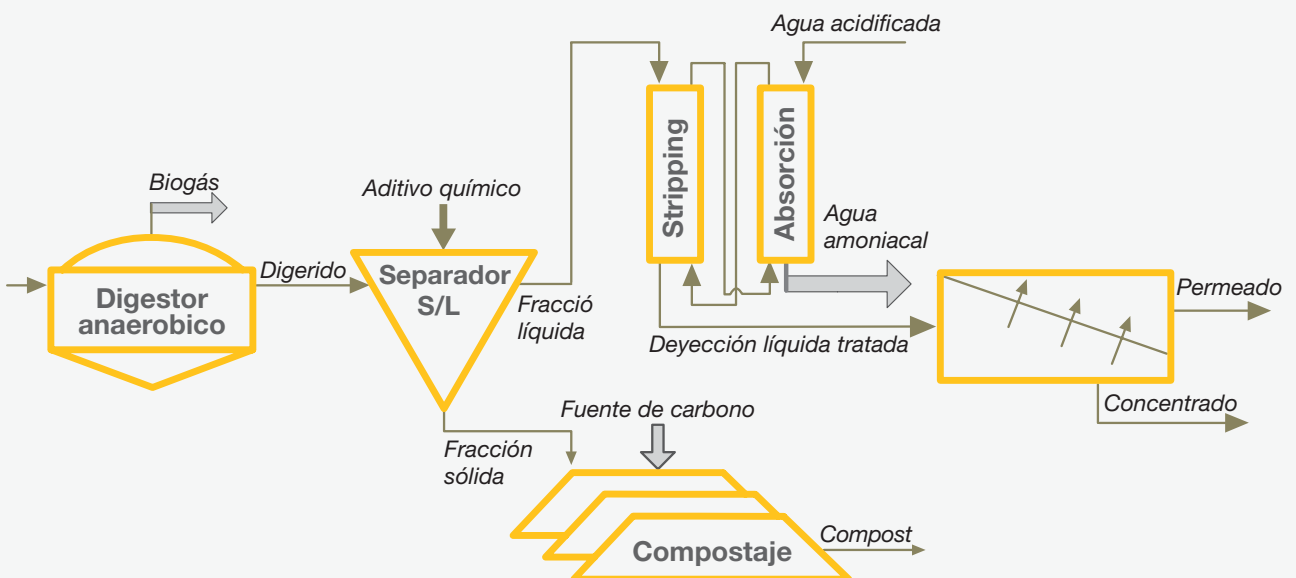
Digestión anaerobia y separación S/L (con o sin aditivos) y exportación de los sólidos (preferiblemente compostados)



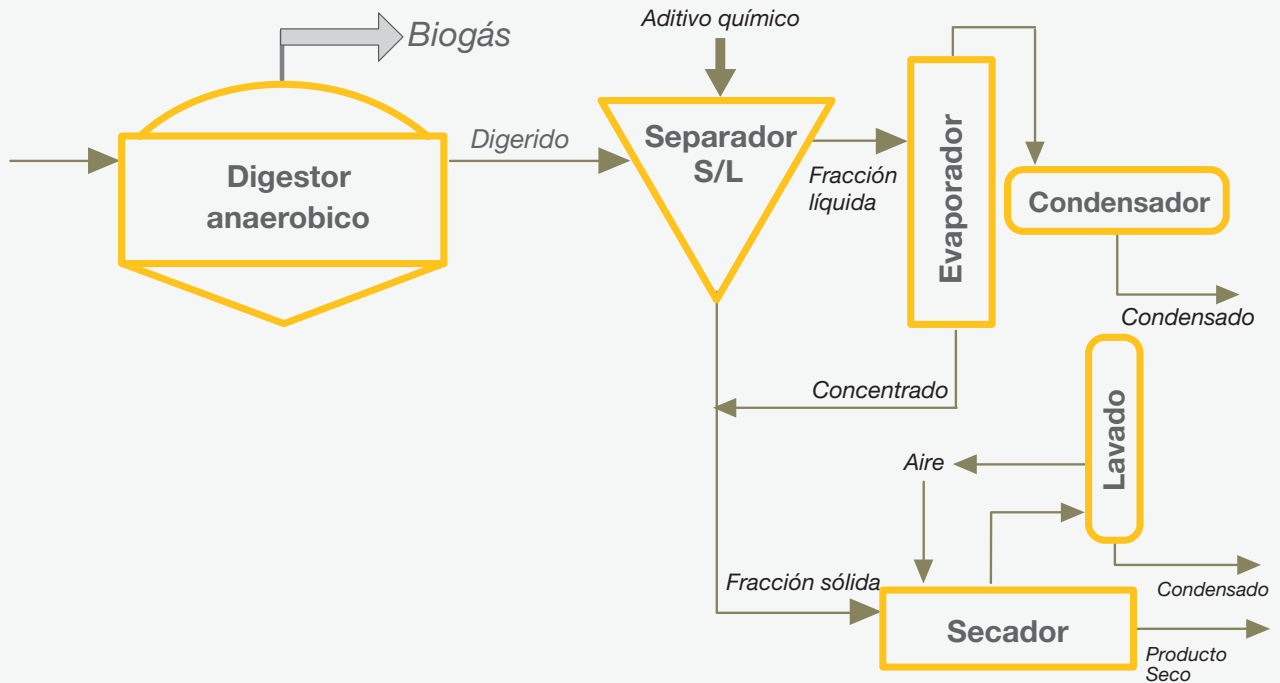
Digestión anaerobia + separación S/L+ stripping o stripping o precipitación sales de fósforo y amonio + exportación de sólidos (preferiblemente compostados)



Digestión anaerobia + separación S/L+ stripping o precipitación sales de fósforo y amonio + tratamiento terciario aguas + exportación de sólidos (preferiblemente compostados)

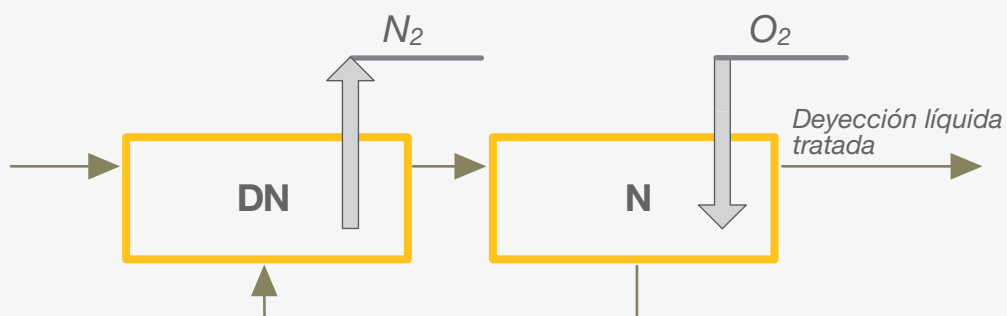


Digestión anaerobia + separación S/L + concentración térmica + secado + exportación total de sólidos

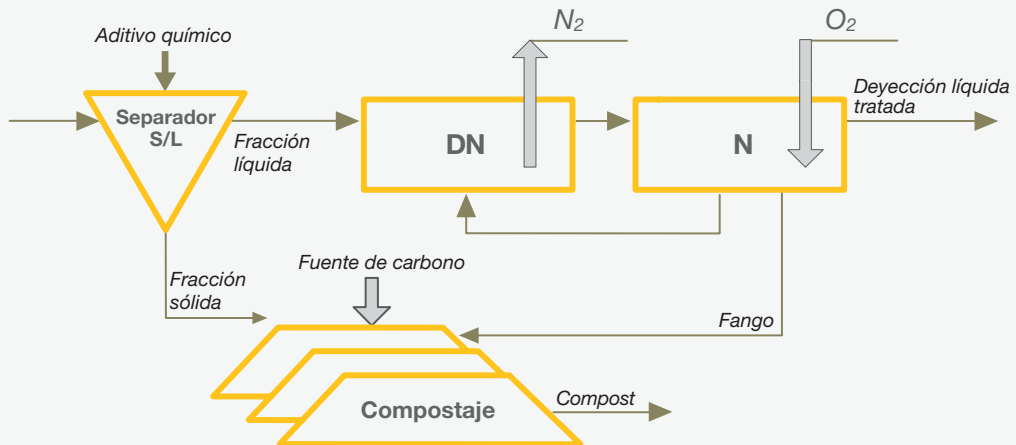


Hay excedentes. Estrategia basada en la eliminación biológica de nitrógeno por medio de NDN

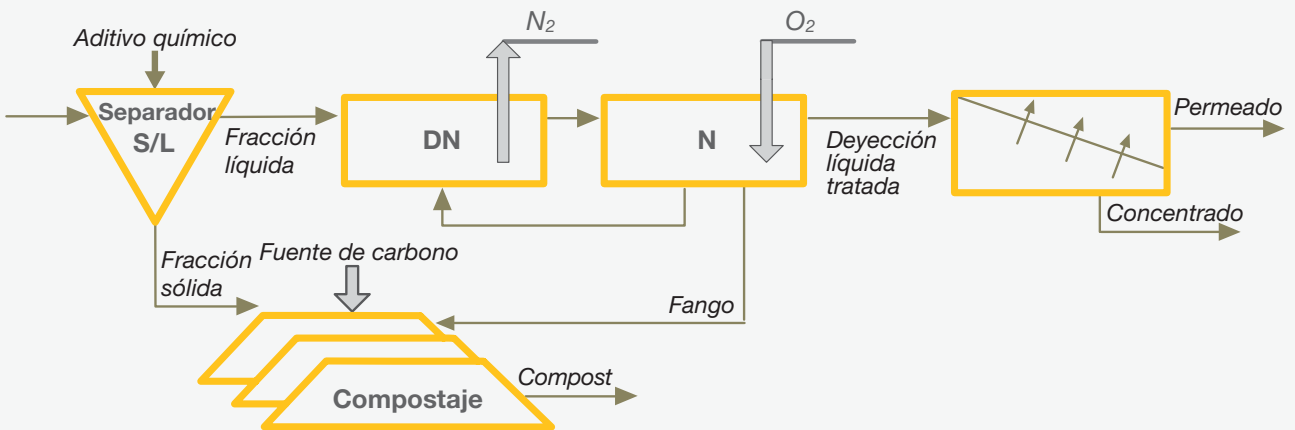
Aplicación NDN directa a balsas



Separación S/L + NDN a fracción líquida + exportación total o parcial de sólidos (preferiblemente compostados)



Separación S/L + NDN a fracción líquida + tratamiento terciario líquido + exportación total o parcial de sólidos (preferiblemente compostados)



Separación S/L + NDN a fracción líquida + concentración térmica a líquido + secado o compostaje del sólido + exportación de sólidos

