



EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE GESTIÓN DE DEYECCIONES EN GANADERÍA

SECTORES DE BOVINO, PORCINO, AVICULTURA DE CARNE Y PUESTA



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE GESTIÓN DE DEYECCIONES EN GANADERÍA

SECTORES DE BOVINO, PORCINO, AVICULTURA DE CARNE Y PUESTA



Madrid, 2015



Aviso legal: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha en su caso, de la última actualización.

Coordinación:

Subdirección General de Medios de Producción Ganaderos.
Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios.
Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.



MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Edita:

© Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
Secretaría General Técnica
Centro de Publicaciones

Distribución y venta:

Paseo de la Infanta Isabel, 1
28014 Madrid
Teléfono: 91 347 55 41
Fax: 91 347 57 22

Apoyo técnico, diseño y maquetación:

Tragsatec (Grupo Tragsa)

Impresión y encuadernación:

Taller del Centro de Publicaciones del MAGRAMA

Tienda virtual:

www.magrama.es
centropublicaciones@magrama.es

NIPO: 280-15-197-6

Depósito legal: M-35189-2015

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

Datos técnicos: formato: 21x29'7 cm. Caja de texto: 18,46x24,80 cm. Composición: una columna. Tipografía: Lato a cuerpos 10 y 18 pt. Encuadernación: fresado. Papel: interior en papel Igloo Silk de 115 gr. Cubierta en cartulina couché mate de 250 gr. Tintas: 4/4.

CARTA DE PRESENTACIÓN MAGRAMA

La utilización de las deyecciones ganaderas como fertilizante orgánico es tan antigua como la propia historia del ser humano. Se ha descrito que los agricultores del neolítico (6000 a.C.), ya utilizaban el estiércol de los animales y gestionaban el riego como una forma de mantenimiento a largo plazo de sus territorios, resultando un elemento clave para implantar definitivamente el sedentarismo como una alternativa ventajosa sobre el cazador-recolector. Esta utilización del estiércol se generalizó durante la edad de hierro, alcanzando una notoriedad relevante con la introducción de novedosas técnicas agrícolas por parte de los romanos, alguna de las cuales llega hasta nuestros días. Columela (4-70 d.C.) y Plinio (23-79 d.C.) redactaron verdaderos tratados sobre el uso adecuado del estiércol e Isidoro de Sevilla (siglos VI-VII) incluyó, entre sus etimologías, un tratado sobre la agricultura en el que el abonado de la tierra con estiércol tenía un papel preponderante.

Durante todo este tiempo transcurrido, las deyecciones ganaderas han sido el fertilizante por antonomasia, ligando de manera complementaria, a dos de las actividades fundamentales de la producción agraria, la ganadera y la agrícola.

La llegada de los fertilizantes inorgánicos, con mayor facilidad para su utilización y una composición más homogénea, junto a la cría intensiva del ganado, que ha desvinculado la actividad ganadera de la agrícola, ha hecho que la gestión de estas deyecciones se haya convertido, en momentos y circunstancias puntuales en los últimos años, en un foco de atención pública.

Por otra parte, la gran diversidad de zonas productivas existentes en el territorio nacional, con diferentes densidades ganaderas, condiciones climáticas, distintos suelos y aguas, pueden limitar o condicionar la utilización de estas deyecciones ganaderas. En consecuencia, no es posible proponer una única solución para todas las explotaciones ganaderas. Tendrán que elegirse entre todas las técnicas disponibles, aquella o aquellas que mejor se adapten a sus peculiaridades, teniendo en cuenta que deberán respetar los requisitos medio ambientales sobre las emisiones de amoníaco a la atmósfera, y los niveles de nutrientes (especialmente en las zonas declaradas como vulnerables y en aquellas con riesgo de eutrofización).

Lo que se pretende con esta publicación es recopilar, de una forma accesible y fácilmente comprensible, aquellas técnicas de gestión de deyecciones ganaderas habitualmente disponibles para los agricultores y ganaderos, teniendo en cuenta sus ventajas e inconvenientes desde el punto de vista técnico, medio ambiental y económico, utilizando para ello la bibliografía disponible en la actualidad.

Espero que este documento sobre "EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE GESTIÓN DE DEYECCIONES EN GANADERÍA" le resulte útil para la elección de aquellas más adecuadas para cada ganadero, y así contribuir a que la producción ganadera sea todavía más compatible y respetuosa con nuestro medio ambiente.



Fernando Miranda Sotillos

Fernando Miranda Sotillos

Director General de Producciones y Mercados Agrarios.
Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	1
OBJETIVO	2
PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE LAS TÉCNICAS.....	2
ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	2
FICHAS EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE GESTIÓN DE DEYECCIONES	7
1. UTILIZACIÓN AGRONÓMICA DE PURINES	9
2. TRANSPORTE DE PURINES SIN PROCESAR.....	13
3. ALMACENAMIENTO DE PURINES	17
4. TÉCNICAS DE SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO-LÍQUIDO	23
4.1. Coagulación-floculación.....	24
4.2. Separación por rejilla	26
4.3. Separación por prensa de tornillo	28
4.4. Separación por tamizado	30
4.5. Separación por filtro prensa	32
4.6. Separación por centrifugación	34
4.7. Separación por filtro de tambor	36
4.8. Separación por decantación natural.....	38
5. EMPLEO DE ADITIVOS Y OTROS PRE-TRATAMIENTOS.....	41
5.1. Acidificación del purín líquido	42
6. TRATAMIENTOS ANAERÓBICOS.....	45
6.1. Digestión anaerobia mesofílica/termofílica.....	46

7. TRATAMIENTOS DE LA FRACCIÓN SÓLIDA.....	51
7.1. Compostaje.....	52
8. TRATAMIENTOS DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA.....	57
8.1. Digestión aerobia (aireación).....	58
8.2. Nitrificación – desnitrificación.....	60
8.3. Nitrificación parcial – desnitrificación autotrófica Anammox.....	62
8.4. Construcción de humedales artificiales.....	64
9. LIMPIEZA DEL AIRE	67
9.1. Lavado del aire	68
10. TÉCNICAS EMERGENTES.....	71
10.1. Electrocoagulación.....	72
10.2. Pirólisis	74
10.3. Electro-oxidación	76
10.4. Precipitación de estruvita (fosfato de magnesio y amonio).....	78
10.5. Precipitación de fosfato cálcico (apatita)	80
ANEXO I: COMBINACIÓN DE PROCESOS.....	84
OPCIONES SEGÚN GRUPO DE TÉCNICAS.....	85
ESTRATEGIAS DE TRATAMIENTO	87
ANEXO II: TABLA COMPARATIVA TÉCNICAS SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO-LÍQUIDO	92
ANEXO III: BIBLIOGRAFÍA RELACIONADA.....	96
ANEXO IV: ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	102

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La gestión de las deyecciones en las explotaciones ganaderas ha sido desde tiempos inmemoriales una actividad de gran importancia en el proceso productivo de las mismas, dado que, tanto los purines líquidos como los estiércoles sólidos producidos, han sido siempre considerados como un recurso de gran valor para los terrenos agrícolas, por aportar nutrientes a los cultivos, mantener el suelo con una estructura esponjosa que facilita la capacidad para retener agua, y reducir las pérdidas por erosión y, lo más importante, por mejorar el rendimiento productivo de los cultivos. A lo largo de los años, el conocimiento acerca del manejo y la gestión de las deyecciones ganaderas ha ido pasando de generación a generación, de tal manera que éste ha seguido un proceso evolutivo en el que cada una de las técnicas de gestión ha ido enriqueciéndose, mejorando el conocimiento sobre qué debe hacerse con el estiércol o los purines para mejorar su calidad, cuánto tiempo hay que esperar para su aplicación en los terrenos agrícolas, cómo mezclarlos, qué características específicas tienen, cómo almacenarlos, apilarlos y voltearlos.

No obstante, el cambio y la evolución de las explotaciones agrarias de una agricultura y ganadería de subsistencia a una agricultura productiva intensiva con mayores necesidades de fertilizantes y una ganadería intensiva desvinculada de la producción agrícola cercana, no se ha traducido en la misma medida en una mejora de los sistemas de gestión de deyecciones en las explotaciones ganaderas. Resulta de vital importancia la mejora y adaptación de estos sistemas de gestión para, por un lado, valorar de forma adecuada las deyecciones ganaderas generadas en las actividades productivas de las explotaciones y, por otro, evitar impactos medioambientales negativos si estos productos de gran valor no se gestionan de forma correcta.

En los últimos 15 años, un importante número de países e instituciones en Europa han unido sus esfuerzos en consolidar y difundir el conocimiento en materia de las técnicas de tratamiento de deyecciones ganaderas con el objetivo de mejorar su manejo y gestión, especialmente en aquellas áreas geográficas donde exista una limitación por exceso de nutrientes en los suelos agrícolas, como por ejemplo, las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos o donde exista una densidad ganadera elevada.

Para realizar una gestión correcta de las deyecciones ganaderas es necesario tener en cuenta la normativa relacionada. La Directiva 91/676/CEE, de nitratos, tiene por objeto proteger la calidad del agua en toda Europa evitando que los nitratos procedentes de fuentes agrícolas contaminen las aguas superficiales y subterráneas, y fomentando el uso de buenas prácticas agrícolas. Las Comunidades Autónomas han establecido sus propios programas de acción, que incluyen todas las medidas esenciales, y todos ellos establecen el límite de 170 kg. de nitrógeno por hectárea y año procedente del estiércol, tal como prevé la Directiva. No obstante, algunos programas pueden fijar normas más estrictas en relación con las disposiciones de almacenamiento, fertilización equilibrada y períodos durante los cuales se prohíbe la aplicación de fertilizantes. El ganadero, o el agente que gestione la utilización de las deyecciones ganaderas, deberán tener en cuenta estas características locales para adoptar la decisión más adecuada para su mejor utilización. La principal opción será su uso agronómico pero, en las zonas de elevada densidad ganadera, con muchos excedentes de nutrientes, los agricultores y ganaderos pueden transformar el estiércol semilíquido (purín), para facilitar su transporte y gestión. Las técnicas varían de la simple separación en sólidos y líquidos, a la desecación, el compostaje o la incineración de las fracciones sólidas y la filtración por membrana o el tratamiento biológico para que la fracción líquida depurada pueda volver al sistema hídrico. Estas técnicas pueden combinarse con otros procesos, incluyendo la digestión en instalaciones de biogás para la producción de energía.

Por otra parte, la Directiva de Emisiones Industriales (DEI) 2010/75/UE de 24 de noviembre de 2010, que sustituyó a la Directiva sobre Control Integrado de la Contaminación (IPPC) incluye, dentro del ámbito de su aplicación, a los sectores ganaderos de producción intensiva de porcino, aves de puesta y aves de carne. La aplicación de la Directiva DEI se traduce en consecuencias prácticas de gran trascendencia para las instalaciones ganaderas afectadas, por cuanto se modifica sustancialmente el sistema de concesión de licencias preceptivas para su funcionamiento, aglutinándolas en una figura administrativa única: la Autorización Ambiental Integrada (AAI). El nuevo sistema de autorización tiene como objetivo principal garantizar que los titulares de las instalaciones adopten medidas para la prevención o control de la contaminación, en especial mediante la aplicación de las consideradas Mejores Técnicas Disponibles (MTD) recogidas en Documento de Referencia Europeo aprobado para cada sector por la Comisión Europea. El Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles para los sectores de cría intensiva de cerdos y aves (BREF, 2015) está en la última etapa de desarrollo por la Comisión Europea y es sometido a un proceso de revisión periódico (<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/>).

Además, el impacto ambiental de la actividad ganadera está afectado por otros acuerdos y compromisos internacionales como son el Protocolo de Kioto (sobre emisiones de gases de efecto invernadero) y el Protocolo de Gotemburgo (sobre emisiones a la atmósfera de carácter transfronterizo). Este último, en particular, resulta de gran relevancia en cuanto a las limitaciones en las emisiones de amoníaco, recomendando una serie de opciones para la su disminución, que se reflejan en un documento (opciones para la mitigación del amoníaco del Task Force de UNECE sobre Nitrógeno Reactivo, TFRN, 2014), que también habrá de ser tenido en cuenta a la hora de tomar decisiones.

OBJETIVO

El objetivo del presente documento es describir y caracterizar una selección de tecnologías de tratamiento de deyecciones ganaderas, teniendo en cuenta las recomendaciones técnicas más actualizadas. Toda la información incluida en este documento se ha obtenido a partir de una revisión de la bibliografía de referencia disponible en la actualidad.

PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE LAS TÉCNICAS

Las técnicas que se describen en este documento fueron seleccionadas por el MAGRAMA para su evaluación por ser consideradas como las más adecuadas para ser aplicadas en granjas españolas (técnicas de bajo coste y fácil implementación a nivel de granja o asociación de granjas), por estar disponibles comercialmente para su aplicación, por estar recogidas como MTD (Mejores Técnicas Disponibles) en el Documento de Referencia BREF 2015, recomendadas por el grupo de trabajo de UNECE sobre Nitrógeno Reactivo, TFRN, 2014 o por mostrarse especialmente interesantes desde el punto de vista tecnológico (aunque no cumplan los requisitos de bajo coste y de fácil aplicación, o no figuren como MTD en el BREF 2015).

Los parámetros evaluados para cada técnica fueron:

- Comportamiento ambiental; considerando su potencial e influencia en la reducción de emisiones de los principales gases contaminantes de origen ganadero.
- Aplicabilidad; considerando su facilidad o dificultad de implantación y uso en condiciones de trabajo habituales en la granja o asociación de granjas.
- Efectos cruzados; considerando posibles efectos sobre la salud y bienestar de los animales, sobre el medio ambiente o las personas en aquellas zonas donde se apliquen.
- Costes asociados; considerando tanto los costes de implantación como los de funcionamiento.

Cada técnica (proceso) se describe y evalúa siguiendo un formato de ficha con la siguiente información: breve definición de la técnica, diagrama del proceso, fotografía o esquemas ilustrativos, breve descripción de sus fundamentos teóricos, aplicabilidad y limitaciones de la técnica, los efectos de la técnica en el medio ambiente, otros efectos asociados, datos de eficiencia del proceso (si los hubiese) e información de costes, tanto de implantación como de mantenimiento, de la técnica. En el capítulo, *Estructura del Documento*, se describen con mayor profundidad cada uno de los puntos que compone cada ficha.

El estudio de la aplicabilidad en lo que respecta a la implantación y manejo de las técnicas descritas, tanto a nivel de granjas o asociación de granjas, se ha efectuado siguiendo las recomendaciones recogidas en el Documento de Referencia (BREF, 2015) y se ha complementado con información disponible en la bibliografía. Aunque la mayoría de las técnicas analizadas y evaluadas figuran como MTD en el citado documento, es muy importante tener en cuenta las condiciones de aplicabilidad de cada una de ellas así como sus limitaciones.

Del mismo modo, toda la información de costes se ha obtenido a partir de la bibliografía disponible.

Además del análisis de forma individual de cada técnica, en el capítulo *Combinación de Procesos*, se describen aquellos procesos más complejos en los que se utiliza una combinación de las técnicas descritas de forma individual en este documento.

ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

Las técnicas evaluadas e incluidas en este documento se presentan agrupadas en función de la fase del proceso productivo en el que se aplican, distribuidas en las siguientes categorías:

1

UTILIZACIÓN AGRONÓMICA DE PURINES: dentro de este apartado se han evaluado las técnicas de utilización directa del purín, sin ningún tipo de tratamiento, para la fertilización de las tierras próximas a las explotaciones.

2

TRANSPORTE DE PURINES SIN PROCESAR: en este punto se han evaluado aquellas técnicas de transporte de purines sin procesar desde zonas de alta densidad porcina, en las que se ha agotado la posibilidad de valorización agronómica, a zonas con menor densidad.

3

ALMACENAMIENTO DE PURINES: en esta categoría se han evaluado técnicas de almacenamiento individual o colectivo de las deyecciones con el objeto de adecuar su disponibilidad a las necesidades agronómicas o para su posterior tratamiento.

4

TÉCNICAS DE SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO-LÍQUIDO: en este grupo se han evaluado aquellas técnicas cuyo objetivo es la separación del sustrato inicial en dos fases: la fracción sólida (más concentrada) y la fracción líquida (más diluida).

Las técnicas evaluadas incluidas en este apartado son las siguientes:

- Coagulación-floculación
- Separación por rejilla
- Separación por prensa de tornillo
- Separación por tamizado
- Separación por filtro prensa
- Separación por centrifugación
- Separación por filtro de tambor

5

EMPLEO DE ADITIVOS Y OTROS PRE-TRATAMIENTOS: en este punto se han evaluado técnicas cuyo objetivo es la preparación del sustrato inicial para tratamientos posteriores.

La técnica evaluada en este apartado es la siguiente:

- Acidificación del purín líquido

No se ha incluido el tratamiento con otros aditivos disponibles en el mercado por no encontrarse suficiente documentación que justifique las ventajas (e inconvenientes) de su utilización.

6

TRATAMIENTOS ANAERÓBICOS: en esta categoría se han evaluado técnicas en las que tienen lugar una serie de procesos biológicos, en los cuales, la flora microbiana degrada la materia orgánica del sustrato inicial en ausencia de oxígeno, obteniéndose como resultado una mezcla de gases denominada "biogás", cuyos componentes principales son el metano y el dióxido de carbono.

La técnica evaluada en este apartado es la siguiente:

- Digestión anaerobia mesofílica/termofílica

7

TRATAMIENTOS DE LA FRACCIÓN SÓLIDA: en este apartado se han evaluado técnicas basadas en el tratamiento de estiércoles sólidos, o de la fracción sólida obtenida a partir de un tratamiento previo de separación sólido-líquido.

La técnica evaluada en este apartado es la siguiente:

- Compostaje

8

TRATAMIENTOS DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA: en este grupo se han evaluado técnicas basadas en el tratamiento de purines líquidos, o de la fracción líquida obtenida a partir de un tratamiento previo de separación sólido-líquido.

Las técnicas evaluadas incluidas en este apartado son las siguientes:

- Digestión aeróbica (aireación)
- Nitrificación – desnitrificación
- Nitrificación parcial – desnitrificación autotrófica Anammox
- Construcción de humedales artificiales

9

LIMPIEZA DEL AIRE: en este apartado se han evaluado técnicas basadas en la aplicación de métodos para la limpieza del aire durante el tratamiento de las deyecciones. Es por ello que estas técnicas siempre forman parte de un proceso más complejo de tratamiento de purines y estiércoles de modo que nunca se utilizan a nivel individual.

La técnica evaluada en este apartado es la siguiente:

- Lavado del aire

10

TÉCNICAS EMERGENTES: en este grupo se han evaluado técnicas emergentes, las cuales, de acuerdo con el documento BREF 2015 y la Directiva de Emisiones Industriales 2010/75/UE, son técnicas novedosas para una actividad industrial que, si se desarrollan comercialmente, pueden aportar un nivel general más alto de protección del medioambiente o al menos el mismo nivel de protección del medioambiente y unos ahorros de costes superiores a los que se obtendrían con las mejores técnicas disponibles actuales.

Las técnicas evaluadas incluidas en este apartado son las siguientes:

- Electrocoagulación
- Pirólisis
- Electro-oxidación
- Precipitación de estruvita (fosfato de magnesio y amonio)
- Precipitación de fosfato cálcico (apatita)

Los datos recopilados a partir de las diferentes fuentes bibliográficas para cada una de las técnicas evaluadas se presentan en forma de fichas resumidas de fácil comprensión, en las cuales se describen los siguientes puntos:

- **Descripción de la técnica evaluada:** en este apartado se identifica, de una forma resumida, la técnica empleada y su objetivo. En el caso de que se haya realizado de una forma concreta, que condicione o module los resultados obtenidos, se hará constar esta circunstancia.
- **Diagrama:** en este apartado se presenta un esquema explicativo del proceso descrito en cada técnica evaluada.
- **Fundamento:** en este apartado se realiza una descripción teórica del mecanismo de actuación de todos los procesos que se producen en la técnica descrita.
- **Aplicabilidad:** en este apartado se identifican todos aquellos aspectos que pueden condicionar su implantación y uso en las explotaciones comerciales. En este mismo apartado se describirán las observaciones en cuanto a la aplicabilidad de la citada técnica incluidas en el documento de referencia BREF 2015.
- **Limitaciones:** en este apartado se señalan posibles limitaciones al uso de una técnica ya sea por naturaleza legal, zootécnica o de manejo. En este mismo apartado se describirán las observaciones en cuanto a las limitaciones e inconvenientes de la citada técnica incluidas en el documento de referencia BREF 2015.
- **Efectos medioambientales:** en este apartado se enumeran efectos medioambientales que se pueden esperar como consecuencia de la aplicación de la técnica. En la mayoría de las ocasiones se indican los efectos sobre la producción de gases contaminantes.
- **Efectos asociados:** en este apartado se reflejan aquellos efectos asociados (o “efectos secundarios”) debidos a la aplicación de una técnica, en el caso de , por ejemplo, pudieran afectar a otros aspectos ambientales, al consumo de energía o a la seguridad en las instalaciones.
- **Conversión de componentes y eficiencia:** en este apartado se indican los principales parámetros (si los hubiese) relacionados con la eficiencia y el rendimiento de la técnica o proceso evaluado.
- **Costes de implantación de la técnica:** en este apartado se recogen los costes asociados, diferenciando entre los costes de implantación de la técnica y los costes de aplicación y/o mantenimiento de la citada técnica. Estos costes deben considerarse como orientativos ya que se han obtenido a partir de revisión bibliográfica.

Para facilitar una rápida identificación de los resultados obtenidos con cada técnica, en el encabezado de cada ficha se incluye un código de iconos que recoge información importante sobre la técnica en cuestión.

	TÉCNICA PARA PORCINO		COSTE MEDIO
	TÉCNICA PARA GALLINAS PONEDORAS		COSTE ALTO
	TÉCNICA PARA POLLOS DE ENGORDE		COSTE NO DISPONIBLE
	TÉCNICA PARA VACUNO		TÉCNICA DE COMPLEJIDAD BAJA

	TÉCNICA CON BENEFICIO MEDIOAMBIENTAL		TÉCNICA DE COMPLEJIDAD MEDIA
	DUDOSA EFICACIA MEDIOAMBIENTAL		TÉCNICA DE COMPLEJIDAD ALTA
	TÉCNICA SIN COSTE		TÉCNICA INCLUIDA DENTRO DE LAS MTD DEL DOCUMENTO BREF 2015
	COSTE BAJO		TÉCNICA EMERGENTE (BREF 2015)

El *Anexo I: Combinación de Procesos* incluye una serie de **combinaciones de técnicas** en procesos más complejos, los cuales se consideran de gran interés para la mejora de la eficacia del proceso final o facilitar su desarrollo. En este apartado se describen la combinación entre sí de las técnicas descritas en aquellos procesos complejos de mayor interés en lo que respecta a la gestión de deyecciones ganaderas.

En el *Anexo II* se presenta una **tabla comparativa de las técnicas** descritas en el grupo de **separación de fases sólido-líquido**, en la cual se analizan para cada una de ellas los principales parámetros de aplicabilidad, limitaciones, coste y eficiencia.

En el *Anexo III* se recoge la **bibliografía relacionada** con cada una de las técnicas analizadas, de forma que el usuario pueda profundizar en el conocimiento de cada una de las técnicas para disponer de más detalles sobre todos y cada uno de los apartados citados.

En el *Anexo IV* se ofrece una relación de las **abreviaturas y acrónimos** empleados en el documento junto a sus significados, para que el lector pueda acudir a este punto en caso de duda.

FICHAS DE EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE GESTIÓN DE DEYECCIONES

1. UTILIZACIÓN AGRONÓMICA DE PURINES
2. TRANSPORTE DE PURINES SIN PROCESAR
3. ALMACENAMIENTO DE PURINES
4. TÉCNICAS DE SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO-LÍQUIDO
 - 4.1. Coagulación-floculación
 - 4.2. Separación por rejilla
 - 4.3. Separación por prensa de tornillo
 - 4.4. Separación por tamizado
 - 4.5. Separación por filtro prensa
 - 4.6. Separación por centrifugación
 - 4.7. Separación por filtro de tambor
 - 4.8. Separación por decantación natural
5. EMPLEO DE ADITIVOS Y OTROS PRE-TRATAMIENTOS
 - 5.1. Acidificación del purín líquido
6. TRATAMIENTOS ANAERÓBICOS
 - 6.1. Digestión anaerobia mesofílica/termofílica
7. TRATAMIENTOS DE LA FRACCIÓN SÓLIDA
 - 7.1. Compostaje
8. TRATAMIENTOS DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA
 - 8.1. Digestión aeróbica (aireación)
 - 8.2. Nitrificación – desnitrificación
 - 8.3. Nitrificación parcial – desnitrificación autotrófica Anammox
 - 8.4. Construcción de humedales artificiales
9. LIMPIEZA DEL AIRE
 - 9.1. Lavado del aire
10. TÉCNICAS EMERGENTES
 - 10.1. Electrocoagulación
 - 10.2. Pirólisis
 - 10.3. Electro-oxidación
 - 10.4. Precipitación de estruvita (fosfato de magnesio y amonio)
 - 10.5. Precipitación de fosfato cálcico (apatita)



1. UTILIZACIÓN AGRONÓMICA DE PURINES

1. UTILIZACIÓN AGRONÓMICA DE PURINES

1.1.

UTILIZACIÓN AGRONÓMICA DE PURINES



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

La utilización directa del purín, sin ningún tipo de tratamiento, para la fertilización de las tierras próximas a las explotaciones es una práctica milenaria en la que la simbiosis ganadero/agricultor permite una integración de actividades, permitiendo un desarrollo sostenible, que reduce los costes y permite aprovechar al máximo los recursos de las explotaciones.



Imagen 1: sistema de banda con mangueras acoplado a cisterna para aplicación de purín.

FUNDAMENTO

La valorización de los purines de porcino mediante su gestión agrícola, como fertilizante y/o enmienda orgánica, debe constituir el principal destino de este subproducto ganadero. La correcta gestión agrícola disminuye los riesgos medioambientales derivados de manejo inadecuado y posibilita el aprovechamiento de los nutrientes que contiene.

Debido a la variabilidad que presenta el purín en cuanto a su composición, en la(s) granja(s) seleccionada(s) es necesario realizar una analítica previa a su aplicación agrícola. De esta forma se conoce su valor agronómico en función de la riqueza en nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), permitiendo calcular la dosis de aplicación ajustada al tipo de cultivo de la(s) parcela(s) seleccionada(s).

APLICABILIDAD

Es aplicable en explotaciones, tanto a título individual como colectivo, que dispongan de suficiente superficie agrícola para incorporar la producción. Para poder realizar una gestión agrícola con éxito es necesario coordinar la distribución espacial y temporal de la oferta (purín) y la demanda (cultivos).

Los factores fundamentales a tener en cuenta en la aplicabilidad de estas técnicas son: estructura del terreno, topografía, tipo y composición de purín, tipo de cultivo y estado fenológico.

La utilización directa del purín sin ningún tipo de tratamiento sólo es aplicable en regiones donde no exista una limitación por exceso de nitrógeno y fósforo en sus suelos (zonas no vulnerables a la contaminación de nitratos).

LIMITACIONES

Las limitaciones espaciales y temporales para la utilización del purín, hace necesario contar con sistemas de almacenamiento individuales o colectivos que permitan adecuar su uso cuando las condiciones agronómicas sean favorables. Su utilización está restringida en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Las emisiones de amoníaco son variables dependiendo de la técnica de aplicación. El uso de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) con sistema multi-tubos las reduce en un 30-60%, mientras que la inyección superficial o profunda las reduce en un 70-90%, con respecto a la aplicación "en abanico". El enterrado de forma inmediata o en 4-24 horas las reduce en un 90-65-30%, respectivamente.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

El empleo de purín sustituyendo y/o complementando al fertilizante mineral es recomendable siempre y cuando se emplee de forma agrónomicamente correcta. Aporta nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), aumenta la cantidad de microorganismos beneficiosos y de materia orgánica en el suelo.

La aplicación mediante MTD aumenta la tasa de mineralización de nitrógeno, los cultivos absorben de manera más eficaz el nitrógeno aplicado y disminuyen los olores después de la aplicación, confiriéndole un valor como fertilizante orgánico.

Otros efectos

Aporte de agua y oligoelementos al suelo.

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Ninguna.

Consumo energético

Consumo de combustible para el transporte y aplicación.

Aditivos o tecnología necesaria

La acidificación (MTD) disminuye las emisiones de amoníaco.

Riesgos ambientales asociados a un manejo inadecuado

- Emisión de amoníaco (NH₃) y gases de efecto invernadero (GEI): CO₂, metano (CH₄), y óxido nitroso (N₂O).
- Contaminación del agua-eutrofización provocada por nitratos y/o fosfatos.
- Acidificación-volatilización de amoníaco. Afecta negativamente a ecosistemas sensibles y genera pérdida de biodiversidad.
- Contaminación de suelos - acumulación de fósforo (P) y metales pesados (Cu y Zn utilizados en la alimentación) y salinización en regiones semi-áridas.
- Emisión de malos olores.
- Riesgos sanitarios.

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

No aplica.

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

Técnica aplicación	Coste hasta 1,5Km (€/m ³ /año)
Abanico	1,10 - 1,65
Bandas/ manguera	2,07 - 3,06 *
Bandas/zapatillas	2,07 - 3,06 *
Inyección y enterrado	2,51 - 3,06 *

* Incluye amortización y reparaciones de maquinaria específica y coste extra tractor.



2. TRANSPORTE DE PURINES SIN PROCESAR

2. TRANSPORTE DE PURINES SIN PROCESAR

2.1.

TRANSPORTE DE PURINES SIN PROCESAR



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Transporte de purines sin procesar desde zonas de alta densidad porcina, en las que se ha agotado la posibilidad de valorización agronómica, a zonas con menor densidad.



Imagen 1: sistema de carga de purines en la cisterna.

FUNDAMENTO

Consiste en el transporte de purín sin procesar desde la explotación de origen hasta zonas próximas. Se puede realizar con medios propios del ganadero/agricultor o bien contratar el servicio con una empresa externa.

El transporte puede incluir la aplicación del purín en la explotación agrícola de destino, tanto en el caso de utilizar el medio propio (tractor) como en el caso de utilizar un servicio externo (camión-cisterna con aplicador).

APLICABILIDAD

Será de aplicación en zonas de alta densidad ganadera donde se sobrepase la capacidad de valorización agronómica de las parcelas próximas, especialmente en el caso de superficies declaradas como zonas vulnerables por excesos de nitratos.

LIMITACIONES

La distancia de transporte se encuentra limitada económicamente por el medio utilizado (el empleo de tractor propio incrementa los costes a partir de un número determinado de kilómetros), por el valor agronómico del purín y por la orografía del terreno. También pueden presentarse limitación de movimientos en caso de actuaciones en materia de sanidad animal.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

No hay ningún efecto sobre el medio ambiente ya que se realiza mediante cisternas estancas.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

Facilita la gestión de purines en zonas de alta densidad o vulnerables

Otros efectos

Incrementa las emisiones asociadas al consumo de combustible.

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Ninguna

Consumo energético

Consumo de combustible para el transporte

Aditivos o tecnología necesaria

Ninguna

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

No aplica.

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

El coste del camión / tractor.

COSTES DE APLICACIÓN (ESPARCIDO) DE PURÍN (€/M³) DE LOS DISTINTOS EQUIPOS DE APLICACIÓN SEGÚN LA DISTANCIA DE LA GRANJA (KM)

Realizado por:	Medio utilizado	0,5Km	1,5Km	3Km	5 Km	7 Km
Agricultor/ganadero	Tractor 125 CV - Cuba 10 m ³	1,11	1,65	2,46	3,08	3,69
Agricultor/ganadero	Tractor 175 CV - Cuba 20 m ³	1,34	1,71	2,26	2,56	2,85
Servicio externo	Tractor	0,99	1,27	1,68	1,90	2,12
Servicio externo	Camión	0,86	1,10	1,46	1,62	1,78

Informaciones Técnicas del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón (2007)

Realizado por:	Medio utilizado	10Km	15Km	20Km	30Km	50Km	75Km
Servicio externo	Tractor	3,75	4,92	5,99	7,84	-----	----
Servicio externo	Camión	4,38	4,87	5,34	6,21	7,73	9,68



3. ALMACENAMIENTO DE PURINES

3. ALMACENAMIENTO DE PURINES

3.1.

ALMACENAMIENTO DE PURINES



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Almacenamiento individual o colectivo de las deyecciones para adecuar su disponibilidad a las necesidades agronómicas o para su posterior tratamiento.



Imagen 1: tanques exteriores de almacenamiento de purines.

FUNDAMENTO

La elección del sistema de almacenamiento (individual o colectivo) se verá condicionada por distintos factores como: la aplicación prevista, la naturaleza del suelo, el relieve y superficie del terreno. Su capacidad deberá garantizar el almacenamiento de las deyecciones hasta que sea posible su valorización agronómica o tratamiento adecuado. Deberán cumplir los requisitos básicos de garantizar la impermeabilidad para evitar fugas que contaminen las aguas subterráneas, reducir las emisiones a la atmósfera y que no se vean afectados por agentes mecánicos, térmicos o químicos que pudieran deteriorarlos.

Para disminuir las emisiones malos olores y amoníaco se pueden emplearse distintas técnicas, como la reducción de la relación entre la superficie de evaporación y el volumen, reducir la exposición al viento de la superficie, evitar agitar el purín y cubrir los tanques o balsas mediante distintos procedimientos.

La cubrición puede realizarse mediante techado rígido o flexible o bien empleando distintos sistemas flotantes, como es el caso de la costra natural, paja picada, bolas o piezas geométricas plásticas flotantes, arcillas flotantes o cubriendo la superficie mediante lonas plásticas flexibles. La eficacia en la reducción dependerá de la técnica empleada y el grado de cubrimiento de la superficie.

1. Tanques exteriores

- Tanques excavados en el terreno (fosas): normalmente rectangulares, contruidos con ladrillo reforzado, bloques o paneles de hormigón, paneles de acero o paneles de fibra de vidrio reforzado. Es imprescindible revestir las paredes con una capa de material elástico impermeable.
- Tanques contruidos por encima del terreno: habitualmente circulares, contruidos con paneles curvos de acero (con un revestimiento de pintura o capa cerámica para proteger de la corrosión). Los de "acero vitrificado", formados por una lámina de acero al carbono a la que se le adhiere mediante fusión a alta temperatura el vidrio o paneles de hormigón parcialmente excavados en el terreno (contruidos in situ o prefabricados). En ambos casos, el suelo normalmente es de hormigón reforzado. Muy importante el sellado entre el suelo y las paredes para evitar pérdidas por filtración.

2. Balsas y lagunaje

Es imprescindible contar con un estudio geotécnico del terreno para su diseño, pudiendo estar enterradas o semienterradas. Fundamental en su construcción es la impermeabilización con tierras arcillosas impermeables, geomembranas de polietileno de alta densidad (PEAD) o caucho sintético (EPDM). En caso de deyecciones sólidas, deberá contar con un sistema de drenaje conectado a un dispositivo de almacenaje de los lixiviados de las deyecciones o el ocasionado por la lluvia.

3. Cisternas flexibles portátiles

Se utilizan para el almacenamiento a corto plazo de cantidades relativamente pequeñas de purín. Las cisternas pequeñas facilitan el traslado del purín de un lugar a otro (al vacío) y las cisternas grandes pueden estar situadas

de manera más permanente sobre el terreno. Fabricadas de poliéster de alta resistencia, su instalación requiere de la preparación del terreno con los taludes necesarios para albergarla. Para una mayor seguridad se puede extender una capa de arena y cubrir la zona de colocación con un geotextil y geomembrana. Una vez que está preparada la superficie de trabajo, la cisterna se extiende en el terreno y las cintas de sujeción se anclan en la parte superior de los taludes.

APLICABILIDAD

- Tanques exteriores in situ: gran robustez y vida útil.
- Tanques exteriores prefabricados: rapidez de instalación, robustez y vida útil.
- Depósitos de acero vitrificado: rapidez de instalación.
- Balsas: se pueden construir bajo o sobre el nivel de suelo.
- Cisternas flexibles: trasladables, se instalan fácilmente. El gas metano generado puede ser conducido a una antorcha de quemado para reducir la contaminación por Gases de Efecto Invernadero.

El material de las cubiertas dependerá del tipo de sistema de almacenamiento y de la climatología de la zona donde se ubique.

LIMITACIONES

- Tanques exteriores in situ: construcción lenta y es difícil el control de calidad y estanqueidad durante la misma.
- Tanques exteriores prefabricados: una vez diseñadas y construidas en fábrica, las placas a instalar dificultan las modificaciones, debido a los cables horizontales que presenta la estructura.
- Depósitos de acero vitrificado: difícil su instalación enterrada ya que no soportan las cargas exteriores de la tierra.
- Balsas: se requiere una mayor superficie para su instalación, imprescindible el control de la estanqueidad debido al riesgo de rotura de la geomembrana y dificultad para la implementación de sistemas de agitación. Elevados tiempos de residencia del purín.
- Cisternas flexibles: se dificulta la agitación del purín y las cisternas grandes requieren de mucho terreno. La limpieza de los sedimentos de purín se realiza con dificultad.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

La reducción de la superficie en contacto con el aire (por ejemplo, menor diámetro de los tanques circulares) disminuye la emisión de olores y amoníaco, pero si es demasiado profundo puede incrementar la producción de metano.

Para considerarse MTD, deberá emplear un sistema de cubrición. La eficacia en la reducción de las emisiones de amoníaco varía dependiendo del sistema:

- Costra natural, paja picada, bolas plásticas: 40%
- Bolas de arcilla, piezas geométricas, lonas plásticas flexibles: 60%
- Cubrición mediante techo rígido o flexible: 80%.
- Cisternas flexibles: 100%

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

Riesgo de filtración, por lo que el control de la estanqueidad debe ser constante.

Permite la redistribución de los excedentes de purines hacia zonas carentes de nutrientes.

Otros efectos:

No se han descrito

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Posible alteración biológica del purín, dependiendo de las condiciones de aerobiosis/anaerobiosis.

Consumo energético

Consumo en los sistemas de agitación/mezclado, bombas de extracción.

Aditivos o tecnología necesaria

Posibilidad de añadir aditivos ácidos para reducir las emisiones a la atmósfera.

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

No aplica.

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

COSTES DE CONSTRUCCIÓN

- Tanques exteriores de hormigón in situ: opción más costosa.
- Tanques exteriores prefabricados: coste inferior respecto a los depósitos in situ.
- Depósitos acero vitrificado: muy competitivos frente a los depósitos de hormigón prefabricados.
- Balsas: opción más económica, pero su coste aumentaría considerablemente si el material a excavar fuese roca.
- Las cisternas flexibles ofrecen una buena solución a partir de 500 m³.

COSTES DE CUBRICIÓN (€/M³/AÑO)

- Costra natural: 0
- Paja picada, bolas plásticas: 1,5-2,5
- Bolas arcilla flotantes, piezas geométricas: 1-4
- Lonas flotantes flexibles: 1,5-3
- Techos o cubiertas fijas: 2-4
- Cisternas flexibles: 2,5

COSTES DE MANTENIMIENTO

El coste/m³ de mantenimiento depende del tipo y volumen del depósito y del sistema de cubrición.



4. SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO/LÍQUIDO

4. SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO/LÍQUIDO

4.1

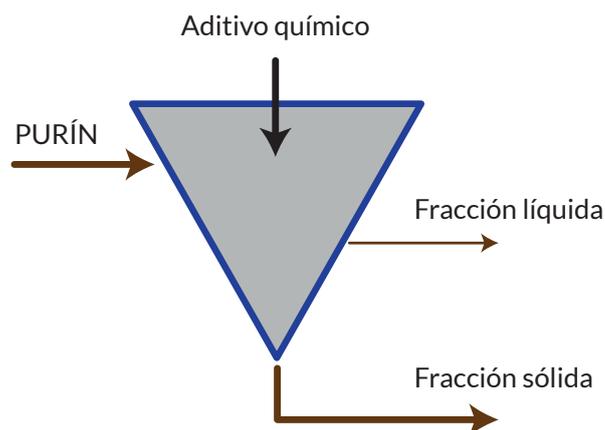
COAGULACIÓN - FLOCULACIÓN



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

La coagulación y la floculación son unos pre-tratamientos químicos cuyo objetivo principal es mejorar la separación mecánica de los componentes de los purines mediante la modificación de las propiedades de sus partículas (ya sea por agregación, sedimentación y/o flotación).

DIAGRAMA



FUNDAMENTO

Técnica de procesamiento de purines perteneciente al grupo de “separación de fases sólido/líquido”. Las partículas suspendidas en los purines se caracterizan por su tamaño pequeño (coloides) y por su carga superficial negativa, lo que ocasiona que se repelan entre ellas. Para conseguir que sean sedimentables se utilizan aditivos químicos:

- Coagulantes (tales como sulfato de amonio, sulfato de hierro o cloruro de hierro): neutralizan las cargas negativas y favorecen que las partículas se aglomeren, formando flóculos.
- Floculantes (como poliacrilamidas o quitosano): forman flóculos más grandes y favorecen la sedimentación por gravedad o separación por flotación.

La mezcla se debe agitar lentamente para inducir la agrupación de partículas entre sí, y posteriormente trasladarse a un depósito para la sedimentación de la fracción sólida.

APLICABILIDAD

Solamente se recomienda la aplicación cuando se precisa una reducción del contenido en nitrógeno y fósforo por la falta de terreno para su uso agronómico y cuando el purín no puede transportarse por coste elevado. Aplicable a residuo íntegro o a purines líquidos. El uso de poliacrilamida como floculante origina riesgos de formación de acrilamida, por lo que no es recomendable su uso.

LIMITACIONES

Los monómeros de la poliacrilamida (PAM), utilizados en la mayoría de los estudios de separación por floculación, podrían ser tóxicos, y en concreto cancerígenos. Sin embargo, un estudio sobre la separación de purines mostró que el riesgo es mínimo si se aplica un tratamiento posterior biológico, ya que la PAM se degrada en los mismos sin acumulación de acrilamida (Campos et al., 2008).

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Durante la aireación una alta proporción de amoníaco podría ser liberado a la atmósfera, por lo que será necesario tratar o recoger los gases liberados del equipo.

Posible riesgo de emisiones gaseosas (compuestos orgánicos volátiles, COVs) y aumento de los olores.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

Las fracciones sólidas resultantes (con elevada concentración de nutrientes) se pueden trasladar a zonas con baja densidad de ganado, lo que reduce los problemas derivados del exceso de nutrientes del campo de origen.

Otros efectos

La eficiencia puede depender del PH, por lo que debe ser controlado.

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Recomendable para el acondicionamiento de las deyecciones para la aplicación de un tratamiento posterior.

Consumo energético

Bajo, sólo durante el proceso de agitación.

Aditivos o tecnología necesaria

Los reactivos químicos usados como floculantes o coagulantes; éstos encarecen el coste de la técnica.

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

Eficiencia (%): 22% volumen; 70% materia seca; 43% nitrógeno total; 20% amonio; 79% fósforo total. (Hjort et al., 2010).

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

Se estima un coste de implantación de aproximadamente 50.000 € (Foged, 2010)

COSTES DE APLICACIÓN

En torno a 0,80 €/tonelada de purín de entrada (Foged, 2010)

4. SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO/LÍQUIDO

4.2

SEPARACIÓN POR REJILLA



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Separación de los grandes elementos sólidos que componen el purín a través de una rejilla.

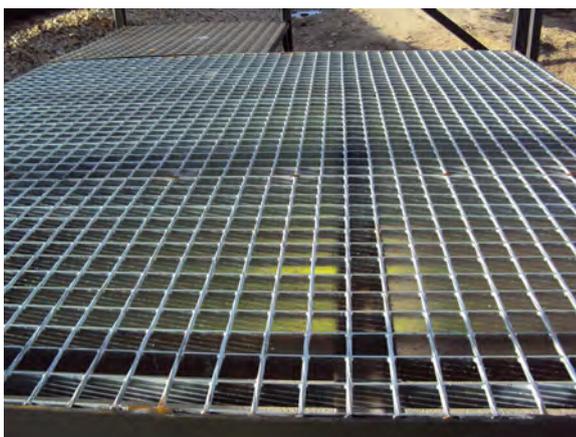
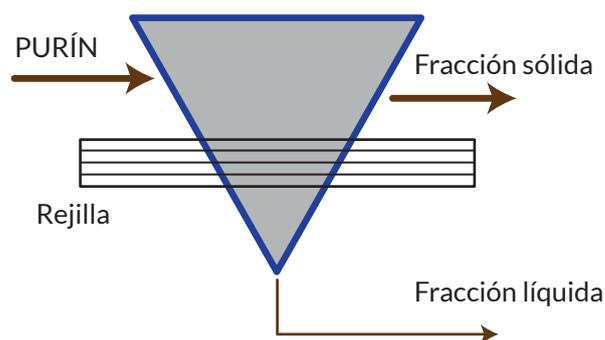


Imagen 1: Separación de fases por rejilla.

DIAGRAMA



FUNDAMENTO

Cuando se detecta en el residuo íntegro del purín un tamaño considerable de los sólidos en suspensión, su presencia puede bloquear elementos de transferencia de la granja tales como bombas y tuberías, así como los tubos para la aplicación del purín mediante manguera o enterramiento, tanto superficial como profundo, por lo que se recomienda emplear esta técnica de separación de fracciones. En ella se combina el uso de una rejilla seguido por una etapa de separación más fina en caso de ser necesario.

APLICABILIDAD

Aplicable al residuo íntegro. Se podría considerar un proceso de protección de las instalaciones y la maquinaria (con el fin de evitar obstrucciones), en lugar de una técnica de separación de fases.

Aplicable sólo en regiones donde exista una limitación por exceso de nitrógeno y fósforo y no sea posible la aplicación directa del purín sin tratar en el terreno, o cuando no sea económicamente viable el transporte del purín para su aplicación en otras zonas sin limitación.

LIMITACIONES

Los sólidos deben tener un tamaño aceptable para así quedar retenidos en la rejilla. La rejilla se debe limpiar periódicamente con el fin de evitar episodios de obstrucciones igualmente sobre ella.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

No hay ningún efecto negativo sobre el medioambiente.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

No hay efectos adversos de este tipo.

Otros efectos

-

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Separa elementos groseros, pero no altera la composición del purín.

Consumo energético

No se han descrito

Aditivos o tecnología necesaria

No se han descrito

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

Baja

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

Muy bajo, el coste de la rejilla.

COSTES DE APLICACIÓN

No se han descrito

4. SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO/LÍQUIDO

4.3

SEPARACIÓN POR PRENSA DE TORNILLO



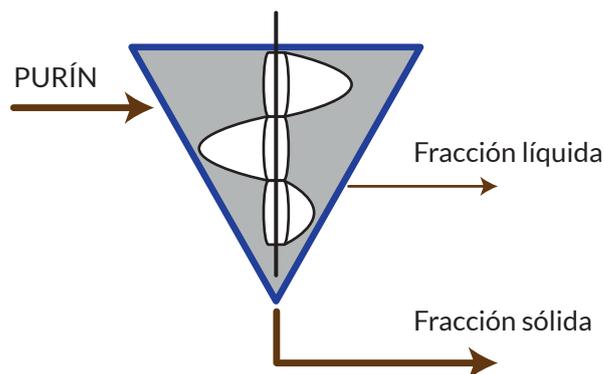
DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Separación de la fracción sólida y líquida del purín mediante un sistema de presión.



Imagen 1: sistema de un tornillo prensa.

DIAGRAMA



FUNDAMENTO

Proceso físico que consiste en la aplicación de presión para separar por filtración los sólidos en suspensión del contenido semilíquido del que está compuesto el purín.

El purín se introduce en un cilindro con pared en forma de filtro (grosor 0,5-1 mm), en cuyo interior se sitúa un tornillo helicoidal. El purín se introduce en la parte inferior del cilindro, la fracción líquida pasa a través del filtro y se recoge en un contenedor aparte. Mientras, los sólidos en suspensión son sometidos a la presión mediante la rotación del tornillo sobre su eje central. La fase sólida se compacta por la pérdida de líquido y el resultado será una fracción sólida con un alto contenido de materia seca que sale del cilindro por el extremo opuesto.

El aumento de la presión aplicada aumentará el contenido de materia seca.

APLICABILIDAD

Aplicable al purín íntegro. Alto rendimiento con bajos requisitos de potencia y mantenimiento (en comparación con otras técnicas de separación S/L, aumenta la concentración de nutrientes en la fase sólida). Al reducir el volumen del residuo, se contribuye a ahorrar costes de transporte y eliminación.

Técnica generalmente aplicable para un amplio rango de contenido de materia orgánica de los purines, incluso para los "digestatos" procedentes de las plantas de biogás. Su implantación en granjas existentes requiere una leve adaptación de las instalaciones.

Aplicable sólo en regiones donde exista una limitación por exceso de nitrógeno y fósforo y no sea posible la aplicación directa del purín sin tratar en el terreno, o cuando no sea económicamente viable el transporte del purín para su aplicación en otras zonas sin limitación.

LIMITACIONES

El coste energético, aunque sea bajo, limita el uso de esta técnica.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Es un sistema cerrado, en consecuencia, las emisiones se reducen en comparación con otras técnicas de separación de fases.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

Como muchas de las técnicas de separación de fases, los nutrientes (N, P, K) se pueden concentrar en la fracción sólida, mejorando la composición del estiércol derivado; mientras que las fracciones líquidas pueden ser utilizadas o procesadas adicionalmente in situ. También se concentran los metales pesados (Zn, Cu), que puede dar lugar a excesiva acumulación en ciertos tipos de purín.

Otros efectos

No se han descrito

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Separa elementos groseros, pero no altera la composición del purín.

Consumo energético

0,1-0,5 kWh/m³ de purín

Aditivos o tecnología necesaria

No se han descrito

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

Extracción de fracción líquida, en torno al 75-90%

Eficiencia (%): 20-40% sólidos totales; 5-20% nitrógeno; 10-30% fósforo en la fracción líquida.

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

17.000 - 21.000 € (Levasseur, 2004). En la planta de Calldetenes (Barcelona) para un tratamiento de 10.000 m³ de purín se estima un coste de la prensa de tornillo en torno a 28.000 € (Report IV).

COSTES DE APLICACIÓN

Entre 0,5-0,9 €/m³ de purín de entrada (Levasseur, 2004). En la planta de Calldetenes (Barcelona) para un tratamiento de 10.000 m³ de purín/año, el coste de aplicación es de 0,66 €/m³ (Report 4 anexo D).

4. SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO/LÍQUIDO

4.4

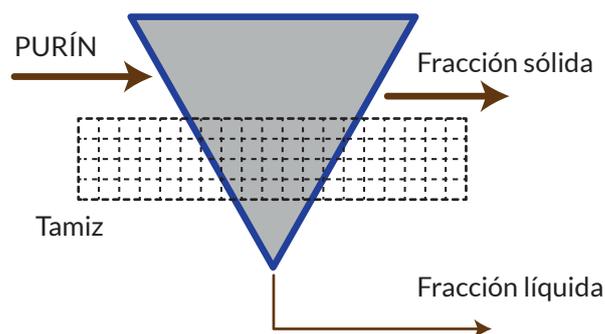
SEPARACIÓN POR TAMIZADO



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Separación de la fracción sólida y líquida del purín por filtración a través de un tamiz.

DIAGRAMA



FUNDAMENTO

Los separadores por tamizado pueden ser estáticos o dinámicos. El tamaño del poro del tamiz debe permitir la retención de las partículas sólidas, mientras que la fracción líquida debe fluir a través del filtro del tamiz y drenarse hasta un recolector.

Los principales factores a tener en cuenta son el tamaño del poro del tamiz, el rendimiento de separación, y el riesgo de obstrucción.

APLICABILIDAD

Aplicable al residuo íntegro. Técnica recomendada cuando el purín tienen un bajo contenido de sólidos (<2%). Esta técnica se utiliza generalmente como tratamiento previo con el fin de evitar fenómenos de sedimentación durante el almacenamiento o acoplado a otros sistemas de separación más eficientes.

Aplicable sólo en regiones donde exista una limitación por exceso de nitrógeno y fósforo y no sea posible la aplicación directa del purín sin tratar en el terreno, o cuando no sea económicamente viable el transporte del purín para su aplicación en otras zonas sin limitación.

LIMITACIONES

La obstrucción del tamiz es uno de los problemas más habituales de las pantallas estáticas. Este riesgo se ve disminuido en tamices vibrantes.

Si el flujo es demasiado alto, puede permanecer una gran cantidad de agua en la fracción sólida y no realizar correctamente la separación de fases. Por otro lado, dichos dispositivos necesitan un suministro constante de purín para evitar que las partículas se sequen.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Puede ocasionar una alta exposición del estiércol/purín a la atmósfera, y por lo tanto, el riesgo de emisiones gaseosas, así como problemas de olores.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

Como muchas de las técnicas de separación de fases, los nutrientes (N, P, K) se pueden concentrar en la fracción sólida, mejorando la composición del estiércol derivado; mientras que las fracciones líquidas pueden ser utilizadas o procesadas adicionalmente in situ.

Otros efectos

No se han descrito

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Separa fracciones, pero no altera la composición.

Consumo energético

Bajo.

Aditivos o tecnología necesaria

No se han descrito

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

5-15% Nitrógeno en la fracción líquida

5-15% Fósforo en la fracción líquida

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

Tamiz fijo: 3.500 – 8.000 €

Tamiz vibrante: 15.000 €

(Levasseur, 2004)

4. SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO/LÍQUIDO

4.5

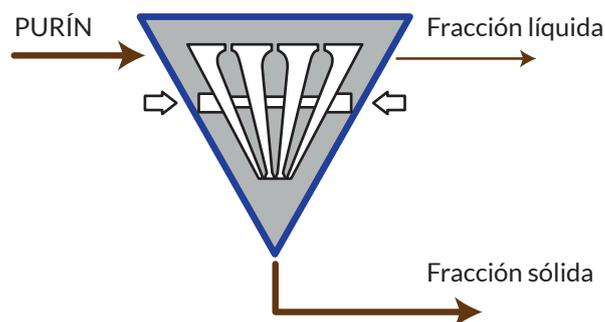
SEPARACIÓN POR FILTRO PRENSA



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Separación de la fracción sólida y líquida del purín mediante un sistema de presión.

DIAGRAMA



FUNDAMENTO

Los separadores de filtro de prensado son dispositivos constituidos por una placa o tela filtrante que pueden tener una gran variedad de diseños.

- Prensa rotatoria: el purín a separar se va depositando continuamente en el interior de un canal y se somete a la fuerza de fricción entre dos placas paralelas giratorias de movimiento lento. La fracción líquida se filtrará a través de éstas hacia el sistema de desagüe mientras que la fracción sólida avanzará dentro del canal deshidratándose, resultando una torta de filtro seca que se debe retirar a la salida de la prensa.
- Cinturón de filtro: el filtro de banda está constantemente girando sobre unos rodillos, que ocasionan que el material esté en continuo movimiento, ejerciendo presión sobre el mismo. La parte líquida igualmente se filtrará hasta el sistema de desagüe, mientras que la fracción sólida se irá deshidratando a medida que avance sobre el cinturón. La torta de filtro resultante es continuamente eliminada en el extremo opuesto del cinturón, de modo que la zona de carga de residuo íntegro y la zona de descarga de la fracción sólida se están cambiando y limpiando continuamente.

APLICABILIDAD

Aplicable al purín íntegro. Sus diseños pueden permitir una amplia superficie de filtración utilizando poco espacio.

Aplicable sólo en regiones donde exista una limitación por exceso de nitrógeno y fósforo y no sea posible la aplicación directa del purín sin tratar en el terreno, o cuando no sea económicamente viable el transporte del purín para su aplicación en otras zonas sin limitación.

LIMITACIONES

Prensa rotatoria: se recomienda el uso de polielectrolitos con el fin de mejorar la eficiencia de la separación.

Cinturón de filtro: a menudo, el material aquí obtenido es sometido a una separación por tornillo prensa, para aumentar el contenido de materia seca en la fracción sólida.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Posibilidad de construirlo como un sistema cerrado, por lo que las emisiones se reducen en comparación con otras técnicas de separación de fases.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

Como muchas de las técnicas de separación de fases, los nutrientes (N, P, K) se pueden concentrar en la fracción sólida, mejorando la composición del estiércol derivado; mientras que las fracciones líquidas pueden ser utilizadas o procesadas adicionalmente in situ. También se concentran los metales pesados (Zn, Cu), que puede dar lugar a excesiva acumulación en ciertos tipos de purín.

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Separa elementos groseros, pero no altera la composición del purín.

Consumo energético

0,5 kWh/m³ de purín de entrada, mediante prensa rotatoria (Vanotti et al., 2009)

Aditivos o tecnología necesaria

Polielectrolitos con el fin de mejorar la eficiencia de la separación.

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

Haciendo uso de polielectrolitos, las eficiencias de separación alcanzan unas cifras en la fracción sólida de 30% de nitrógeno Kjeldahl (cantidad total de nitrógeno en el agua, nitrógeno orgánico + amoníaco + amonio) y el 70% de fósforo. El porcentaje de materia seca extraída de fracción sólida se encuentra en un rango del 25-35%.

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

Medio - alto: 25.000 - 125.000 €, dependiendo de las dimensiones y del tipo del separador (Levasseur, 2004; Foged, 2010)

COSTES DE APLICACIÓN

1,5 €/tonelada de purín de entrada, mediante filtro banda (Foged, 2010)

4. SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO/LÍQUIDO

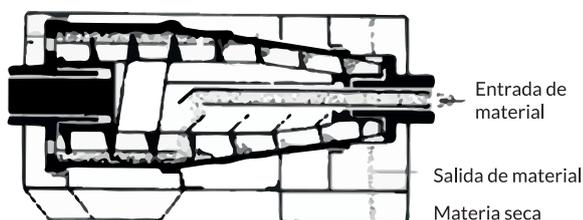
4.6

SEPARACIÓN POR CENTRIFUGACIÓN



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Separación de sólidos de un fluido de (semi) líquidos en dos fracciones diferentes, sólida y líquida, por la aplicación de una fuerza centrífuga.



DIAGRAMA

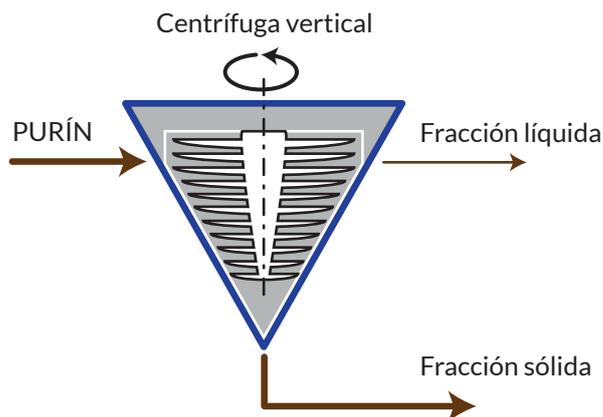


Figura 1: Møller et al., 2000 .

FUNDAMENTO

Las centrifugadoras decantadoras generan una fuerza centrífuga que origina la separación de sólidos de líquidos. Hay 2 tipos de centrifugadoras decantadoras: verticales y horizontales. El decantador centrífugo horizontal utiliza un cilindro cerrado con un movimiento de giro continuo (3.000-4.000 rpm). La fuerza centrífuga separa los sólidos y los líquidos hacia la pared del cilindro en dos capas distintas: en la capa interna deposita una elevada concentración de materia seca y en la capa externa deposita la fracción líquida, compuesta por una suspensión coloidal, materia orgánica y sales.

Las partículas sólidas son transportadas hacia el extremo cónico y salen a través de las aberturas de descarga de sólidos; mientras que de la suspensión obtenida, las partículas se separan del líquido, y la fase líquida se descarga a través de aberturas de desagüe localizadas en el extremo ancho de la centrífuga decantadora.

Para aumentar la eficiencia de la separación de:

- La suspensión, se recomienda aumentar el tiempo de retención de la suspensión, mediante la reducción de la velocidad de alimentación volumétrica en la centrífuga.
- La materia seca, se recomienda aumentar el contenido de materia seca de la suspensión.

APLICABILIDAD

Aplicable al residuo íntegro. Se considera la técnica de separación de fases que más compacta la fracción sólida.

Aplicable sólo en regiones donde exista una limitación por exceso de nitrógeno y fósforo y no sea posible la aplicación directa del purín sin tratar en el terreno, o cuando no sea económicamente viable el transporte del purín para su aplicación en otras zonas sin limitación.

LIMITACIONES

Habitualmente utilizado en explotaciones a gran escala. Coste elevado.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Se considera un sistema cerrado, por lo que las emisiones se reducen en comparación con otras técnicas de separación de fases.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

Como muchas de las técnicas de separación de fases, los nutrientes (N, P, K) se pueden concentrar en la fracción sólida, mejorando la composición del estiércol derivado, mientras que las fracciones líquidas pueden ser utilizadas o procesadas adicionalmente in situ.

Otros efectos

No se han descrito

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Separa elementos groseros, pero no altera la composición del purín.

Consumo energético

2,0 – 4,0 kWh/m³ de purín de entrada

Aditivos o tecnología necesaria

Se recomienda el uso de polielectrolitos con el fin de mejorar la eficiencia de la separación.

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

Altos índices de separación: 14% volumen, 61% de materia seca, 28% de nitrógeno total, 16% de amonio, 71% de fósforo total en la fracción sólida.

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

Medio – alto: 40.000 - 60.000 € (1,5 - 2 m³/h)
100.000 € (25 m³/h) (Levasseur, 2004)

COSTES DE APLICACIÓN

0,6 – 2,3 €/m³ de purín de entrada (Levasseur, 2004)

4. SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO/LÍQUIDO

4.7

SEPARACIÓN POR FILTRO DE TAMBOR



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Separación de sólidos de un fluido de (semi) líquidos en dos fracciones diferentes, sólida y líquida, por filtración a través de un tambor rotatorio.

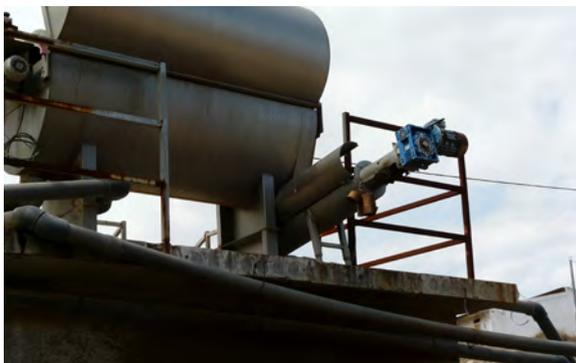
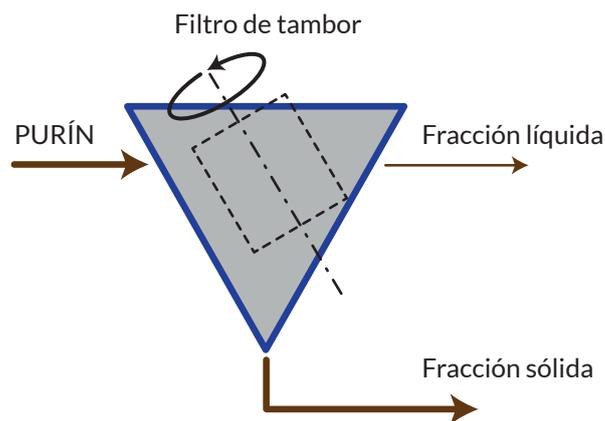


Imagen 1: separación por filtro de tambor.

DIAGRAMA



FUNDAMENTO

El principio de funcionamiento es un tambor rotatorio en cuya superficie se incorpora una tela filtrante. El purín entra en su interior por una abertura lateral, y el giro del tambor sobre el eje central origina que la fracción líquida pase a través de la tela, siendo recogida en su sistema de desagüe, y la fracción sólida se queda adherida a la tela como una torta seca.

Existen varios sistemas de descarga de la torta (rasqueta, rodillo, cuerda, etc.) en base al espesor, consistencia y estructura de las mismas, dejando la tela filtrante en condiciones de dar el rendimiento previsto.

APLICABILIDAD

Aplicable a residuo íntegro o a purines líquidos. El filtro de tambor tiene una menor capacidad comparado con la centrifugadora, pero presenta una buena eficiencia de separación en relación a su menor coste.

Aplicable sólo en regiones donde exista una limitación por exceso de nitrógeno y fósforo y no sea posible la aplicación directa del purín sin tratar en el terreno, o cuando no sea económicamente viable el transporte del purín para su aplicación en otras zonas sin limitación.

LIMITACIONES

Habitualmente utilizado en explotaciones a media escala. El estado de limpieza de la tela es determinante en la eficacia de la técnica.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Se considera un sistema cerrado, por lo que las emisiones se reducen en comparación con otras técnicas de separación de fases.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

Como muchas de las técnicas de separación de fases, los nutrientes (N, P, K) se pueden concentrar en la fracción sólida, mejorando la composición del estiércol derivado, mientras que las fracciones líquidas pueden ser utilizadas o procesadas adicionalmente in situ.

Otros efectos

No se han descrito

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Separa elementos groseros, pero no altera la composición del purín.

Consumo energético

1 kWh/m³ de purín de entrada

Aditivos o tecnología necesaria

Esta técnica a menudo es utilizada en combinación con una floculación química.

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

Para un volumen de 2-3 t/h de purín, la fracción sólida obtenida presentará en su contenido: 25-27% volumen, 12% de materia seca, 20% de nitrógeno, 30-55% de fósforo.

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

25.000 € para una capacidad de 2-3 m³ de purín/hora.

COSTES DE APLICACIÓN

Aproximadamente 0,35 €/m³ de purín.

4. SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO/LÍQUIDO

4.8

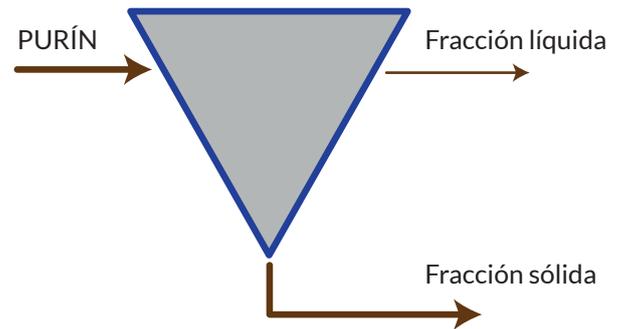
SEPARACIÓN POR DECANTACIÓN NATURAL



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Separación de sólidos de un fluido de (semi) líquidos en dos fracciones diferentes, sólida y líquida, por sedimentación natural en un decantador.

DIAGRAMA



FUNDAMENTO

La mayoría de los decantadores consisten en un recipiente de forma cilíndrica en la parte superior y cónica en la parte inferior. En operaciones por tandas, una cantidad determinada de purín se deposita en la parte superior del decantador y los sólidos, por gravedad, se irán depositando en la parte inferior de la parte cónica desde donde se extraen.

Para mejorar la sedimentación y aumentar el movimiento de los sólidos asentados en la parte superior de la sección cónica, los pequeños decantadores pueden vibrar, mientras que, para decantadores más grandes, esto se puede lograr mediante el uso de rastrillos.

Los decantadores también pueden funcionar de forma continua, donde se añade el purín de forma constante y las fracciones sólidas y líquidas resultantes deben ser eliminadas al mismo ritmo que se añade el purín de entrada. En este caso, el purín tiene que ser añadido en la zona de separación.

APLICABILIDAD

Aplicable al purín íntegro o a purines líquidos. Buenos índices de separación.

LIMITACIONES

Consumo de energía en pequeños decantadores vibrantes.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Posible alta exposición del purín a la atmósfera, y su correspondiente riesgo de emisión de gases y problemas de olores.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

Como en las otras técnicas de separación de fases S-L, el fósforo y nitrógeno orgánico se concentran en la fracción sólida, y nitrógeno soluble, tal como amoníaco o nitratos, y potasio se concentran en la fracción líquida.

Otros efectos

No se han descrito

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Separa elementos groseros, pero no altera la composición del purín.

Consumo energético

En el bombeo, 0,0 – 0,1 kWh/m³ de purín de entrada

Aditivos o tecnología necesaria

Se recomienda el uso de agentes de coagulación o floculación para mejorar la separación.

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

Índices de separación en la sedimentación en la fracción sólida: 22% del volumen, 56% de materia seca, 33% nitrógeno total 28% de amonio y 52% fósforo total.

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

17.000 € para un decantador con un volumen de 350 m³.

COSTES DE APLICACIÓN

No hay referencias.



5. ADITIVOS Y OTROS PRETRATAMIENTOS

5. ADITIVOS Y OTROS PRETRATAMIENTOS

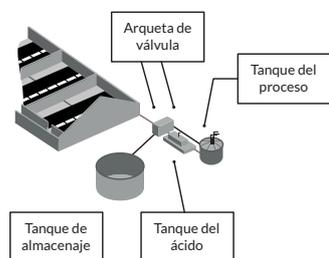
5.1

ACIDIFICACIÓN DEL PURÍN LÍQUIDO



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Se añade ácido sulfúrico al purín para disminuir su pH hasta 5,5, de forma que aumenta la concentración de amonio y reduce las emisiones de amoniaco libre. La adición puede llevarse a cabo en un tanque específico, seguido de aireación y homogenización. El sistema debe estar totalmente automatizado para evitar riesgos sobre los operarios o los animales.



DIAGRAMA

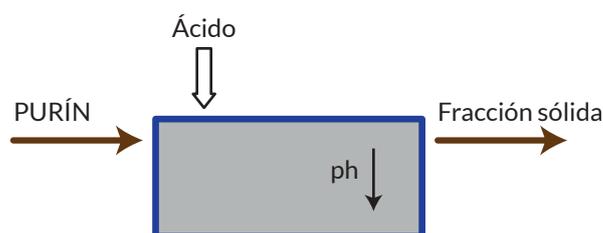


Figura 1: sistema de acidificación en granja. Extraído del Technical Report No. II to the European Commission, Directorate-General Environment.

FUNDAMENTO

La adición de ácido al purín origina una disminución del pH de la suspensión, con lo que una cantidad de nitrógeno amoniacal cada vez mayor se transforma en amonio, el cual no se evapora.

La unidad de acidificación para el tratamiento de purines se compone de los siguientes elementos: arqueta de válvula, tanque del proceso y tanque de ácido. Durante el proceso, el purín de una serie de fosas se bombea al tanque de proceso a través de la arqueta de válvula. En éste, se añade ácido sulfúrico, de manera que el pH de la suspensión se reduce a 5,5 (objetivo), bajo agitación y combinación con aire. Después del tratamiento, la parte principal de la suspensión se bombea de nuevo a las cuencas iniciales, mientras que el resto se bombea al tanque de almacenamiento.

La frecuencia del tratamiento depende del pH inicial del purín antes de cada tratamiento, lo que significa que la frecuencia aumentará con el aumento de pH inicial. Normalmente, todo el purín de un lote/rebaño de animales deberá tratarse 1-3 veces al día. Todos los procesos deben ser controlados y monitoreados de forma automática.

APLICABILIDAD

Aplicable a residuo íntegro o a purines líquidos. Reduce las emisiones amoniaco (70%) y reducción olores. Reducción en las emisiones de metano. Aumenta el valor fertilizante del estiércol/purín.

LIMITACIONES

Coste. La manipulación de los ácidos (por ejemplo, ácido sulfúrico) debe realizarse bajo los protocolos de seguridad. La adición del ácido sulfúrico puede tener consecuencias negativas según el tipo de hormigón de los tanques, por lo que especial atención en su elección. Producción de espuma en los tanques y fosas de purín.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Los estudios realizados arrojan las siguientes conclusiones:

- La acidificación de los purines reduce las emisiones de amoníaco en granja, instalaciones de almacenamiento y en la aplicación al suelo.
 - El ajuste frecuente del pH de los purines en las granjas de cerdos reduce la volatilización de amoníaco en un 70%.
 - Las pérdidas de amoníaco durante el almacenamiento de purines se reducen en torno a un 50% respecto al purín almacenado sin tratar con una costra natural
 - La acidificación de los purines reduce la volatilización del amoníaco durante y después de su aplicación en el campo.
- Durante la acidificación se incrementan los niveles de CO₂ y H₂S, pero disminuyen durante el almacenamiento, por lo que no hay diferencias significativas si se tiene en cuenta el proceso completo.
- Diferentes estudios muestran una disminución de la producción de metano entre el 67 y 90%

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión) -

Antes, o después, de la aplicación del purín tratado en suelos ácidos, puede ser necesario neutralizar el pH del suelo añadiendo enmiendas o correctores de acidez.

Otros efectos

- El nitrógeno se fija en el estiércol/purín. En consecuencia, deberá preverse una concentración de nutrientes en el producto final, la acidificación se debe considerar como un pre-requisito o pre- tratamiento cuando se empleen combinaciones de procesos.
- Es necesario evaluar el impacto del medio ácido sobre los microorganismos del suelo (incluidos los patógenos).

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Mejora las condiciones del estiércol (ahorro económico en los fertilizantes químicos)

Consumo energético

Incremento del consumo de aprox. 3 kWh / m³ de purín (Pedersen, 2004) se basa en el tiempo de ejecución y el poder de la bomba. Según la planta INFARM, para el tratamiento de 10.000 m³ / año, el consumo de electricidad estimado es de 1,8 kWh / m³.

Aditivos o tecnología necesaria

La cantidad de reactivo necesario para alcanzar un pH determinado estará vinculada a la alcalinidad del purín. Tratamientos como la nitrificación o la extracción de CO₂ pueden ayudar en la reducción de cantidad de reactivos.

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

La adición de 4-6 kg de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) por cada 1.000 kg de purín, ocasiona una reducción del pH de la suspensión a valores de entre pH 5,5 y 6,0.

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

Una inversión básica en granja ascienda a 100.000 € aprox. (incluyendo tanques de almacenaje, bombas y controladores), pero depende del tamaño de la granja, de los tipos de corrales y otros parámetros locales.

COSTES DE APLICACIÓN

Para el tratamiento de 10.000 m³ de purín/año, los costes operacionales estimados son:

	€/m ³
Consumo de energía	0,17
Consumo de ácido	0,72
Mantenimiento y coste de la operación	0,29



6. TRATAMIENTOS ANAERÓBICOS

6. TRATAMIENTOS ANAERÓBICOS

6.1

DIGESTIÓN ANAEROBIA MESOFÍLICA/TERMOFÍLICA



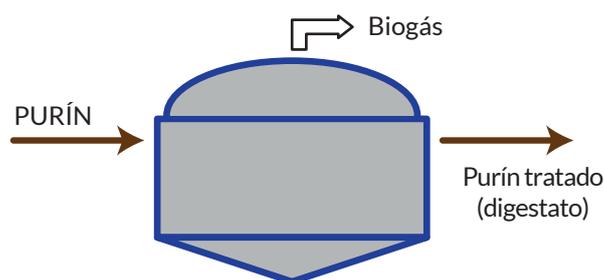
DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

La digestión anaerobia es un proceso biológico de descomposición del purín que tiene lugar en ausencia de oxígeno, cuyo objetivo principal es, por un lado, la producción de energía (producción de “bio-metano”, biogás), a través de la degradación de la materia orgánica del purín por la acción de microorganismos, y por el otro, la transformación del purín en un producto final denominado “digestato” con unas características fisicoquímicas que facilitan tanto su manejo posterior como su valorización agrícola como fertilizante.



Imagen 1: purín tratado por digestión bacteriana.

DIAGRAMA



FUNDAMENTO

Proceso biológico de descomposición que se divide en varias fases (desintegración, hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis), en el cual, se degrada la materia orgánica del purín obteniéndose un biogás cuyo contenido en metano está en torno al 60-65%. Fruto de este proceso, se transforma el purín en un producto final mucho más estable y fácil de manejar (digestato) con excelentes propiedades como fertilizante. Existen dos tipos de plantas que utilizan este procedimiento:

- Plantas mesofílicas: operan a niveles de temperatura de en torno a los 37°C con una variación térmica de hasta 2 °C.
- Plantas termofílicas: trabajan a niveles de temperatura de aproximadamente 52 °C, pero sólo admiten una variación térmica de 0,5 °C.

El tiempo de retención del purín durante todo el tratamiento varía de 15-40 días, llevándose a cabo todo el proceso en una o dos etapas (reactores). En la primera, el objetivo es maximizar el proceso de hidrólisis del purín, mientras que en la segunda se controla el proceso de metanogénesis y es en ésta donde se produce todo el biogás.

APLICABILIDAD

Aplicable sólo a purines líquidos. Las plantas mesofílicas presentan un margen de maniobra mayor, y su uso está más extendido tanto a nivel de granja como a nivel regional. Sin embargo, las plantas termofílicas basan su principal ventaja en que se obtiene un producto final (digestato) bastante más higienizado y de menor viscosidad, lo cual facilita enormemente su manejo posterior.

Este método, aunque no tiene ningún tipo de restricción técnica en cuanto a su aplicabilidad a nivel de granja, no se considera generalmente aplicable por el elevado coste que implica la implantación y puesta en marcha del sistema en una granja convencional. Se recomienda un tamaño mínimo de 50 “unidades ganaderas” para que la inversión sea rentable.

LIMITACIONES

Los digestores trabajan con un nivel máximo de materia seca en el purín del 12,5%, a una temperatura constante entre 30-45 °C (plantas mesolíticas) y 55 C (plantas termofílicas). La producción de biogás depende enormemente del tipo de purín a procesar.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero de dos formas:

- El biogás producido constituye un combustible con menor huella de carbono (emisiones de CO₂-equivalente por m³) que los combustibles fósiles
- La producción del digestato supone un producto final con un olor mucho menos fuerte e intenso (se reducen los problemas de malos olores), siendo mucho más estable, de más fácil manejo, y que emite mucho menos que el purín sin tratar.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

El digestato es un producto más homogéneo tanto a nivel de tamaño de partícula como en el aporte de nutrientes, de modo que estos se distribuyen de forma más uniforme en el terreno, así como en las proximidades de las raíces de las plantas, facilitando así su absorción y asimilación por los cultivos.

El proceso de digestión anaerobia no modifica el ratio global de N/P del purín, y sólo tiene efecto en el N disponible para las plantas (aumento), facilitando su absorción.

Otros efectos

Reducción de agentes patógenos e higienización del purín (mayor en procesos termofílicos).

EFFECTOS ASOCIADOS

En el purín

Reducción de malos olores y emisiones, especialmente durante el esparcido y aplicación del “digestato” como fertilizante en el suelo.

Reducción de agentes patógenos e higienización del purín (más en procesos termofílicos).

Consumo energético

Producción de energía*: 2,5 kWh por m³ de biogás

Producción de calor* (calefacción): 2,0 kWh por m³ de biogás.

(*)Producción de energía resultante descontando la energía necesaria para el funcionamiento y calefacción de la planta.

Aditivos o tecnología necesaria

El proceso de digestión anaerobia para la producción de biogás no utiliza de forma habitual catalizadores o aditivos, aunque en algunas ocasiones pueden utilizarse algunos de los descritos en el apartado de “uso de aditivos en el purín”.

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

Los estudios para las plantas de biogás danesas muestran que éstas producen un promedio de 22 m³ de biogás por tonelada de purín (con un promedio de 6% MS). La digestión anaeróbica transforma la mayor parte del nitrógeno orgánico a amonio, por esta razón, la concentración de amonio en el purín tratado se incrementa hasta el 20% en comparación con el purín no tratado.

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

Existen diferentes métodos para estimar los costes de inversión:

- *Flotats y Sarquella (2008)* proponen utilizar la siguiente ecuación para la estimación de los costes de inversión de las plantas de biogás, donde el biogás se utiliza para la producción de energía eléctrica:

$$\text{Inversión Unitaria [€/kW]} = 16272 \times (\text{Potencia Eléctrica [kW]})^{-0,2114}$$

La ecuación muestra una buena correlación entre los costes de inversión en economías de escala

- *Foged (2010)* propone utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Costes de inversión [€]} = 75.000 + 50 \text{ €/ tonelada de capacidad anual}$$

Esta ecuación también presenta un efecto de economía de escala y es independiente del uso que se le dé al biogás producido. Esta metodología podría ser más aplicable en plantas de hasta tamaño medio y a nivel regional.

- *Gregersen (2002)* propone unos indicadores de tamaño de inversión y costes operaciones que oscilan entre los 54, 43 y 36 € de inversión por cada m³ de purín tratado y año en plantas de 300, 500 y 800 m³ de capacidad diaria y unos costes operacionales de 9,10, 7,60 y 7,10 €/ m³ respectivamente.



7. TRATAMIENTOS DE LA FRACCIÓN SÓLIDA

7. TRATAMIENTOS DE LA FRACCIÓN SÓLIDA

7.1

COMPOSTAJE



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

El compostaje es un proceso que consiste en la descomposición biológica aerobia y de estabilización de sustratos orgánicos, cuyo objetivo principal es la obtención de un producto final estable, con bajo % de humedad, que conserve el máximo porcentaje de los nutrientes del producto inicial sin tratar, libre de patógenos y semillas. Este producto se denomina compost, con un peso y volumen bastante más bajo que el producto inicial (por la evaporación del agua durante el proceso de compostaje), lo cual supone una disminución de los costes de transporte.



DIAGRAMA

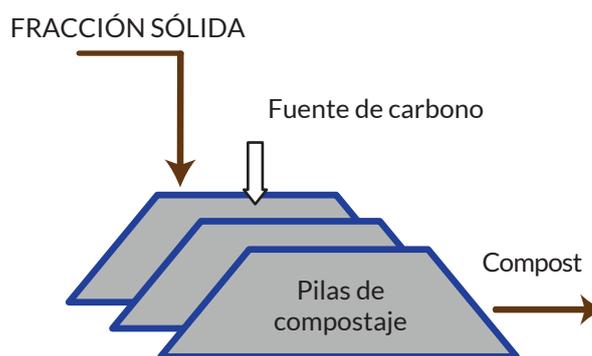


Imagen 1: el compost se obtiene a través de un proceso de degradación aeróbico.

FUNDAMENTO

El compost se obtiene a través de un proceso de degradación aeróbico de carácter termofílico de la materia orgánica del sustrato inicial, seguido después por una fase de maduración donde se somete a una disminución lenta y paulatina de la temperatura, momento en el que se producen complejos moleculares orgánicos (ácidos fúlvico y húmico).

En la primera etapa (descomposición), fruto de reacciones químicas exotérmicas, se produce un incremento de la temperatura en la matriz del sustrato por encima de 50 °C (55-70 °C), que junto con la aireación, provoca una elevada tasa de evaporación del agua contenida en el producto inicial.

En la segunda etapa, se produce la maduración del compost, donde las moléculas complejas que forman parte de la materia orgánica del sustrato inicial se degradan produciéndose los ácidos húmico y fúlvico. Durante esta etapa, se produce una bajada paulatina de la temperatura hasta alcanzar la temperatura ambiente.

El proceso total dura entre 8 y 16 semanas, siendo las condiciones óptimas para el compostaje las siguientes: 40-65% de humedad, relación C/N de 25-35 y una porosidad (AFP: Air Filled Porosity) de 30-60%.

Los estiércoles sólidos normalmente necesitan la adición de algún tipo de material vegetal rico en carbono y pobre en nitrógeno (por ejemplo, viruta de paja, viruta de madera, serrín...) con el objeto de conseguir que la mezcla tenga una apropiada relación C/N, así como una estructura y porosidad adecuada.

APLICABILIDAD

Aplicable sólo en estiércoles sólidos (fracción sólida), para estabilización de la materia orgánica, higienización y reducción de olores o cuando no se pueda transportar el purín a un coste razonable.

La técnica requiere que la granja tenga espacio suficiente para establecer las pilas de compostaje.

El proceso es relativamente sencillo y puede aplicarse a nivel de granja utilizando maquinaria habitual, aunque es muy importante controlar todas las fases de desarrollo para evitar la existencia de procesos anaeróbicos que puedan ocasionar problemas de malos olores.

Muy importante la textura y orografía del terreno donde se quiera instalar el sistema de compostaje. No aplicable en terrenos muy permeables, de fácil encharcamiento o con fuertes pendientes.

LIMITACIONES

- Se deben garantizar las condiciones de aerobiosis para que tenga lugar el proceso. Necesidad de operaciones de volteo mecánico de las pilas de compostaje o dispositivos de la ventilación forzada.
- La elevada tasa de evaporación del agua contenida en el sustrato inicial obliga a mantener un nivel mínimo de agua en el sistema (mediante aportes adicionales) para evitar la inhibición de los microorganismos responsables del proceso.
- Se debe disponer de espacio suficiente, una superficie impermeabilizada y un sistema de recogida de lixiviados que se podrán reutilizar para regar el compost.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

- Posibilidad de emisiones de NH_3 , CH_4 y compuestos orgánicos volátiles. El CH_4 se produce cuando en la matriz del sustrato sometido a compostaje existen zonas en condiciones de anaerobiosis
- La utilización de sistemas cerrados (túneles), así como en los de membranas semipermeables, todos ellos con buen mecanismo de aireación, contribuye a la reducción de emisiones.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

- El compost producido es un compuesto orgánico con unas excelentes propiedades como fertilizante, que conserva en parte la composición inicial del N del sustrato original sin tratar, y la mayoría del P y el K. Su aplicación al suelo supone una importante aportación de nutrientes para las plantas y cultivos.
- En el caso de sistemas abiertos de compostaje que trabajan con mezclas de purín de porcino y paja, la pérdida de N durante el proceso de compostaje puede llegar hasta el 30-50%.

Otros efectos

- Estabilización de la material orgánica del sustrato inicial, eliminación de agentes patógenos y semillas, y reducción de malos olores (durante la fase termofílica).

EFFECTOS ASOCIADOS

En el estiércol sólido.

Descompone la materia orgánica de la fracción sólida y reduce peso y volumen del producto resultante (debido a la evaporación de agua).

Consumo energético

Variable entre 3,0 a 19,3 kWh/tonelada de compost producido (en función de la maquinaria utilizada).

Aditivos o tecnología necesaria

- Aplicación de material vegetal adicional (fuente de carbono) en diferentes proporciones con el objeto de que éste absorba el exceso de agua y se alcance en la mezcla una proporción C/N adecuada.
- Aplicación de agua: 250-650 litros por tonelada de estiércol sólido a compostar.
- En ocasiones se recurre a la inoculación de microorganismos en el sustrato con el objeto de acelerar el proceso.
- Aplicación de forma ocasional de agentes químicos para reducir los malos olores durante el proceso.

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

- Reducción de peso y volumen: 40-50%
 - Transformación de amoníaco a nitrato y nitrógeno orgánico (40-70%)
-

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

Equipos específicos:

- Máquina creación de la pilas/hileras de compostaje: 30.000 € (100 m³/h) / 100.000 € (1.000 – 1.500 m³/h)/ 180.000 € (2.500 m³/h)
- Tractor: 50.000 €, su uso será compartido con otras actividades agrícolas
- Mezcladores: 20.000-50.000 € (10-100 m³/h)
- Filtros: 70.000 € (100 m³/h)

Planta de compostaje completa:

Planta de compostaje estándar de pilas/hileras (2.000 t estiércol/año + 1.360 t viruta madera/año): 35.000 – 100.000 € (dependiendo de las instalaciones que se construyan en la planta).

COSTES DE APLICACIÓN

20 € por tonelada de compost producido



8. TRATAMIENTOS DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA

8. TRATAMIENTO DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA

8.1

DIGESTIÓN AEROBIA (AIREACIÓN)



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Proceso biológico cuyo objetivo principal es la biodegradación de la materia orgánica del substrato inicial en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno).

Asimismo, en este tipo de procesos, es posible la reducción del contenido de N en el purín líquido a través de los procesos de nitrificación-desnitrificación cuando se alternan condiciones de aerobiosis y anerobiosis en un determinado espacio de tiempo.



DIAGRAMA

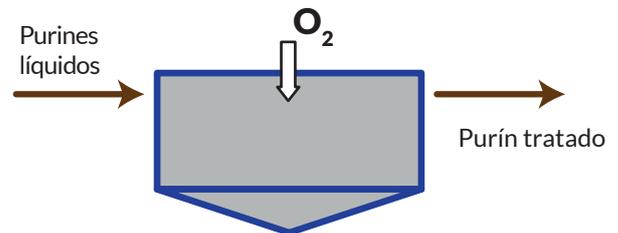


Imagen 1: ilustración de un sistema de digestión aeróbica basada en aireación intermitente con el objetivo de eliminar nitrógeno.

FUNDAMENTO

Técnica de procesamiento de purines perteneciente al grupo de “tratamientos de la fracción líquida”. Se trata de un proceso que consiste en la descomposición biológica de la materia orgánica del substrato en presencia de oxígeno, con la correspondiente producción de CO_2 , a través de microorganismos aeróbicos heterótrofos. La aportación de oxígeno al sistema se efectúa mediante agitación superficial o por burbujeo en la balsa de purines. Este tratamiento es equivalente a aquellos aplicados en plantas de tratamiento de aguas residuales en las que también se efectúa una degradación aeróbica del carbono orgánico.

Este proceso también puede desarrollarse en conjunto con el de nitrificación (con tiempos hidráulicos de retención superiores a 6 días). Sin embargo, cuando en el tratamiento existen fases de anoxia, es posible que se produzca una reducción del % de N del substrato, dependiendo de la disponibilidad de carbono orgánico biodegradable para desnitrificación.

APLICABILIDAD

Generalmente aplicable cuando sea necesario la reducción de olor o patógenos en el purín antes de su utilización agronómica (aplicación en el terreno). En zonas frías puede resultar difícil mantener el nivel de aireación requerido. Aplicable a purines líquidos. Bajo nivel de complejidad e instalaciones sencillas.

LIMITACIONES

La explotación debe disponer de una superficie suficiente para instalar la balsa.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Incremento de emisiones de NH_3 si el proceso no va acompañado del de nitrificación-desnitrificación.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

No se han descrito.

Otros efectos

- Disminución de la DQO (Demanda Química de Oxígeno) en el sustrato (función principal de la aireación).
- Elevada producción de lodos (debido a la actividad microbiana), comparado con los tratamientos anaeróbicos.

EFFECTOS ASOCIADOS

En el purín

- Mejora la separación posterior de fases y favorece el paso del nitrógeno a la fracción sólida, en forma de nitrógeno orgánico.
- Reducción de agentes patógenos e higienización del purín.

Consumo energético

Depende de la composición de la suspensión en términos de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) y N (cuando se dan las condiciones de nitrificación). El suministro de aire al sistema debe ser de entrono a 1,5 kg de oxígeno por kg de materia orgánica que se oxida.

Aditivos o tecnología necesaria

No se han descrito

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

No se disponen datos.

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

Esta técnica es fácilmente aplicable sobre instalaciones estándar para el tratamiento de purines líquidos o fase líquida de purines tras la separación previa de las fracciones sólida y líquida. El coste de implantación vendrá derivado por la instalación de los aireadores.

COSTES DE APLICACIÓN

Coste elevado de la aireación, por consumo de energía eléctrica.

8. TRATAMIENTO DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA

8.2

NITRIFICACIÓN-DESNITRIFICACIÓN (NDN)



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Conversión biológica de amoníaco (NH_3) a gas nitrógeno (N_2). Se trata de un proceso clásico de eliminación de nitrógeno, combinando nitrificación autótrofa ⁽¹⁾ bajo aireación y desnitrificación heterótrofa ⁽²⁾ bajo condiciones de anoxia y presencia de carbono orgánico

⁽¹⁾ Bacterias autótrofas: como fuente de carbono para su crecimiento utilizan una fuente inorgánica, como puede ser el CO_2 o el bicarbonato.

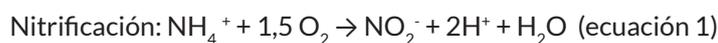
⁽²⁾ Bacterias heterótrofas: como fuente de carbono para su crecimiento utilizan compuestos orgánicos.



Imagen 1: aplicación de sistema de Nitrificación - desnitrificación.

FUNDAMENTO

Durante la nitrificación, el amonio se oxida aeróbicamente a nitrito (ecuación 1) por las bacterias oxidantes de amonio, y posteriormente se oxida de nitrito a nitrato por bacterias oxidantes de nitrito (ecuación 2).



Durante la desnitrificación, el nitrato se reduce a gas nitrógeno bajo presencia de carbono biodegradable orgánico, resultando como subproductos de esta reacción, nitrito y óxidos de nitrógeno (ecuación 3).



Factores que afectan al proceso: la aireación es uno de los principales parámetros a tener en cuenta durante la nitrificación con requisitos de $4,57 \text{ kg O}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ N}$. Los requisitos orgánicos durante la desnitrificación son de aproximadamente $6,0 \text{ kg Demanda Química de Oxígeno Kg}^{-1} \text{ NO}_3^- \text{ -N}$. Pretratamientos como la separación y la digestión anaeróbica pueden limitar la disponibilidad de carbono orgánico biodegradable durante la desnitrificación. La temperatura del proceso afectará al desarrollo del proceso (T^a óptima: $35 \text{ }^\circ\text{C}$).

Para optimizar el proceso se puede optar por un nitrito de cadena corta, lo que resulta en un ahorro de 25% de aireación y un 40% de carbono orgánico.

APLICABILIDAD

No aplicable en instalaciones/granjas nuevas por los costes y posibles efectos ambientales adversos. Aplicable a instalaciones existentes cuando sea necesaria la eliminación de nitrógeno por la limitación de tierras para la aplicación del purín..

Muy importante llevar un control adecuado de todo el proceso, especialmente en zonas de inviernos muy fríos, en las cuales, es esencial el mantener la temperatura mínima del sistema por encima de una nivel para no inhibir la actividad biológica de los microorganismos responsables del proceso.

No aplicable en purines o substratos líquidos con un contenido de materia seca por encima del 6%.

LIMITACIONES

Los costes de inversión (equipos) y aplicación (elevado consumo eléctrico en el proceso de aireación) son factores limitantes de la técnica.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Si se comprara esta técnica con el tratamiento de almacenamiento sin aireación (basado en 6 meses de almacenamiento, antes de esparcirse en campo) se reducen las emisiones de gases invernadero (metano y óxido nitroso) y amoníaco (NH_3) (Loyon et al., 2007).

Puede existir riesgo de emisión de N_2O si el proceso no se gestiona bien (Martínez et al., 2009).

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

No se han descrito.

Otros efectos

- Disminuye la materia orgánica biodegradable, por lo que la calidad del producto resultante es menor.
- La eliminación de nitrógeno puede mejorar la capacidad de gestión del estiércol. Interesante en zonas con excedentes de nitrógeno.
- En comparación con los sistemas de tratamiento anaeróbico produce una mayor cantidad de lodo.
- Disminuye el olor.

EFFECTOS ASOCIADOS

Efectos asociados

- Alteraciones de las deyecciones
- Elimina materia orgánica

Consumo energético

En el caso de purines líquidos, los valores usuales están en el intervalo de 10-20 kWh/m³. El valor final dependerá de la composición del residuo a tratar, la eficiencia en la transferencia de oxígeno del equipo de aireación, las condiciones variables que intervienen en el proceso (temperatura, población bacteriana, etc).

Aditivos o tecnología necesaria

4,57 kg O_2 / kg N para oxidar amonio a nitrato ($\text{NH}_4^+ \Rightarrow \text{NO}_3^-$)

3,43 kg O_2 / kg N para oxidar amonio a nitrito ($\text{NH}_4^+ \Rightarrow \text{NO}_2^-$)

Requisitos orgánicos durante la desnitrificación son aproximadamente de 6,0 kg COD-purín/kg NO_3^- -N ($\text{NO}_3^- \Rightarrow \text{N}_2$) y de 3,5 kg COD-purín/ kg NO_2^- -N ($\text{NO}_2^- \Rightarrow \text{N}_2$)

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

Las eficiencias máximas en eliminación de nitrógeno que se pueden alcanzar se encuentran en torno al 70% (el resto de nitrógeno se separará en la fracción sólida, asimilado por el lodo biológico, o permanecerá en el efluente líquido). Si se evalúa la eficiencia en la fracción líquida exclusivamente, se puede alcanzar un 90%.

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

240.000-300.000 € (planta de tratamiento de 15.000 m³ purín de porcino/año).

700.000-1.200.000 € (planta de tratamiento de 50.000 m³ purín de porcino/año).

COSTES DE APLICACIÓN

Dependen de la composición del estiércol a tratar.

1,5-3,0 €/tonelada considerando exclusivamente tratamiento de eliminación de N.

2,5-5,2 €/tonelada considerando previa separación S/L y tratamiento posterior de la fracción sólida por compostaje.

8. TRATAMIENTO DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA

8.3

NITRIFICACIÓN PARCIAL - DESNITRIFICACIÓN AUTOTRÓFICA, ANAMMOX



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Conversión biológica de amonio en gas nitrógeno (N_2) empleado un avanzado tratamiento autotrófico ⁽¹⁾ de eliminación de nitrógeno, combinando la nitrificación parcial (NP) bajo aireación y la desnitrificación por oxidación anaerobia de amonio (*Anammox*).

⁽¹⁾ Bacterias autótrofas: como fuente de carbono para su crecimiento utilizan una fuente inorgánica, como puede ser el CO_2 o el bicarbonato.

DIAGRAMA

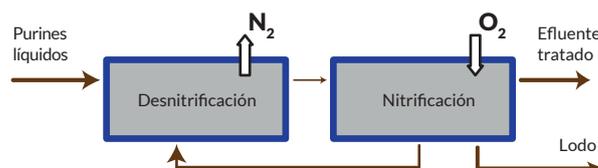
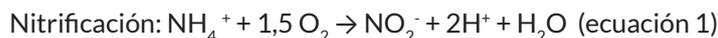


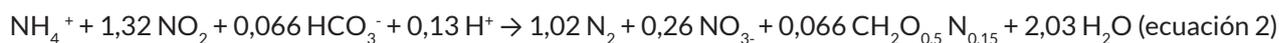
Diagrama 1: La NDN y la nitrificación parcial –desnitrificación autotrófica siguen el mismo diagrama de flujo.

FUNDAMENTO

Durante la nitrificación parcial, el amonio se oxida aeróbicamente a nitrito (NO_2^-) por las bacterias oxidantes de amonio (ecuación 1).



De acuerdo a las necesidades de *Anammox*, sólo el 57% de NH_4^+-N será oxidado a $NO_2^- - N$ ($1,32 \text{ g } NO_2^- - N \text{ g}^{-1} NH_4^+-N$ (ecuación 2). Posteriormente, la oxidación anaerobia de amonio resulta de la combinación de amonio y el nitrito para formar gas nitrógeno.



La digestión anaerobia previa del purín disminuirá el contenido de materia orgánica biodegradable, que es favorable para el proceso y reduce la coexistencia de la desnitrificación heterótrofa. La temperatura afectará a la cinética del proceso (óptima: $35^\circ C$).

APLICABILIDAD

Altamente compleja y todavía en fase de investigación en laboratorio. Los requerimientos teóricos para la aireación durante la nitrificación son un 60% menor que la nitrificación completa. No aplicable desde el punto de vista comercial.

LIMITACIONES

Bajos índices de crecimiento de bacterias *Anammox* pueden implicar largos tiempos para la puesta en marcha de los reactores.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Si se compara esta técnica con el tratamiento de almacenamiento sin aireación (basado en 6 meses de almacenamiento, antes de esparcirse en campo) se reducen las emisiones de gases invernadero (metano y óxido nitroso) y amoníaco (NH_3).

La reacción *Anammox* se supone que no está relacionada con las emisiones de NO_x puesto que tal intermediario de la desnitrificación heterótrofa no se produce durante la oxidación anaeróbica del amonio. Para asegurarlo, la nitrificación parcial (escenario aeróbico) debe ser controlada de forma adecuada.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

No se han descrito.

Otros efectos

- Disminución de la materia orgánica biodegradable, lo que disminuye la calidad del producto final.
- Eliminación de amonio en forma de gas nitrógeno, mejorar la capacidad de gestión del estiércol. Interesante en zonas con excedentes de nitrógeno.
- Produce una menor cantidad de lodo en comparación con en los sistemas de nitrificación-desnitrificación convencionales.

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Elimina materia orgánica

Consumo energético

Los requerimientos energéticos se estiman aprox. 4 - 6 kwh/m³ de purín tratado. El consumo de energía final dependerá de la composición del purín a tratar, la eficiencia en la transferencia de oxígeno durante la nitrificación parcial, etc.

Aditivos o tecnología necesaria

3,43 kg O_2 / kg⁻¹ N para oxidar amonio a nitrito ($\text{NH}_4^+ \Rightarrow \text{NO}_2^-$) (sólo el 57% del total de amonio necesita ser oxidado a nitrito).

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

Las eficiencias de eliminación de nitrógeno pueden alcanzar valores de hasta el 90%. Debido a la menor producción de lodos, la fracción de nitrógeno asimilado por la biomasa es mucho menor que en los sistemas de nitrificación-desnitrificación convencionales.

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

No hay datos

COSTES DE APLICACIÓN

Ahorros significativos en la aireación durante la nitrificación. Costes previstos de 0,7 - 1,5 €/t considerando exclusivamente el tratamiento de eliminación de nitrógeno.

8. TRATAMIENTO DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA

8.4

CONSTRUCCIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Los humedales artificiales están considerados como tratamiento efectivo para la eliminación de ciertos contaminantes en aguas residuales o en purín. Son sistemas de bajo coste, con una alta integración medioambiental y mayor resistencia a las variaciones de carga que los sistemas convencionales.



DIAGRAMA

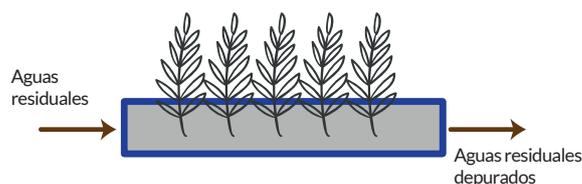


Imagen 1: los humedales artificiales son sistemas de bajo coste y con una elevada integración medioambiental.

FUNDAMENTO

Los humedales artificiales consisten en un mono o policultivo de plantas macrófitas dispuestas en lagunas, tanques o bien canales poco profundos e impermeabilizados. Estas áreas se encuentran inundadas por purín manteniendo las condiciones de saturación. Debido a la variabilidad que presenta el purín en cuanto a su composición, es necesario realizar una analítica previa al tratamiento con humedales artificiales.

De esta forma se conoce la eficiencia de depuración del sistema y el valor agronómico del efluente depurado, que puede ser empleado como fertilizante orgánico. Así, se podrá calcular la dosis de aplicación ajustada al tipo de cultivo y a las características del suelo y del agua de riego.

APLICABILIDAD

Es generalmente aplicable en explotaciones, tanto a título individual como colectivo, que dispongan de un separador de fases para eliminar la fracción sólida y superficie para ubicar las celdas o unidades de depuración del humedal artificial. El número y tamaño de las celdas dependerá del volumen de purín producido en la explotación.

Muy importante cuidar las medidas de bioseguridad a la hora de almacenar de forma separa la fracción líquida tanto antes como después del tratamiento.

LIMITACIONES

Para la depuración de purín se recomienda el funcionamiento por lotes y no en continuo, ajustando el tiempo de retención hidráulica o permanencia del purín en las celdas del humedal. Esto requiere un sistema de almacenamiento, compuesto por balsas impermeabilizadas donde continúa el proceso de depuración y en las que se almacena el efluente hasta su aplicación en superficies agrícolas.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Las emisiones de amoníaco y otros gases son variables según el tipo de purín a tratar. El purín depurado reduce la volatilización y la rápida emisión del amoníaco hasta un 50%, frente al purín sin tratar, en las balsas de almacenamiento. Se recomienda utilizar las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) para minimizar la emisión de gases durante su aplicación agronómica.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

El empleo de purín depurado en humedales frente al purín bruto reduce considerablemente el contenido de nitrógeno (en forma amoniacal y nitratos) que se aporta al suelo. Puede sustituir y/o complementar al fertilizante mineral siempre y cuando se emplee de forma agronómicamente correcta.

La disminución de contaminantes potenciales en el purín depurado con humedales, permite la aplicación en suelo agrícola de mayores volúmenes frente al purín sin tratar, facilitando su gestión.

Otros efectos

Aporte de agua y oligoelementos al suelo.

Reduce los impactos ambientales como calentamiento global, acidificación, eutrofización y olores.

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Consumo energético

Funcionamiento del separador de fases, bombas de succión y combustible para el transporte y aplicación agronómica.

Aditivos o tecnología necesaria

Filtros y cabezales adaptados en el caso de utilizar riego localizado para su aplicación.

Riesgos ambientales asociados a un manejo inadecuado

- Emisión de amoníaco (NH_3) y gases de efecto invernadero (GEI): CO_2 , metano (CH_4) y óxidos de nitrógeno (N_2O y NO) en el sistema de depuración.
- Reducción de la eficiencia de depuración, decaimiento de macrófitas y microorganismos en el sustrato del humedal.
- Riesgos asociados a la valorización agronómica del purín.

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

Posibilidad de obtener una DBO_5 (Demanda biológica de oxígeno en 5 días) $< 30\text{mg L}^{-1}$, TSS (total sólidos en suspensión) $< 30\text{mg L}^{-1}$ y $\text{NH}_3 + \text{NH}_4 + \text{N} < 10\text{mg L}^{-1}$ y una tasa de eliminación de fósforo de $23\text{ mg de fósforo m}^{-2}\text{ día}^{-1}$ (Cronk., 1996; DeBusk et al., 1955).

COSTES ASOCIADOS A LA TÉCNICA

Depuración con humedal artificial	Coste (€/m ³)
Tiempo de retención hidráulica = 7 días	1.74*
Tiempo de retención hidráulica = 3 días	1.00*

* Incluye costes de construcción, funcionamiento del separador de fases y amortización. Los costes de aplicación serían los descritos para la valorización agronómica del purín sin tratar.



9. LIMPIEZA DEL AIRE

9. LIMPIEZA DEL AIRE

9.1

LAVADO DEL AIRE



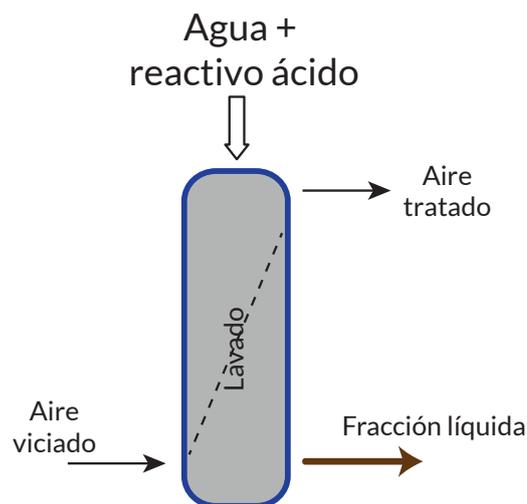
DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Reducción o recuperación de partículas y contaminantes de las corrientes de aire por medio del lavado con un reactivo líquido. Su principal objetivo es el control de las emisiones de gases, a partir de purines previamente tratados o no: principalmente amoníaco (NH_3), azufre (H_2S) y olores (compuestos orgánicos volátiles, COVs) debidos al lavado con reactivo ácido.



Imagen 1: grupo de ventiladores de una torre de lavado de aire.

DIAGRAMA



FUNDAMENTO

Una torre de lavado de aire está compuesta por un reactor con unos paneles internos de gran porosidad y un amplio volumen en su interior para el proceso, el cual consiste en pulverizar agua en la parte superior, introduciendo el aire a tratar por la parte inferior horizontalmente (corriente cruzada) o hacia arriba (contracorriente), atravesando los paneles porosos empapados de agua y saliendo por arriba pasando por un separador de gotas antes de ser extraído por un grupo de ventiladores. Una fracción del agua de lavado se recircula de forma permanente sin filtración, mientras que otra se descarga y sustituye con agua limpia. El nivel de agua se reajusta permanentemente para compensar las pérdidas por evaporación.

Este proceso está influenciado por el pH, la temperatura y un correcto sistema de descarga de agua. Para mejorar la eficiencia del proceso, se añade un reactivo ácido (ácido sulfúrico, principalmente) en la corriente de recirculación de agua.

La eficiencia en la eliminación de olores por un lavado ácido es el resultado de la disolución de los compuestos olorosos en el agua y el índice de descarga del mismo, por lo que la solubilidad en agua de los COVs es un factor limitante (Melse y Ogink, 2005).

APLICABILIDAD

No es utilizable de forma general por su elevado coste. Solamente será aplicable en granjas nuevas cuando exista un sistema de ventilación centralizado.

LIMITACIONES

La acumulación de polvo en los filtros de aire puede causar obstrucciones y en consecuencia, disminución en la eficiencia. Es necesario realizar una limpieza regular. Si el sistema de ventilación no está centralizado o existe ventilación natural, resulta imposible su implantación.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Reducción de emisión de partículas y olores.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

El nitrógeno se puede recuperar en forma de sal de amonio (principalmente sulfato), éstas se venden a las empresas productoras de fertilizantes.

Otros efectos

- Se necesitan productos químicos potencialmente peligrosos o nocivos, tales como H_2SO_4 .
- La fracción líquida resultante se debe desechar de manera segura si contiene sustancias que no puedan ser reutilizadas.

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

No aplica.

Consumo energético

Necesario en la ventilación centralizada del proceso. Se estima un consumo de 50kWh/plaza/año para granjas de porcino (Vrieling et al., 1997).

Aditivos o tecnología necesaria

H_2SO_4 para mantener un pH <4. Este ácido normalmente se añade al agua de recirculación (3,0 – 3,5 l. H_2SO_4 /plaza de porcino).

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

Eficiencias de recuperación de hasta el 95% de NH_3 y un 29% en la eliminación de olores en el lavado del aire con ácido en granjas de cría de porcino (Melse y Ogink, 2005).

COSTES ASOCIADOS A LA TÉCNICA

1,17 €/plaza broiler y 37,96 €/cerdo crecimiento-cebadero (Melse y Ogink, 2005).

COSTES DE APLICACIÓN

0,42 €/plaza broiler/ año y 13,39 €/cerdo crecimiento-cebadero /año (Melse y Ogink, 2005).



10. TÉCNICAS EMERGENTES

10. TÉCNICAS EMERGENTES

10.1

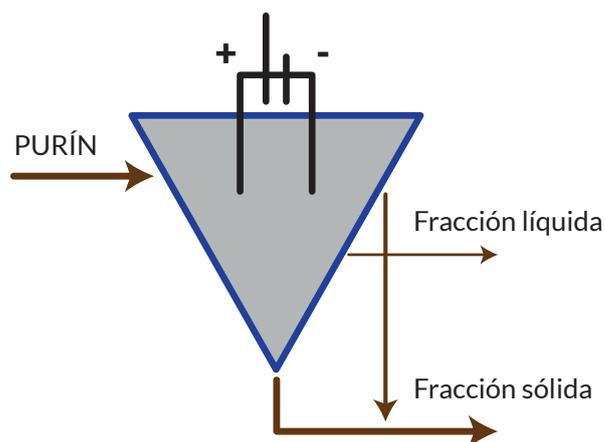
ELECTROCOAGULACIÓN



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

El objetivo de esta técnica es desestabilizar las partículas suspendidas, emulsionadas o disueltas en el purín mediante la aplicación de una corriente eléctrica, favoreciendo la agregación de partículas coloidales, de forma similar a la que originan los reactivos químicos descritos en la técnica de coagulación-floculación.

DIAGRAMA



FUNDAMENTO

Técnica emergente, perteneciente al grupo de Separación de fases sólido-líquido. Un reactor de electrocoagulación está constituido por una serie de placas de hierro que trabajan como “electrodos de castigo” a través de los que fluye el purín a tratar. La corriente eléctrica suministrada fuerza la solubilización del hierro en la suspensión, que actúa como agente coagulante in situ. Como resultado de la separación de la materia orgánica, se obtiene una fase sólida y una fase líquida que es sometida a la acción de un agente floculante, que ocasionará un aumento en el tamaño de los flóculos. Posteriormente, estos flóculos podrán ser eliminados de la fase líquida mediante el uso de algún dispositivo de separación, por ejemplo un filtro banda (tela rodante que retiene los flóculos gruesos y los prensa en la misma tela).

APLICABILIDAD

Aplicable a residuo íntegro o a purines líquidos. Su principal ventaja es la mayor eficiencia que presentan los agentes coagulantes y floculantes generados in situ, frente a la eficiencia de los productos químicos añadidos en la coagulación clásica. Además de emplear equipos sencillos y de fácil manejo, menor coste, posible automatización y menor generación de sales y residuos. Purifica el agua y permite su reciclaje.

LIMITACIONES

Es necesario reponer los electrodos de castigo. El óxido formado en el ánodo puede, en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Una elevada exposición de los purines a la atmósfera puede ocasionar riesgo de emisión de gases y problemas de olores, por lo que será necesario tratar o reducir tales emisiones.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

Las fracciones sólidas se pueden trasladar a zonas con baja densidad de ganado, lo que reduce los problemas derivados del exceso de nutrientes del campo de origen.

Otros efectos

Especial atención con el efecto de enriquecimiento de hierro en aquellos campos de cultivo sensibles donde se traslada la fracción sólida.

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

- Fracción sólida: puede utilizarse como abono fertilizante
- Fracción líquida: apta para riego ya que contiene su fertilizante natural incluido. El agua clarificada que no se utilice para riego será llevada a un depósito para su mejor tratamiento en una fase posterior.

Consumo energético

Consumo de 20- 22 kWh/m³ de fracción líquida, por ejemplo, de purín de porcino con un 1,1 – 1,3% de sólidos totales.

Aditivos o tecnología necesaria

Posibilidad de floculantes químicos cuando se estime necesario.

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

En combinación con un filtro banda, se obtiene:

	Concentración en purín (mg/l)	Concentración en efluente residual (mg/l)	% de extracción
Sólidos totales suspendidos	20.000 - 30.000	100-200	> 99
Nitrógeno total	2.000 - 3.000	600 - 800	> 60
Fósforo total	200-350	<2	>99

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

El principal cargo es el coste de los electrodos.

COSTES DE APLICACIÓN

Los derivados del consumo de energía eléctrica y el remplazo de electrodos, menores comparativamente con los de procesos convencionales que emplean polímeros.

10. TÉCNICAS EMERGENTES

10.2

PIRÓLISIS

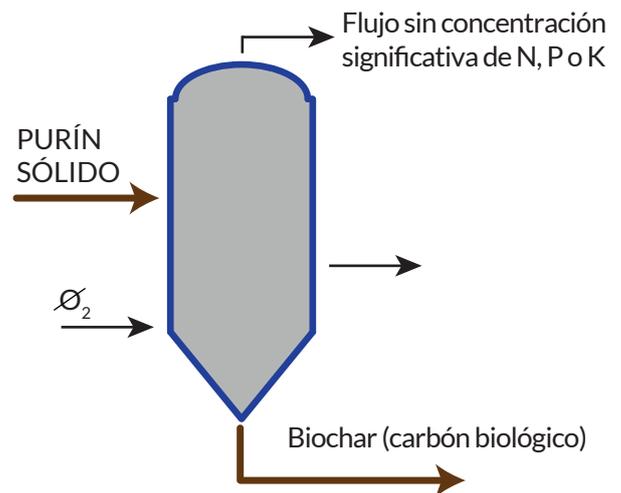


DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Descomposición termoquímica de la materia orgánica a alta temperatura ($> 450^{\circ}\text{C}$) en ausencia de oxígeno, y, por lo general, bajo presión; con el objetivo de producir combustibles alternativos de alta energía tales como: gas combustible (“gas de síntesis” o “syngas”), hidrocarburos condensables de cadena larga (“aceite de pirólisis”) y un residuo carbonoso con excelentes propiedades como fertilizante (“biochar”, “biocarbón” o “carbón biológico”).

Técnica Emergente de procesamiento de deyecciones perteneciente al grupo de “tratamientos de la fracción sólida”.

DIAGRAMA



FUNDAMENTO

La pirolisis es un proceso endotérmico, para el cual, se proponen tres metodologías básicas para el aporte de calor al sistema: combustión parcial; transferencia directa o indirecta de calor; recirculación de sólidos. Los tipos de reactor de pirolisis utilizados con más frecuencia son el de lecho fijo y lecho “fluidizado”.

Los productos resultantes de la pirolisis (gas de síntesis, aceite de pirolisis y “biochar”) varían en función la composición del estiércol a tratar, del diseño del reactor pirolítico y de los parámetros fundamentales del proceso (temperatura, tasa de calentamiento, y tiempo de retención del sustrato en el reactor). En los procesos de pirolisis lenta, con bajas temperaturas en el reactor y elevados tiempos de retención, se favorece la producción de “biochar”. Sin embargo, en la pirolisis rápida, con altas temperaturas y tiempos de retención más cortos, el producto mayoritario resultante es el aceite de pirolisis.

El “biochar” que se produce es un compuesto sólido y estable, con un alto contenido de carbono (30-52% db) y cenizas (36-53% db), y con una tasa de recuperación de carbono del 48-56%. Retiene en torno al 50% de la energía del sustrato inicial, con un elevado poder calorífico de entre 14- 25 MJ/m³. Entre sus usos, destacan los de producción de carbón activado, aprovechamiento como combustible alternativo a los combustibles fósiles y como fertilizante (contiene mayor concentración en P y K que el sustrato inicial).

El gas de síntesis producido es una mezcla de CO₂, CO, CH₄ y H₂, así como gases que contienen azufre. Su poder calorífico varía de 15 a 30 MJ/m³ y retiene alrededor de 25% de la energía contenida en el sustrato inicial.

El aceite de pirolisis presenta relativamente un alto contenido de nitrógeno, pero de muy bajo contenido de azufre y alta viscosidad. Su poder calorífico está en torno a 22 y 30 MJ/ m³.

Para la producción de “biochar” a partir de estiércol de porcino es necesario un elevado aporte de energía. Por ejemplo, para producir 1 kg de “biochar” a partir de purín de porcino (97% humedad) se necesitan aproximadamente 232 KJ/kg (Ro et al., 2010). Por ello, con el objeto de reducir el aporte energético, se recomienda un tratamiento de deshidratación previo del purín.

APLICABILIDAD

Aplicable a purines sólidos y a material procedente de la cama de los animales en porcino, bovino y avicultura.

LIMITACIONES

Hoy en día, debido a su alta complejidad, no existe ninguna planta de pirólisis a gran escala, aunque su uso óptimo se prevé para plantas de gran tamaño y capacidad de procesamiento. No obstante, algunos autores estiman que esta técnica podría ser aplicable a nivel de granja si se construyen pequeñas plantas “modulares” a un coste moderado en las que se puedan aprovechar los productos resultantes como combustible para la propia granja.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Riesgo potencial de las emisiones (por ejemplo: NO_x, SO_x, H₂S, HCl, dioxinas, etc.), pero menores índices que en el tratamiento de combustión.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

El fósforo y el potasio contenidos en el “biochar” pueden ser aprovechados para la fertilización de suelos agrícolas (excelente para potenciar suelos ácidos).

Otros efectos

- El “biochar” almacena más de 3 veces su peso en CO₂, procedente de la atmósfera, contribuyendo a la reducción neta de los gases de efecto invernadero.
- Higienización y destrucción de patógenos. Presencia de elementos de interés farmacéutico.
- Alta reducción del volumen del estiércol tratado.
- Producción de un gas limpio (gas de síntesis) y el aceite de síntesis que se pueden utilizar como combustibles. Estos subproductos se venden comercialmente.

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Descomposición termoquímica de la materia orgánica. Producción de gas de síntesis, aceite de pirólisis y “biochar”.

Consumo energético

Este proceso requiere un importante aporte energético para el secado del sustrato inicial así como para aumentar y mantener la temperatura. Es posible aprovechar el gas de síntesis como combustible, aunque no siempre es suficiente para ejecutar el proceso.

Dependiendo de la composición del estiércol inicial, los requerimientos energéticos para desarrollar esta técnica pueden variar de forma muy considerable (Ro et al. 2010).

Aditivos o tecnología necesaria

No se han descrito aditivos

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

Rendimiento de los productos (%):

Aceite de pirólisis: 37 – 50%

“Biochar”: 27 – 40%

Gas de síntesis: 14 – 24%

Estos productos se pueden comercializar.

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

Coste para una instalación avícola bajo tratamiento de pirólisis para la producción de carbón activo (Lima et al. 2008):

Capacidad de la planta (t/día)	20
Coste del equipo	1.605.148,80 €
Instalación	3.209.393,80 €
Coste total de la planta	4.814.542,60 €

COSTES DE APLICACIÓN

Coste de la operación:	1.445.176,20 €/año
Tasa de producción:	1.108.356 kg. Carbono activo/año
Coste de unidad de producción:	1,30 €/kg. Carbono activo

10. TÉCNICAS EMERGENTES

10.3

ELECTRO-OXIDACIÓN



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

El objetivo es producir la oxidación de los componentes del purín, tales como, materia orgánica y metales, en el ánodo de un reactor electro-químico por acción de una corriente eléctrica externa (electrólisis).



DIAGRAMA

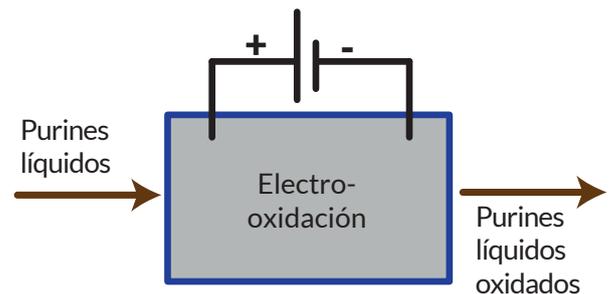


Imagen 1: tratamiento por oxidación de los componentes de la fracción líquida del purín, que lleva implícito un alto consumo de energía .

FUNDAMENTO

Técnica emergente de procesamiento de purines perteneciente al grupo de “tratamientos de la fracción líquida”. Esta técnica permite la eliminación de compuestos contaminantes orgánicos de carácter tóxico presentes en las aguas residuales tratadas a través de un proceso de oxidación anódica directa o por una oxidación anódica indirecta mediante la producción de oxidantes tales como radicales hidroxilo (OH^\cdot) y cloro (Cl^\cdot). No siempre es necesario la adición de reactivos para la puesta en marcha del proceso y, en consecuencia, no se producen contaminantes secundarios.

Algunos de los reactivos químicos típicos son: $\text{H}_2\text{O} / \text{OH}^\cdot$ (radical hidroxilo), O_2 / O_3 (ozono), $\text{SO}_4^{2-} / \text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ (peroxi-disulfato), $\text{Cl}^\cdot / \text{ClO}_2^\cdot$ (dióxido de cloro), $\text{Cl}^\cdot / \text{Cl}_2$ (cloro), $\text{Cr}^{3+} / \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (dicromato) o $\text{H}_2\text{O} / \text{O}_2$ (oxígeno) (Chen, 2004):

- Procesos electro-oxidación directos: consiste en una oxidación directa de los contaminantes del purín en los ánodos generando “oxígeno activo” que es adsorbido físicamente en la superficie del ánodo (radicales hidroxilo OH^\cdot adsorbidos en la superficie del ánodo). Este proceso no requiere la adición de gran cantidad de reactivos químicos al purín, por lo que no existe riesgo de contaminación secundaria.
- Procesos electro-oxidación indirectos: la oxidación no ocurre en la superficie del ánodo. En estos casos, en el ánodo se generan especies oxidantes como peróxido de hidrógeno, ozono o cloro, proveniente de la oxidación de los cloruros presentes en el agua, que son liberados al agua y son éstos los que realmente oxidan a la materia orgánica presente en el sustrato. En estos procesos es típico el uso de cloro e hipoclorito generados en el ánodo, sales de hierro (bien por aplicación directa o por formación de éstas in situ a partir de la disolución de un ánodo de hierro al que se le somete a una reacción “*electro-Fenton*”^{*}), o la utilización de iones, habitualmente denominados como “*catalizadores*”, los cuales se oxidan, pasando de un estado estable de baja valencia, a un estado “reactivo” de alta valencia (Ag^{2+} , Co^{3+} , Fe^{3+} , Ce^{4+} y Ni^{2+}).

El objetivo de la electro-oxidación es la degradación de sustancias contaminantes, como los fenoles, sin añadir reactivos o aditivos adicionales. Este tratamiento se aplica después de la eliminación de materia orgánica presente en estado coloidal (en un tratamiento previo), dado que esta podría interferir en la eficiencia del proceso.

(*) Fenton es un proceso que oxida los contaminantes por medio del reactivo Fenton (solución de peróxido de hidrógeno y catalizador de hierro). En este proceso (electro-Fenton) se produce peróxido de hidrógeno fruto de la reducción electroquímica de oxígeno

APLICABILIDAD

Técnica emergente. Se aplica a los productos resultantes de otras técnicas, por ejemplo, a partir del sustrato líquido resultante de la combinación de las técnicas de separación por prensa de tornillo y electrocoagulación.

LIMITACIONES

Las propias que ocasionan que se deba utilizar en combinación con otras técnicas (coste, equipos, superficies, etc.). Elevado consumo de energía (densidad de corriente $>150 \text{ mA/cm}^2$). Tecnología compleja.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Riesgo potencial de emisiones (NH_3) debido a la producción de compuestos orgánicos nitrogenados.

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

Posible formación de compuestos clorados orgánicos como productos intermedios o finales en el proceso (procesos de electro-oxidación indirecta) o contaminación secundaria por la utilización en el tratamiento de metales pesados como catalizadores (electro-oxidación con catalizadores).

Otros efectos

- Alta reducción de la DQO (Demanda Química de Oxígeno) y mineralización de N orgánico (conversión de N-NH_4^+ a N mineral).
- Alta reducción de materia orgánica contaminante (eliminación de fenol).
- La presencia de materia orgánica en estado coloidal puede ocasionar interferencias en el proceso de oxidación (se requiere una filtración previa).

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Tratamiento por oxidación de los componentes de la fracción líquida del purín (materia orgánica fundamentalmente).

Consumo energético

Alto consumo de energía (densidad de corriente $> 150 \text{ mA/cm}^2$ o el consumo de electricidad, kW/m^3).

25 kWh/kg de DQO de aguas residuales de almazara (Un et al., 2008).

Aditivos o tecnología necesaria

El efecto de oxidación a partir del cloro / hipoclorito producido durante la electrólisis requiere una alta concentración de cloruro (Cl^-), normalmente por encima de 3 g/l.

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

El MWW SL (www.minimalwastewater.com) mostró los siguientes resultados en ensayos de laboratorio para purines de porcino combinando electro-coagulación y la electro-oxidación:

- N_{total} , reducción de 6.200 a 22 mg/l (99,9%)
- N-NH_4^+ , reducción de 4.350 a 4 mg/l (99,9%)
- DQO, reducción de 12.300 a 86 (99,3%)

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

No hay datos disponibles

COSTES DE APLICACIÓN

- De 0,22 a 1,12 €/kg DQO (demanda química de oxígeno) en aguas residuales de almazara (Un et al., 2008).
- El MWW SL trabaja con valores de 1,9 €/m³ para purines de porcino (www.minimalwastewater.com).

10. TÉCNICAS EMERGENTES

10.4

PRECIPITACIÓN DE ESTRUVITA (FOSFATO DE AMONIO-MAGNESIO)



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Recuperación de nitrógeno y fósforo del purín/lodos líquidos en forma de sal amorfa de nitrofosfato de magnesio llamada estruvita ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).



DIAGRAMA

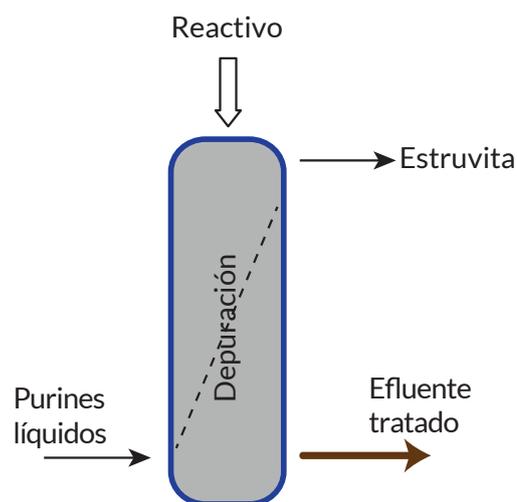


Imagen 1: laboratorio de ensayos de precipitación de estruvita.

FUNDAMENTO

Técnica de procesamiento de purines perteneciente al grupo de “tratamientos de la fracción líquida” y cuyo objetivo es recuperar el N y el P del purín en forma de una sal amorfa de magnesio-nitrógeno-fosfato denominada estruvita ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), que se encuentra de forma natural en el guano. La precipitación de estruvita es forzada por adición del ión Mg^{2+} , por ejemplo en la forma de $\text{Mg}(\text{OH})_2$ o $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, cuando la concentración de $\text{Mg}^{2+}/\text{NH}_4^+$ y PO_4^{3-} excede el producto de solubilidad. A menudo será necesario ajustar el pH para forzar el proceso (pH óptimo > 9).

Los principales parámetros que afectan la eficiencia del proceso son:

- pH
- El diseño del reactor: agitación, propiedades de sedimentación y la temperatura del proceso. La mayoría de esos parámetros afectan el tamaño de los cristales formados o el proceso de nucleación.
- La presencia de cationes (Ca^{2+} competitivos con posible formación de otras sales como: hidroxiapatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$, Monenita (CaHPO_4) o Brushita ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)).
- La presencia de materia orgánica (que afecta a la pureza de la sal obtenida).

APLICABILIDAD

Técnica emergente, aplicable a purines líquidos y en combinación con otras técnicas. Los cristales de estruvita tienen un elevado valor como fertilizantes de liberación lenta y dependiendo de la concentración de nutrientes puede representar ingresos cuantificables para la explotación (por ejemplo, 200 €/tonelada).

LIMITACIONES

La principal limitación es la concentración de fósforo en purín/lodos líquidos.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Riesgo de volatilización de amoníaco en los reactores sometidos a elevada agitación, o cuando se introduce aireación para aumentar el pH (extracción de CO_2).

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

No se han descrito.

Otros efectos

Los cristales de estruvita pueden ser retirados del estiércol como un producto seco y aplicados o utilizados de otra manera:

- Utilización directa como fertilizante de liberación lenta de nutrientes.
- Tal concentración de nutrientes mejora la capacidad de gestión del producto resultante, ya que puede ser transportado como un fertilizante estable. Interesante en zonas con excedentes de nitrógeno.

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Transforma componentes del purín líquido en sales de estruvita.

Consumo energético

Bajo consumo, sólo en la operación de agitación. Para una instalación capaz de tratar 10 m^3 de purín/día, el coste del consumo de energía eléctrica puede estimarse en 500-1.000 €/año.

Aditivos o tecnología necesaria

MgOH o de $\text{MgCl } 6\text{H}_2\text{O}$ que se necesita en concentración molar 1: 1: 1 (Mg^{2+} : NH_4^+ : PO_4^{3-}). Para purines animales el contenido de Mg de esta relación necesita ser incrementado por un factor de 6 y fósforo en un factor de 3-4, en comparación con el purín sin tratar (Burton y Turner, 2003).

Algunos autores utilizan sales con bajo contenido en óxido de magnesio, recuperadas de la calcinación de magnesita natural (MgCO_3) desde la producción de óxido de magnesio (MgO), reduciendo el coste en reactivos (Chimenos et al., 2010).

NaOH u otro reactivo básico para aumentar el pH si es necesario (hasta 9).

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

Con la equivalencia molar N/P, se pueden obtener altas eficiencias en la eliminación N/P si la concentración inicial (también de magnesio) es correcta para una reacción completa (> 95%).

Tiempo de reacción bajo (pocas horas).

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

Reactor de precipitación: 0,40 €/m³ (libras en 2002). Ingeniería del Agua Thames (Jaffer et al., 2002) y EDAR.

Reactor de cristalización: 4,85-7,25 €/m³ y reactor de cristalización "simplificado": 2,41-3,62 €/m³, de la planta piloto de purines porcinos (Suzuki, K., 2011).

COSTES DE APLICACIÓN

Una estimación del coste de los reactivos puede ser:

- MgO (precio 0,6 €/kg) / H_3PO_4 75% (precio 0,8 €/l.) / NaOH 30% (precio 0,2 €/l.).
- > 1 €/m³ si se utilizan subproductos MgO (Chimenos et al., 2010).
- Los productos químicos necesarios para la precipitación: 6 €/kg de $\text{NH}_4^+ -\text{N}$ o 48€/m³ (si el estiércol tiene 8 kg N/m³) de acuerdo con Burton y Turner (2003).

10. TÉCNICAS EMERGENTES

10.5

PRECIPITACIÓN DE FOSFATO CÁLCICO



DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

Recuperación de compuestos fosfóricos con *lime-milk* (cal viva, CaO) por medio de la precipitación (sales de fosfato de calcio, apatitas).



DIAGRAMA

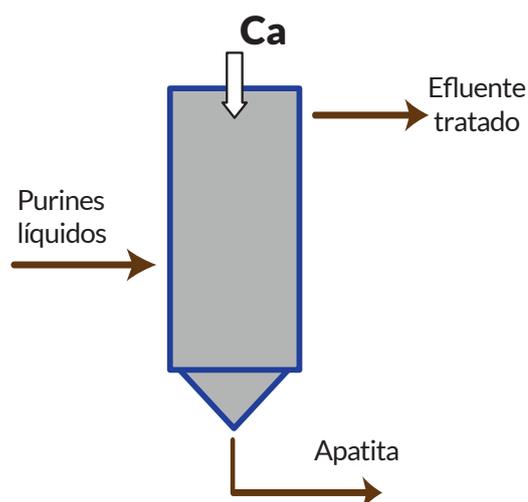


Imagen 1: ilustración de una unidad de precipitación de fosfato cálcico (apatita)

FUNDAMENTO

Técnica de procesamiento de purines perteneciente al grupo de “tratamientos de la fracción líquida”. La formación de apatita conlleva la cristalización del fósforo en forma de hidroxapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$). La precipitación de apatita se fuerza mediante la adición de cal viva (CaO). A menudo será necesario ajustar el pH para forzar el proceso (pH óptimo > 9).

Los parámetros principales que afectan a la eficiencia del proceso son:

- pH
- Diseño del reactor: agitación, propiedades de sedimentación y la temperatura del proceso. La mayoría de esos parámetros afectan el tamaño de los cristales formados o el proceso de nucleación.
- La presencia de cationes competitivos (Mg^{2+} , con posibilidad de formación de estruvita).
- La presencia de materia orgánica (afecta a la pureza de la sal obtenida).
- Los índices cinéticos de formación de apatita son menores que para estruvita, y también se considera como un subproducto la formación de estruvita, en presencia de iones Ca^{2+} .

APLICABILIDAD

Técnica emergente aplicable a purines líquidos y en combinación con otras técnicas. Un proceso anterior de degradación de la materia orgánica podría aumentar la pureza de la apatita.

LIMITACIONES

Poco implantada en España.

EFFECTOS MEDIOAMBIENTALES

Efectos sobre la atmósfera (emisiones)

Riesgo de volatilización de amoníaco en los reactores sometidos a elevada agitación, o cuando se introduce aireación para aumentar el pH (extracción de CO_2).

Efectos sobre el agua/suelo (incluida la gestión)

No se han descrito.

Otros efectos

- Recuperación de nutrientes (P).
- Posibilidad de recuperación de N con la formación de sales $\text{CaNH}_4\text{PO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, y atrapamiento de amoníaco en flóculos de apatita (en función del pH y las condiciones de la operación).
- Concentración de nutrientes que puede mejorar la capacidad de gestión del producto resultante. La apatita precipita en forma de cristales que puede ser transportado como un fertilizante estable.

EFFECTOS ASOCIADOS

Alteraciones de las deyecciones

Transforma componentes del purín líquido en sales de fosfato cálcico, apatita.

Consumo energético

Bajo consumo, sólo en la operación de agitación.

Aditivos o tecnología necesaria

De 35-40 kg CaO/suspensión m^3 .

NaOH u otro reactivo básico para aumentar el pH si fuera necesario (hasta 9).

CONVERSIÓN DE COMPONENTES / EFICIENCIA

Alta eficiencia. La concentración de fósforo en el líquido aclarado puede ser inferior a 2 ppm.

COSTES DE IMPLANTACIÓN DE LA TÉCNICA

No hay datos disponibles.

COSTES DE APLICACIÓN

No hay datos disponibles.



ANEXOS

ANEXO I: COMBINACIÓN DE PROCESOS

Del conjunto de técnicas descritas en el apartado anterior, se han identificado posibles o interesantes combinaciones entre ellas, con el fin de mejorar la eficacia del proceso final, o simplemente hacerlo posible. Los principales beneficios de dichas combinaciones se centran en la mejora de las características del producto a tratar (menor volumen, mayor/menor concentración de materia orgánica, etc.), reducción de costes, recuperación de nutrientes, eliminación de nitrógeno, menor emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), etc.

TÉCNICA CONSIDERADA	TÉCNICAS DE SEPARACIÓN DE FASES	Técnica previa									
		Coagulación-floculación	Electrocoagulación	Separación por rejilla	Separación por prensa de tornillo	Separación por tamizado	Separación por filtro prensa	Separación por centrifugación	Separación por filtro de tambor	Separación por decantación natural	
TÉCNICAS DE SEPARACIÓN DE FASES											
Coagulación-floculación					1						
Electrocoagulación					1						
Separación por rejilla											
Separación por prensa de tornillo											
Separación por tamizado											
Separación por filtro prensa		1									
Separación por centrifugación		1			1						
Separación por filtro de tambor		1									
Separación por decantación natural											
ADITIVOS Y OTROS PRE-TRATAMIENTOS											
Acidificación del purín líquido											
Aplicación de otros aditivos al purín											
TRATAMIENTOS ANAERÓBICOS											
Digestión anaerobia mesofílica/termofílica											
TRATAMIENTOS DE LA FRACCIÓN SÓLIDA											
Compostaje					1		2				
Pirólisis											
TRATAMIENTOS DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA											
Electro-oxidación			2		1						
Digestión aeróbica (aireación)											
Nitrificación - desnitrificación		1					2				
Nitrificación parcial - desnitrificación autotrófica Anammox		2						3			
Precipitación de estruvita (fosfato de magnesio y amonio)									1,2		
Precipitación de fosfato cálcico (apatita)							1	2			
Construcción de humedales artificiales		1						2			

Las técnicas (a nivel individual o formando parte de algún tratamiento combinado) pueden clasificarse de acuerdo con los siguientes grupos:

I. TÉCNICAS DE SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO-LÍQUIDO

Algunas técnicas de este grupo se utilizan habitualmente como sistemas de protección de las instalaciones o tratamientos previos con el fin de evitar fenómenos de sedimentación u obstrucción durante el almacenamiento o acoplado a otros sistemas de separación más eficientes u otro tipo de técnicas.

Estas técnicas se pueden combinar para permitir una mejor gestión del purín, obtener una fracción sólida que posteriormente será comercializada, ser transportado a largas distancias, hacer compostaje con el purín in situ o ser tratado en una planta de compostaje centralizado.

II. EMPLEO DE ADITIVOS Y OTROS PRE-TRATAMIENTOS

El uso de aditivos generalmente es una técnica independiente, tal como la acidificación del purín para evitar las emisiones de amoníaco, o un proceso intermedio necesario para preparar el material a procesar por otras tecnologías (mejora la extracción de amoníaco o la precipitación de fosfatos). En el documento se mencionan únicamente los aditivos cuya eficacia está reconocida en el IRPP-BREF.

III. DIGESTIÓN ANAERÓBICA

La digestión anaeróbica se utiliza como técnica independiente o pre-tratamiento de otras técnicas; favoreciendo la eficiencia de aquellas que estén relacionadas con la recuperación de nutrientes o con la eliminación de nitrógeno.

No es habitual que se aplique como tratamiento final después de otros procesos. Sin embargo, algunas técnicas de separación de fases sólido/líquido se podrían aplicar previamente para concentrar la materia orgánica que posteriormente alimenta la digestión anaerobia, con el fin de aumentar la producción de biogás al tiempo que reduce el volumen del reactor.

IV. TRATAMIENTOS DE LA FRACCIÓN SÓLIDA

Habitualmente estas técnicas son aplicadas en las últimas fases de las estrategias combinadas de tratamientos de purines.

En el caso del compostaje, se puede combinar anteriormente con sistemas de separación de fases sólido/líquido, para la obtención de una fracción sólida, y con digestión anaerobia, aunque esto implicará una fuente de carbono más baja que la ideal para el desarrollo de un buen proceso de compostaje. Por ello, en estos casos, se debe considerar la adición de algún material vegetal (fuente de carbono) en diferentes proporciones con el objeto de que éste absorba el exceso de agua y se alcance en la mezcla una proporción C/N adecuada.

Los procesos termoquímicos, como la pirólisis, requieren siempre de un paso previo de secado.

V. TRATAMIENTOS DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA

La eliminación de nitrógeno por desnitrificación biológica combinada con la nitrificación se denomina nitrificación-desnitrificación (NDN), es un tratamiento de purines líquidos que requiere de materia orgánica. Por ello, es difícil combinarlo con la digestión anaeróbica u otras técnicas en las que se produzca oxidación de la materia orgánica. Sin embargo, la combinación con la digestión anaerobia podría ser posible si estuviese entrando en el proceso suficiente materia orgánica, como co-sustrato, mezclada con el purín, y ésta fuese desviada a la sección de desnitrificación.

El problema de la limitación de materia orgánica tanto para la digestión anaerobia como para la desnitrificación debería resolverse con la nueva técnica de nitrificación parcial - desnitrificación autotrófica Anammox, la cual requiere un efluente casi libre de materia orgánica. Pero esta técnica todavía se encuentra en fase de investigación en laboratorio-planta piloto.

La recuperación por precipitación de sales de fosfato (estruvitas, apatitas) requiere un aumento de pH por medio de un proceso previo anterior. Para evitar la interferencia de la materia orgánica y obtener un producto compuesto principalmente por los precipitados deseados, valiosos para la industria de fertilizantes, el sistema debe combinarse también con técnicas de eliminación de materia orgánica, tales como la digestión anaeróbica o la técnica NDN.

Por último, la construcción de humedales artificiales puede enfocarse más a ser un sistema de depuración terciaria. Sin embargo, se recomienda adoptar como etapas iniciales aquellos métodos que separan la materia orgánica y nutrientes, como la digestión anaeróbica o diferentes tipos de sistemas de separación de fases sólido/líquido.

VI. LIMPIEZA DEL AIRE

Estas técnicas de procesamiento no se incluyen en las estrategias de tratamientos de purines, ya que deberían ser un complemento necesario para cualquier planta, afectando positivamente a la contaminación del aire. En plantas a gran escala, donde la elevada concentración de materiales orgánicos puede ocasionar grandes emisiones a la atmósfera, debería ser habitual adoptar un sistema de limpieza de aire.

Un sistema de limpieza debería ser obligatorio combinarlo con procesos de secado térmico y conversión termoquímica a cualquier escala.

Técnicas como el lavado de aire con ácido, puede ayudar a recuperar el amoníaco, que posteriormente se aprovecha para la producción de fertilizantes. Sin embargo, es necesario contar con un sistema de ventilación centralizado.

VII. TÉCNICAS EMERGENTES

Los comentarios sobre estas técnicas y sus posibles combinaciones, se explican dentro del grupo de tratamientos al que pertenecen.

ESTRATEGIAS DE TRATAMIENTO

Las técnicas se clasifican y evalúan en función de su objetivo (la producción de energía, separación de fases, la recuperación de los nutrientes, la eliminación de nitrógeno, etc.), distinguiéndose entre los procesos que se pueden utilizar de forma individual (sólo se utiliza una única técnica) y los procesos (estrategias) complejas, que combinan diferentes procesos (técnicas) que se adaptan a los objetivos propuestos y las condiciones del entorno.

Las condiciones del entorno donde se aplican las técnicas establecen diferentes escenarios y problemática a resolver (exceso de nutrientes a nivel regional o local, densidad e intensidad de la agricultura y ganadería en la zona, etc.).

En el proceso de evaluación de cada una de las técnicas, hay que tener en cuenta el concepto de estrategia de tratamiento de las deyecciones en ganadería. Una estrategia de tratamiento es un proceso unitario (técnica individual) o una combinación de procesos unitarios que permiten alcanzar el cumplimiento de un determinado objetivo. Tal objetivo debe establecerse para cada granja individual o grupos de granjas de una región determinada (a nivel local) y estar basado en el balance de masa de nutrientes en la zona (exceso o déficit de nutrientes en la región), teniendo en cuenta también las limitaciones y oportunidades locales, como, por ejemplo, los incentivos y ayudas para la producción de energía renovable en la citada región.

En primer lugar, resulta clave definir de forma clara cuáles son los resultados y objetivos esperados de cada una de las técnicas para su correcta implementación y puesta en práctica en granja. No existe una única estrategia tecnológica adecuada para cualquier tipo de deyección ganadera y situación, ni, lógicamente, tampoco es posible “suprimir” los estiércoles y purines de las explotaciones ganaderas. Sin embargo, si es posible “eliminar” el nitrógeno, el carbono y el agua de las deyecciones ganaderas mediante, por ejemplo, la transformación de las diferentes formas en que se presenta el nitrógeno orgánico en los purines y estiércoles, a nitrógeno gas (N_2), o la transformación del carbono orgánico presentes en el substrato inicial en otros gases carbonados como el metano (CH_4) o el dióxido de carbono (CO_2), como sucede en la técnica de tratamiento de digestión anaeróbica, en la cual se produce una mezcla de gases denominada “biogás” que puede utilizarse para la producción de energía eléctrica.

No obstante, en las deyecciones ganaderas existen otros componentes, los cuales, sólo se pueden separar o concentrar. El nitrógeno es el único nutriente que puede ser eliminado en forma de gas inocuo (N_2), o retenido mediante su transformación a otras formas de nitrógeno orgánico, mientras que otros nutrientes presentes en las deyecciones ganaderas sólo se pueden retener/recuperar mediante la aplicación de una determinada técnica. Por esta razón, las estrategias tecnológicas pueden clasificarse teniendo en cuenta este objetivo, aunque existen también otros objetivos que determinan el tipo de técnica a aplicar, como por ejemplo, la reducción/eliminación de malos olores, la higienización del purín/estiércol (eliminación de agentes patógenos y/o contaminantes), o, simplemente, la producción de energía alternativa, como es el caso de la digestión anaeróbica.

Las diferentes técnicas de tratamiento se pueden combinar en función del objetivo final a conseguir, y éste depende básicamente de la problemática que deba solucionarse, de las características de cada granja, del grado de excedencia en nutrientes o de la eficacia de la/s técnica/s.

La solución idónea, con sus variantes, depende básicamente del coste, el cual depende del caudal a tratar (específico de cada granja), de los precios de la energía (depende de la política de primas vigentes en cada momento), de las distancias y costes de transporte y de la conveniencia de un tratamiento colectivo.

La mejora de la gestión de nutrientes ha sido identificada como la prioridad por los agricultores, seguida de la mitigación de emisiones de GEI y la producción de energía renovable. Aunque también hay otros factores en los que se centran en la planificación de una estrategia de tratamiento, tales como la eliminación de olores, higienización o la eliminación de compuestos xenobióticos (contaminantes emergentes).

La producción de energía renovable está relacionada con la mitigación de GEI. No obstante, hay que tener en cuenta que se obtiene el máximo efecto sobre la mitigación de GEI, si se minimiza el tiempo de almacenamiento antes de cualquier tratamiento.

Una clasificación primaria de estrategias centradas en la gestión de los nutrientes, podría dividir los procesos en función de si existe o no un exceso de nutrientes en la zona:

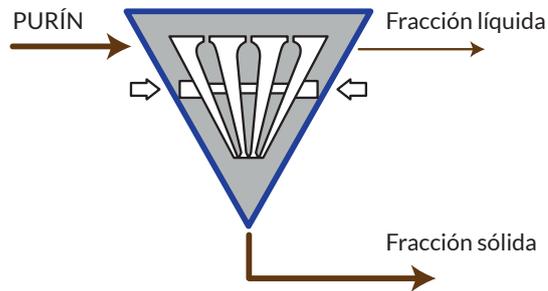
- Cuando no hay excedentes, las técnicas a aplicar deben estar centradas en el aumento de la capacidad de gestión, para aumentar el valor económico del purín (por ejemplo, aumentar su eficiencia) y reducir el coste económico relacionados con la gestión del purín (por ejemplo, disminuir el coste de su transporte). Estos métodos son las técnicas de separación de fases, la digestión anaerobia y el compostaje.
- Cuando el problema a resolver se refiere a los nutrientes excedentes, los métodos de procesamiento se pueden clasificar en tres grupos, que pueden ir desde una técnica simple a un proceso complejo, donde se concatenan una serie de técnicas (tal y como se muestra en los ejemplos de a continuación). La premisa que se debe adoptar es que si una técnica por si sola puede resolver el problema, no es necesario adoptar una combinación de procesos, teniendo en cuenta que a mayor complejidad, mayor coste de implantación y de aplicación.

Estos tres grupos son:

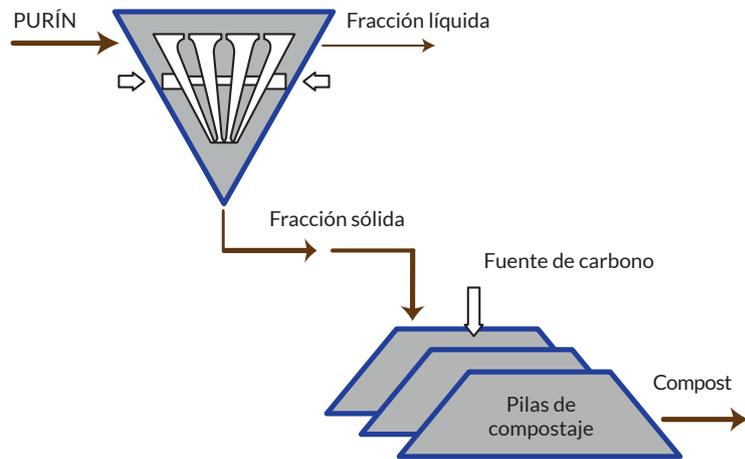
1. Recuperación de nutrientes sin digestión anaeróbica: por ejemplo, técnicas mecánicas de separación sólido líquido para el manejo posterior de la fracción sólida, técnica de compostaje de estiércol sólido o fracción sólida de un purín líquido.
2. Recuperación de nutrientes con digestión anaeróbica: por ejemplo, digestión anaeróbica para la producción de energía.
3. Eliminación de nitrógeno: por ejemplo la nitrificación-desnitrificación

Grupo 1 - Recuperación de nutrientes sin digestión anaeróbica

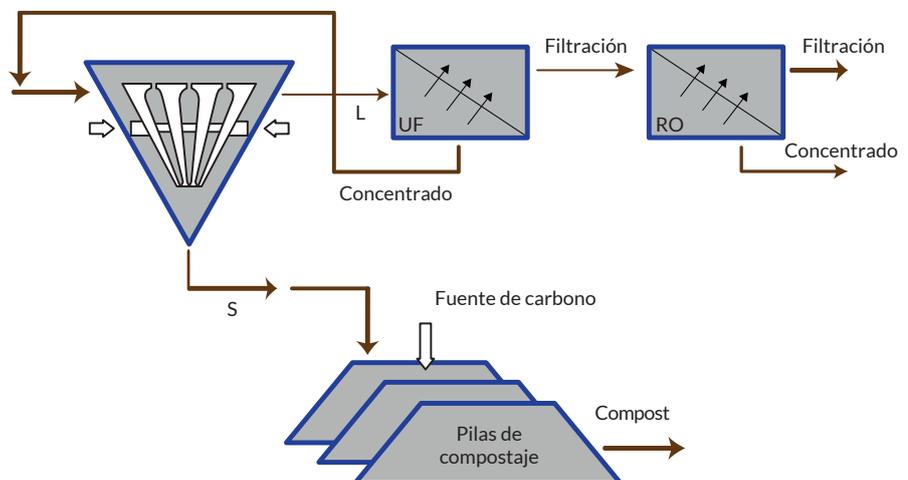
Separación de fases sólido-líquido, por ejemplo, por filtro prensa.



Separación por filtro prensa con compostaje de la fracción sólida, con el objetivo de exportar compost y de utilizar la fracción líquida como fertilizante en campos cercanos.

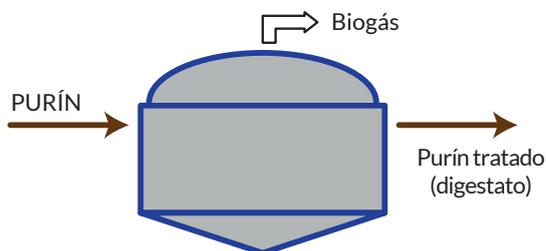


Separación por filtro prensa, compostaje de la fracción sólida y aplicación a la fracción líquida de diferentes métodos de filtración por membranas, con el objetivo de exportar compost y concentrados y utilizar las filtraciones resultantes para riego (UF: ultrafiltración, RO: osmosis inversa).

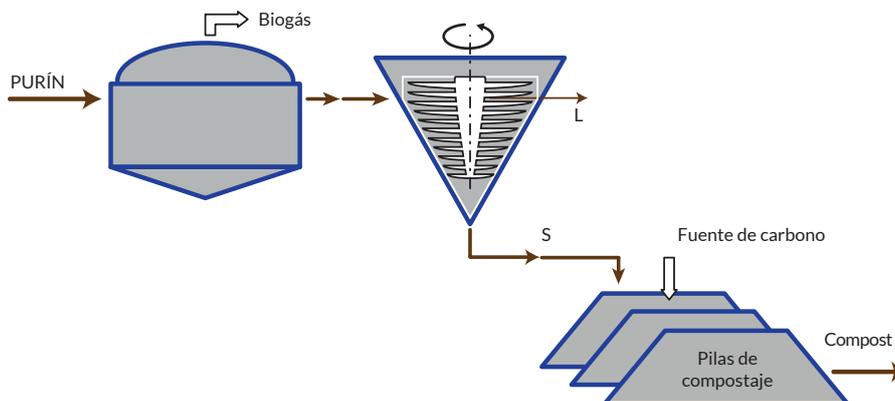


Grupo 2 - Recuperación de nutrientes con digestión anaeróbica

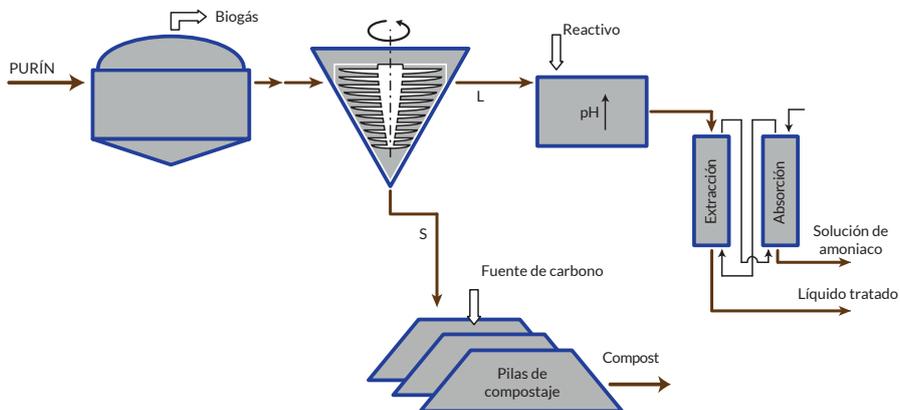
Digestión anaerobia con el objetivo de producir energía renovable (biogás) y mitigar los malos olores.



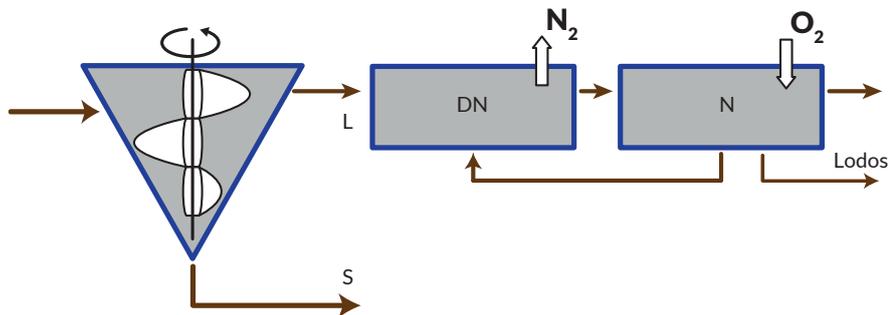
Digestión anaerobia con separación de fases por centrifugación, con el objetivo de producir biogás, exportar compost y de utilizar la fracción líquida como fertilizante en campos cercanos.



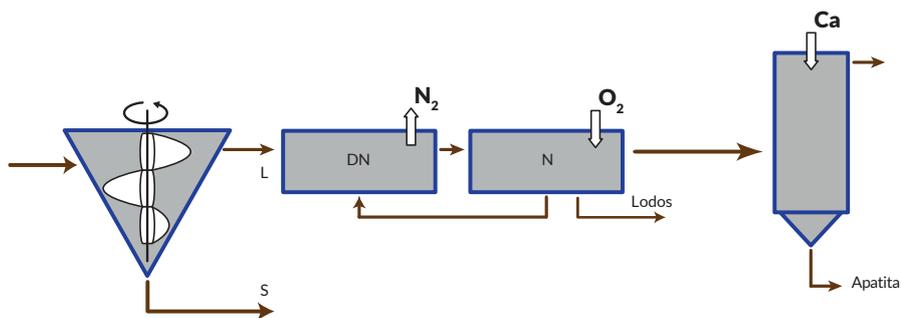
Digestión anaerobia con separación de fases por centrifugación, compostaje de la fracción sólida y extracción de amoníaco con la correspondiente absorción, con el objetivo de producir biogás, exportar compost y concentrar amoníaco, para utilizar el líquido resultante tratado para el riego.



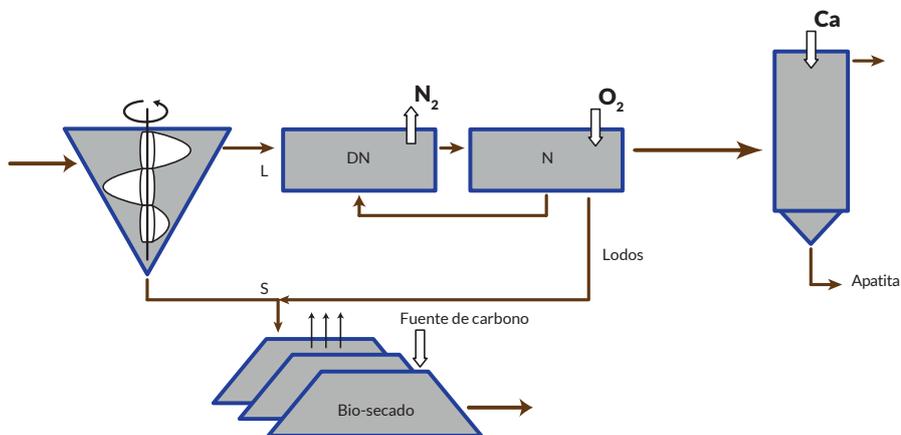
Separación de fases sólido-líquido, en concreto por separación por tornillo prensa y nitrificación-desnitrificación de la fracción líquida, con el objetivo de eliminar nitrógeno parcialmente y utilizar el producto restante para campos cercanos.



Separación por tornillo prensa, nitrificación-desnitrificación de la fracción líquida y precipitación de fosfato cálcico, con el objetivo de eliminar parcialmente nitrógeno, exportar fosfato cálcico (apatitas) y utilizar el producto restante para campos cercanos.



Separación por tornillo prensa, nitrificación-desnitrificación de la fracción líquida y precipitación de fosfato cálcico, con el objetivo de eliminar parcialmente nitrógeno, exportar fosfato cálcico (apatitas) y utilizar el producto restante para campos cercanos.



ANEXO II: TABLA COMPARATIVA TÉCNICAS SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO-LÍQUIDO

TÉCNICA	COMPLEJIDAD	APLICACIÓN	MTD RECONOCIDA EN EL IRPP-BREF (CAPÍTULO DONDE FIGURA)	COSTE	COSTES DE IMPLANTACIÓN	APLICABILIDAD
Coagulación-Floculación	Baja	En granja	4.12.2.4	Medio	Aprox. 50.000 €	Alta concentración de nutrientes obtenidos en la fracción sólida resultante. No se recomienda el uso de poliacrilamida como floculante debido al riesgo de formación de acrilamida
Electrocoagulación	Media	En granja	6.2.5 (técnica emergente)	Bajo	El coste de los electrodos	Equipos sencillos y de fácil manejo, posible automatización y menor generación de sales y residuos. Purifica el agua y permite su reciclaje
Separación por rejilla	Baja	En granja	4.12.2.1 (en la introducción)	Bajo	El coste de la rejilla	Se podría considerar un proceso de protección de las instalaciones (con el fin de evitar obstrucciones). Aplicable sólo en regiones donde exista una limitación por exceso de nitrógeno y fósforo y no sea posible la aplicación directa del purín sin tratar en el terreno, o cuando no sea económicamente viable el transporte del purín para su aplicación en otras zonas sin limitación
Separación por prensa de tornillo	Baja	En granja	4.12.2.2	Medio	17.000 - 28.000 €	Alto rendimiento con bajos requisitos de potencia y mantenimiento. Técnica generalmente aplicable para un amplio rango de contenido de materia orgánica de los purines, incluso para los "digestatos" procedentes de las plantas de biogás. Su implantación en granjas existentes requiere una leve adaptación de las instalaciones. Aplicable sólo en regiones donde exista una limitación por exceso de nitrógeno y fósforo y no sea posible la aplicación directa del purín sin tratar en el terreno, o cuando no sea económicamente viable el transporte del purín para su aplicación en otras zonas sin limitación
Separación por tamizado	Baja	En granja	4.12.2.5	Bajo	Tamiz fijo: 3.500 - 8.000 € Tamiz vibrante: 15.000 €	Técnica recomendada, como tratamiento previo, cuando el purín tienen un bajo contenido de sólidos (<2%). Aplicable sólo en regiones donde exista una limitación por exceso de nitrógeno y fósforo y no sea posible la aplicación directa del purín sin tratar en el terreno, o cuando no sea económicamente viable el transporte del purín para su aplicación en otras zonas sin limitación

LIMITACIONES	EFICIENCIA	ADITIVOS O TECNOLOGÍA NECESARIA	RECOMENDACIÓN DE USO																
			INDEPENDIENTE	COMBINADO															
Riesgo mínimo de toxicidad por el empleo de monómeros de la poliacrilamida (PAM), si se aplica un tratamiento posterior biológico	22% volumen 70% materia seca 43% nitrógeno total 20% amonio 79% fósforo total	Se recomienda el uso de agentes floculantes o coagulantes		X															
Reposición de los electrodos de castigo. El óxido formado en el ánodo puede formar una capa que impida el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo la eficiencia	En combinación con un filtro banda, se obtiene: <table border="1" data-bbox="466 763 869 909"> <thead> <tr> <th></th> <th>Concentración en purín (mg/l)</th> <th>Concentración en efluente residual (mg/l)</th> <th>% de extracción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sólidos totales suspendidos</td> <td>20.000 - 30.000</td> <td>100 - 200</td> <td>> 99</td> </tr> <tr> <td>Nitrógeno total</td> <td>2.000 - 3.000</td> <td>600 - 800</td> <td>>60</td> </tr> <tr> <td>Fósforo total</td> <td>200 - 350</td> <td><2</td> <td>>99</td> </tr> </tbody> </table>		Concentración en purín (mg/l)	Concentración en efluente residual (mg/l)	% de extracción	Sólidos totales suspendidos	20.000 - 30.000	100 - 200	> 99	Nitrógeno total	2.000 - 3.000	600 - 800	>60	Fósforo total	200 - 350	<2	>99	Posibilidad de floculantes químicos cuando se estime necesario	X
	Concentración en purín (mg/l)	Concentración en efluente residual (mg/l)	% de extracción																
Sólidos totales suspendidos	20.000 - 30.000	100 - 200	> 99																
Nitrógeno total	2.000 - 3.000	600 - 800	>60																
Fósforo total	200 - 350	<2	>99																
Limpieza periódica con el fin de evitar episodios de obstrucciones igualmente sobre ella	Baja	-		X															
El coste energético, aunque sea bajo	Extracción de fracción líquida, en torno al 75-90%. Eficiencia (%): 20-40% sólidos totales; 5-20% nitrógeno; 10-30% fósforo en la fracción líquida	-	X	X															
La obstrucción del tamiz, este riesgo se ve disminuido en tamices vibrantes. El flujo de purín entrante debe ser controlado y constante	5-15% nitrógeno y 5-15% fósforo en la fracción líquida	-	X	X															

TÉCNICA	COMPLEJIDAD	APLICACIÓN	MTD RECONOCIDA EN EL IRPP-BREF (CAPÍTULO DONDE FIGURA)	COSTE	COSTES DE IMPLANTACIÓN	APLICABILIDAD
Separación por filtro prensa	Media	Engranja	4.12.2.6	Medio - alto	25.000 - 125.000 €, dependiendo de las dimensiones y del tipo del separador	Sus diseños pueden permitir una amplia superficie de filtración utilizando poco espacio. Aplicable sólo en regiones donde exista una limitación por exceso de nitrógeno y fósforo y no sea posible la aplicación directa del purín sin tratar en el terreno, o cuando no sea económicamente viable el transporte del purín para su aplicación en otras zonas sin limitación
Separación por centrifugación	Media	A gran escala	4.12.2.3	Medio - alto	40.000 - 60.000 € (1,5 - 2 m ³ /h) 100.000 € (25 m ³ /h)	Considerada la técnica de separación de fases que más compacta la fracción sólida. Aplicable sólo en regiones donde exista una limitación por exceso de nitrógeno y fósforo y no sea posible la aplicación directa del purín sin tratar en el terreno, o cuando no sea económicamente viable el transporte del purín para su aplicación en otras zonas sin limitación
Separación por filtro de tambor	Baja	A media escala	4.12.1 (en la introducción)	Medio	25.000 € para una capacidad de 2-3 m ³ de purín/hora	Buena eficiencia de separación en relación a su menor coste. Aplicable sólo en regiones donde exista una limitación por exceso de nitrógeno y fósforo y no sea posible la aplicación directa del purín sin tratar en el terreno, o cuando no sea económicamente viable el transporte del purín para su aplicación en otras zonas sin limitación
Separación por decantación natural	Baja	Engranja	2.7.1	Medio	17.000 € para un decantador con un volumen de 350 m ³	Buenos índices de separación

LIMITACIONES	EFICIENCIA	ADITIVOS O TECNOLOGÍA NECESARIA	RECOMENDACIÓN DE USO	
			INDEPENDIENTE	COMBINADO
Prensa rotatoria: se recomienda el uso de polielectrolitos. Cinturón de filtro: se recomienda un separación posterior por tornillo prensa	Con el uso de polielectrolitos, la eficiencia de separación en fracción sólida: 30% de nitrógeno Kjeldahl y el 70% de fósforo. Porcentaje de materia seca extraída de fracción sólida: 25-35%	Se recomienda el uso de polielectrolitos	X	X
Habitualmente utilizado en explotaciones a gran escala	Altos índices de separación: 14% volumen, 61% de materia seca, 28% de nitrógeno total, 16% de amonio, 71% de fósforo total en la fracción sólida	Se recomienda el uso de polielectrolitos	X	X
El estado de limpieza de la tela es determinante en su eficacia	Para un volumen de 2-3 t/h de purín, la fracción sólida obtenida presentará en su contenido: 25-27% volumen, 12% de materia seca, 20% de nitrógeno, 30-55% de fósforo	Se recomienda combinación con floculantes químicos	X	X
Consumo de energía en pequeños decantadores vibrantes	Índices de separación en la sedimentación de la fracción sólida: 22% del volumen, 56% de materia seca, 33% nitrógeno total 28% de amonio y 52% fósforo total	Se recomienda el uso de agentes floculantes o coagulantes		X

ANEXO III: BIBLIOGRAFÍA

Para la elección, diseño y valoración de las distintas técnicas a evaluar, se ha tenido en cuenta toda la documentación científica disponible. Las referencias bibliográficas que se incluyen a continuación se han agrupado en un primer bloque de bibliografía general, donde se incluye la documentación base empleada en la elaboración del documento, y a continuación, un segundo bloque de bibliografía específica para la elaboración de cada una de las fichas que se presentan, con su misma numeración e identificación.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- BREF, 2015. European Commission, 2015. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs (BREF). Revisión agosto 2015.
- Technical Report No. II to the European Commission, Directorate-General Environment concerning Manure Processing Activities in Europe - Project reference: ENV.B.1/ETU/2010/0007 (2011).
- TFRN, 2014. Bittman, S., Dedina, M., Howard C.M., Oenema, O., Sutton, M.A., (eds), 2014, Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen, Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, UK.

BIBLIOGRAFÍA ESPECÍFICA

1. UTILIZACIÓN AGRONÓMICA DE PURINES

- Gómez, M. (2014). PhD Tesis. Efectos ambientales de la valorización agronómica de purines de ganado porcino. Dinámica del Nitrógeno en el sistema suelo/agua/planta. Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de ciencia y tecnología agraria.
<http://repositorio.bib.upct.es/dspace/handle/10317/4080>.
- Informaciones Técnicas del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón (2007). Evaluación de costes de sistemas y equipos de aplicación de purín. Núm. 178. http://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/869/1/10532-105_12.pdf
- LIFE ES-WAMAr (2006). Gestión medioambientalmente correcta y sostenible del purín porcino basada en tecnologías innovadoras: proyecto de demostración llevado a cabo en Aragón. (España), (LIFE06 ENV/E/000044-ES-WAMAR)
http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=ESWAMAR_Gestion_Purin.pdf
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) (2014). Evaluación de técnicas de reducción de emisiones en ganadería; sectores de porcino y avicultura de carne y puesta.
http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/requisitos-y-condicionantes-de-la-produccion-ganadera/Documento_completo_tcm7-353908.pdf
Troy, S.M. (2012). PhD Thesis. Treatment options for the separated solid fraction of pig manure. National University of Ireland Galway.
<http://www.nuigalway.ie/media/gene/files/Shane-Troy-Final-Thesis.pdf>

2. TRANSPORTE DE PURINES SIN PROCESAR

- Informaciones técnicas del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón (2007). Evaluación de costes de sistemas y equipos de aplicación de purín. Núm. 178. http://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/869/1/10532-105_12.pdf
- Troy, S.M. (2012). PhD Thesis. Treatment options for the separated solid fraction of pig manure. National University of Ireland Galway.
<http://www.nuigalway.ie/media/gene/files/Shane-Troy-Final-Thesis.pdf>

3. ALMACENAMIENTO DE PURINES

- Bittman, S. et al. (2014). Options for Ammonia mitigation. Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen, Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, UK.
- Peiro Ruiz, A.; Martínez Andrés, R.; Jiménez Sánchez, F.J. (2011). Tipologías de depósitos para el almacenamiento de purín (Proyecto demostrativo de gestión colectiva del purín en Aragón). Ed. SODEMASA.
- http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=ESWAMAR_Gestion_Purin.pdf

4. TÉCNICAS DE SEPARACIÓN DE FASES SÓLIDO-LÍQUIDO

Común a este tipo de técnicas:

- Christensen, M. L.; Christensen, K. V.; Sommer, S. G. (2013). Solid-Liquid Separation of Animal Slurry, in *Animal Manure Recycling: Treatment and Management* (eds S. G. Sommer, M. L. Christensen, T. Schmidt and L. S. Jensen), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK.
- Riaño, B.; García-González, M.C. (2013). On-farm treatment of swine manure based on solid-liquid separation and biological nitrification-denitrification of the liquid fraction. (Instituto Tecnológico de Agricultura de Castilla y León). *Journal of Environmental Management*. Volume 132. p. 87-93.

4.1. Coagulación-floculación

- Campos Pozuelo, E. et al. (2004). Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas. Generalitat de Catalunya.

4.2. Separación por rejilla

- Lekuona, A. (2004). Planta de tratamiento de purines de Egiluze. *RETEMA: Revista Técnica de Medio Ambiente*. 103 p. 20-24.

4.3. Separación por prensa de tornillo

- Levasseur P. (2004). Traitement des effluents porcins. Guide Pratique des Procédés. ITP.
- Burton C.H. (2007). The potential contribution of separation technologies to the management of livestock manure. *Livest. Sci.* 112, 208-216. DOI: 10.1016/j.livsci.2007.09.004.
- Parera, J. et al. (2015). Separadores de sólido-líquido. *Revista Mundo Ganadero*. Número 265. p. 36-41.
- Hjorth M., et al. (2010). Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agron. Sust. Devel.* 30, 153-180. DOI: 10.1051/agro/2009010.
- Møller H.B., Lund I., Sommer S.G. (2000). Solid-liquid separation of livestock slurry: efficiency and cost. *Bioresour. Technol.* 74, 223-229. DOI: 10.1016/S0960-8524(00)00016-X.
- Westerman P.W., Arogo J. (2005). On-farm performance of two solid/liquid separation systems for flushed swine manure. *Appl. Eng. Agric.* 21, 707-717.

4.4. Separación por tamizado

- Ford, M.; Fleming, R. (2002). Mechanical solid-liquid separation of livestock manure, Literature review. Ridgetown College. University of Guelph, Ridgetown, Ontario.
- Hjorth M., et al. (2010). Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agron. Sust. Devel.* 30, 153-180. DOI: 10.1051/agro/2009010.
- Levasseur P. (2004). Traitement des effluents porcins. Guide Pratique des Procédés. ITP (in French).
- Pieters J.G.; Neukermans G.G.J.; Colanbeen M.B.A. (1999). Farm-scale membrane filtration of sow slurry. *J. Agric. Eng. Res.* 73, 403-409
- Parera, J. et al. (2015). Separadores de sólido-líquido. *Revista Mundo Ganadero*. Número 265. p. 36-41.

4.5. Separación por filtro prensa

- Foged H.L. (2010). Best Available Technologies for Manure Treatment: for Intensive Rearing of Pigs in Baltic Sea Region EU Member States. *Baltic Sea 2020*. Stockholm.
- Hjorth M. et al. (2010). Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. *Agron. Sust. Devel.* 30, 153-180. DOI: 10.1051/agro/2009010.
- Levasseur P. (2004). Traitement des effluents porcins. Guide Pratique des Procédés. ITP
- Vanotti M.B. et al. (2009). Development of a second-generation environmentally superior technology for treatment of swine manure in the USA. *Bioresour. Technol.* 100, 5406-5416. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.02.019

4.6. Separación por centrifugación

- Levasseur P. (2004). Traitement des effluents porcins. Guide Pratique des Procédés. ITP (in French).
- Møller H.B.; Lund I.; Sommer S.G. (2000). Solid-liquid separation of livestock slurry: efficiency and cost. *Bioresour. Technol.* 74, 223-229. DOI: 10.1016/S0960-8524(00)00016-X.
- Parera, J. et al. (2015). Separadores de sólido-líquido. *Revista Mundo Ganadero*. Número 265. p. 36-41.

4.7. Separación por filtro de tambor

- Marañón Maison, E. et al. (1998) Generación de residuos de ganadería vacuna (purines) en Asturias-problemática y tratamiento.

4.8. Separación por decantación natural

La bibliografía común a este tipo de técnicas.

5. EMPLEO DE ADITIVOS Y OTROS PRE-TRATAMIENTOS

5.1. Acidificación del purín líquido

- Dai X.; Blanes-Vidal V. (2013) Emissions of NH₃, CO₂ and H₂S from swine slurry during and after acidification treatment: Effect of pH, mixing and aeration. *J. of Environ. Manage.* 115: 147-154.
- Eriksen, J. et al. (2014). Effects of Acidifying Pig Diets on Emissions of Ammonia, Methane and Sulfur from Slurry during Storage. *J. Environ. Qual.* 43:2086-2095
- Petersen, SO. et al. (2014). Methanogenic community changes, and emissions of methane and other gases, during storage of acidified and untreated pig slurry. *J Appl Microbiol.* 117(1):160-72
- Fangueiro, D.; Hjorth M.; Gioelli, F. (2015). Acidification of animal slurry--a review. *J Environ Manage.* 1;149:46-56
- IPCC (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use.
- Kai, P., Pedersen, P., Jensen, J.E., Hansen, M.N., and Sommer, S.G. (2008): A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *Eur. J. Agron.* 28:148-154.
- Pedersen, P. (2004): Svovlsyrebehandling af gylle i slagtesvinestald med drænet gulv. Meddelelse nr. 683, Landsudvalget for Svin, pp. 12.
- Pedersen, P. (2007): Tilsætning af brintoverilte til fursuret gylle i slagtesvinestald med drænet gulv. Meddelelse nr. 792 fra Dansk Svineproduktion, Den rullende Afprøvning, pp. 14.

6. TRATAMIENTOS ANAERÓBICOS

6.1. Digestión anaerobia mesofílica/termofílica

- Campos Pozuelo, E. et al. (2004). Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas. Generalitat de Catalunya.
- Riaño, B.; García-González, M.C. (2013). On-farm treatment of swine manure based on solid-liquid separation and biological nitrification-denitrification of the liquid fraction. (Instituto Tecnológico de Agricultura de Castilla y León). *Journal of Environmental Management*. Volume 132. p. 87-93.

7. TRATAMIENTOS DE LA FRACCIÓN SÓLIDA

7.1. Compostaje

- Campos Pozuelo, E. et al. (2004). Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas. Generalitat de Catalunya.
- Riaño, B.; García-González, M.C. (2013). On-farm treatment of swine manure based on solid-liquid separation and biological nitrification-denitrification of the liquid fraction. (Instituto Tecnológico de Agricultura de Castilla y León). *Journal of Environmental Management*. Volume 132. p. 87-93.

8. TRATAMIENTOS DE LA FRACCIÓN LÍQUIDA

8.1. Digestión aeróbica (aireación)

- Burton, C.H. (1992). A review of the strategies in the aerobic treatment of pig slurry: purpose, theory and method. *J. Agric. Eng. Res.* 53, 249-272.

- Ndegwa, P.M.; Zhu, J.; Luo, A. (2001). Effect of batch aeration-treatment on the solubility of phosphorus in pig manure. *J. Agric. Eng. Res.* 80, 365-371.
- Park, K.J.; Zhu, J.; Zhang, Z. (2005). Influence of the aeration rate and liquid temperature on ammonia emission rate and manure degradation in batch aerobic treatment. *Trans. ASAE.* 48, 321-330.
- Campos Pozuelo, E. et al. (2004). Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas. Generalitat de Catalunya.
- Riaño, B.; García-González, M.C. (2013). On-farm treatment of swine manure based on solid-liquid separation and biological nitrification-denitrification of the liquid fraction. (Instituto Tecnológico de Agricultura de Castilla y León). *Journal of Environmental Management.* Volume 132. p. 87-93.

8.2. Nitrificación – desnitrificación

- Béline, F.; Daumer, M.L.; Guiziou, F. (2004). Biological aerobic treatment of pig slurry in France: nutrients removal efficiency and separation performances. *Trans. ASAE.* 47, 857-864.
- Choi E. (2007). *Piggery Waste Management: Towards a Sustainable Future.* IWA Publishing. ISBN 9781843391319.
- Loyon, L. et al. (2007). Gaseous emissions (NH₃, N₂O, CH₄ and CO₂) from the aerobic treatment of piggery slurry - Comparison with a conventional storage system. *Biosyst. Eng.* 97, 472-780. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2007.03.030.
- Magrí, A.; Flotats X. (2008). Modelling of biological nitrogen removal from the liquid fraction of pig slurry in a sequencing batch reactor. *Biosyst. Eng.* 101, 239-259. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2008.08.003.
- Magrí, A. et al. (2009). Batch treatment of liquid fraction of pig slurry by intermittent aeration: process simulation and microbial community analysis. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 84, 1202-1210. DOI: 10.1002/jctb.2158.
- Martínez, J. et al. (2009). Livestock waste treatment systems for environmental quality, food safety, and sustainability. *Bioresour. Technol.* 100, 5527-5536. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.02.038.
- Rajagopal, R.; Béline, F. (2011). Nitrogen removal via nitrite pathway and the related nitrous oxide emission during piggery wastewater treatment. *Bioresour. Technol.* 102, 4042-4046. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.12.017.
- Rodríguez, J. (2003). Planta de tratamiento biológico de purines, con cogeneración asociada, promovida por Ros Roca en Langa de Duero, Soria. *Infopower*, nº 59.
- Vanotti, M.B. et al. (2009). Development of a second-generation environmentally superior technology for treatment of swine manure in the USA. *Bioresour. Technol.* 100, 5406-5416. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.02.019.
- Vanotti, M.B.; Szogi, A.A.; Vives, C.A. (2008). Greenhouse gas emission reduction and environmental quality improvement from implementation of aerobic waste treatment systems in swine farms. *Waste Manage.* 28, 759-766. DOI: 10.1016/j.wasman.2007.09.034.
- Campos Pozuelo, E. et al. (2004). Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas. Generalitat de Catalunya.
- Riaño, B.; García-González, M.C. (2013). On-farm treatment of swine manure based on solid-liquid separation and biological nitrification-denitrification of the liquid fraction. (Instituto Tecnológico de Agricultura de Castilla y León). *Journal of Environmental Management.* Volume 132. p. 87-93.

8.3. Nitrificación parcial – desnitrificación autotrófica Anammox

- Hwang, I.S. et al. (2005). Nitrogen removal from piggery waste using the combined SHARON and ANAMMOX process. *Water Sci. Technol.* 52(10-11), 487-494.
- Karakashev, D.; Schmidt, J.E.; Angelidaki, I. (2008). Innovative process scheme for removal of organic matter, phosphorus and nitrogen from pig manure. *Water Res.* 42, 4083-4090. DOI: 10.1016/j.watres.2008.06.021.
- Magrí, A.; Vanotti, M.B.; Szogi, A.A. (2010). Anammox treatment of swine wastewater using immobilized technology. In: Cordovil, C.M.d.S., Ferreira, L. (ed.). 14th RAMIRAN International Conference. Lisboa (Portugal).
- Magrí, A.; Vanotti, M.B.; Szogi, A.A. (2011). Partial nitrification of swine wastewater in view of its coupling with the anammox process. In: IANAS 2011. First International Anammox Symposium, Kumamoto (Japan). Pp. 9-16.
- Molinuevo, B. et al. (2009). Anammox for ammonia removal from pig manure effluents: Effect of organic matter content on process performance. *Bioresour. Technol.* 100, 2171-2175. DOI: 10.1016/j.biortech.2008.10.038.
- Qiao, S. et al. (2010). High-rate nitrogen removal from livestock manure digester liquor by combined partial nitrification-anammox process. *Biodegradation* 21, 11-20. DOI: 10.1007/s10532-009-9277-8.
- Vanotti, M. et al. (2011). Experiences with Anammox in the USA: Isolation, preservation and treatment performance of *Brocadia carolinensis*. In: IANAS 2011. First Internacional Anammox Symposium, Kumamoto (Japan). Pp. 99-106.

8.4. Construcción de humedales artificiales

- Caballero-Lajarín, A. (2013). Sistema de depuración de aguas residuales de origen ganadero. Humedales artificiales. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de Ciencia y Tecnología Agraria. Cartagena, España. <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/handle/10317/3891>

- Garsa-UPCT (2015). Caracterización medioambiental de la ganadería española, a nivel de consultoría externa especialista para la realización de ensayos de evaluación de mejores técnicas disponibles (MTD). Ref. tec 0003908. Memoria Técnica.
- Kadlec, R.H.; Wallace, S.D. (2009). *Treatment Wetlands*. CRC Press, Boca Raton, Florida, EEUU.
- Vymazal, J. et al. (2006). Constructed wetlands for wastewater treatment. *Wetlands Nat. Resour. Manage.* 190, 69-96.
- Cronk, J.K. (1996). Constructed wetlands to treat wastewaters from dairy and swine operations: a review. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 58, 97-114.
- Shu, L., Schneider, P., Jegatheesan, V., Johnson, J. (2006). An economic evaluation of phosphorus recovery as struvite from digester supernatant. *Bioresource Technology* 97, 2211-2216. doi:10.1016/j.biortech.2005.11.005
- DeBusk, T.A.; Peterson, J.E.; Reddy, K.R. (1995). Use of aquatic and terrestrial plants for removing phosphorus from dairy wastewaters. *Ecological Engineering.* 5, p. 371-390.

9. LIMPIEZA DEL AIRE

9.1. Lavado del aire

- ITG Formación agraria (2007). Jornada "Mejores técnicas disponibles porcino". Ventilación centralizada y lavado de aire. p. 8.
- EPA. Air Pollution Control Technology <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/fbiorect.pdf>
- Hahne, J.; Vorlop, K-D. (2001). Treatment of waste gas from piggeries with nitrogen recovery. *Landbauforschung Völkenrode*, 51 (3), p. 121-130.
- http://www.ag.iastate.edu/wastemgmt/Mitigation_Conference_proceedings/CD_proceedings/Animal_Housing-Biofilters_and_Scrubbers/Melse-multipollutant_scrubber.pdf
- <http://www.magrama.es/es/ganaderia/temas/requisitos-y-condicionantes-de-la-produccion-ganadera/ganaderia-y-medio-ambiente/mejores-tecnologias-disponibles-en-avicultura-y-porcino/>
- Melse, R.W.; Ogink, NWM. (2005). Air scrubbing techniques for ammonia and odour reduction at livestock operations: Review of on-farm research in the Netherlands. *Transactions of the ASAE* 48, 2303-2313.
- Melse, R.; Ogink, N.; Bosma, B. (2008). Multi-pollutant Scrubbers for Removal of Ammonia, Odor, and Particulate Matter from Animal House Exhaust Air. *Proceedings from the National Conference on Mitigating Air Emissions from Animal Feeding Operations Exploring the advantages, limitations, and economics of mitigation technologies.*
- Vrieling, M.G.M.; Verdoes, N.; Van Gastel, J.P.B.F. (1997). Reducing the ammonia emission with a chemical air scrubber. Report P. 1.178, Rosmalen, The Netherlands: Praktijkonderzoek.

10. TÉCNICAS EMERGENTES

10.1. Electrocoagulación

- Riaño, B.; García-González, M.C. (2013). On-farm treatment of swine manure based on solid-liquid separation and biological nitrification-denitrification of the liquid fraction. (Instituto Tecnológico de Agricultura de Castilla y León). *Journal of Environmental Management.* Volume 132. p. 87-93.
- Campos Pozuelo, E. et al. (2004). Guía de los tratamientos de las deyecciones ganaderas. Generalitat de Catalunya.
- Cañizares, P. et al. (2007) Coagulation and Electrocoagulation of wastes polluted with colloids.
- Lekuona, A. (2004). Planta de tratamiento de purines de Egiluze. *RETEMA: Revista Técnica de Medio Ambiente.* 103 p. 20-24.

10.2. Pirólisis

- Pastor Pérez, Y.; Martínez Segado, M^a M.; Valdés Illán, R. (Universidad Politécnica de Cartagena), Construcción de una planta de producción de biochar a partir de purines.
- UPM
<http://www.upm.es/institucional/Investigadores/21991b025590d410VgnVCM10000009c7648aRCRD>
- Agblevor, F.A. et al. (2010). Biocrude oils from the fast pyrolysis of poultry litter and hardwood. *Waste Management*, 30: 298- 307.
- Cantrell, K. et al. (2007). Role of thermochemical conversion in livestock waste-to-energy treatments: obstacles and opportunities. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 46: 8918-8927.
- Koutcheiko, S. et al. (2007). Preparation and characterization of activated carbon derived from the thermo-chemical conversion of chicken manure. *Bioresource Technology*, 98: 2459-2464.

- Lima, I.M.; McAloon, A.; Boateng, A.A. (2008). Activated carbon from broiler litter: Process description and cost of production. *Biomass and bioenergy*, 32: 568-572.
- Mante, O.D.; Agblevor, F.A. (2010). Influence of pin Wood shavings on the pyrolysis o poultry litter. *Waste Management*, 30:2537-2547.
- Ro, K. S.; Cantrell, K. B.; Hunt, P.G. (2010). High-temperature pyrolysis of blended animal manures for producing renewable energy and value-added biochar. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 49: 10125-10131.

10.3. Electro-oxidación

- Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology* 38, 11-41. doi:10.1016/j.seppur.2003.10.006
- Un, U.T. et al. (2008). Complete treatment of olive mill wastewaters by electrooxidation. *Chemical Engineering Journal* 139, p. 445-452. doi:10.1016/j.cej.2007.08.009
- Pastor Pérez, Y.; Martínez Segado, M^a M.; Valdés Illán, R. (Universidad Politécnica de Cartagena), Construcción de una planta de producción de biochar a partir de purines.

10.4. Precipitación de estruvita (fosfato de magnesio y amonio)

- Vrieling, M.G.M.; Verdoes, N.; Van Gastel, J.P.B.F. (1997). Reducing the ammonia emission with a chemical air scrubber. Report P. 1.178, rosmalen, The Netherlands: Praktijkonderzoek.
- Suzuki, K. et al. (2007). Removal and recovery of phosphorous from swine wastewater by demonstration crystallization reactor and struvite accumulation device. *Bioresource Technology* 98, 1573-1578. doi:10.1016/j.biortech.2006.06.008.
- Suzuki, K. et al. (2008). Challenges for Phosphate Removal and Recovery as Struvite Crystals from Swine Wastewater and Their Utilization in Japan. In: *World Water Congress & Exhibition Vienna, Austria 7-12 Sep 2008*.
- Chimenos, J.M. et al. (2010). Desarrollo de un nuevo proceso de bajo coste para la reducción de la concentración de N-amoniaco en las deyecciones ganaderas. *ECOFARM*. 249-259. ISBN:978-84-936421-2-9.
- Uludag-Demirer, S.; Demirer, G.N.; Chen, S. (2005). Ammonia removal from anaerobically digested dairy manure by struvite precipitation. *Process Biochemistry* 40, 3667-3674. doi:10.1016/j.procbio.2005.02.028
- Shu, L. et al. (2006). An economic evaluation of phosphorus recovery as struvite from digester supernatant. *Bioresource Technology* 97, 2211-2216. doi:10.1016/j.biortech.2005.11.005
- NYSERDA (2006). Struvite recovery from digested dairy manure and regional manure anaerobic digestion study. Final report. <http://www.nyserra.org/publications/06-10%20FINAL%20REPORT-%20web.pdf>
- Jaffer, Y. et al. (2002). Potential phosphorus recovery by struvite formation. *Water Research* 34, 1834-1842.

10.5. Precipitación de fosfato cálcico (apatita)

- Burton, C.H.; Turner, C. (Eds) (2003). *Manure Management. Treatment strategies for sustainable agriculture*. Silsoe Research Institute, 490 pps. ISBN: 0-9531282-6-1.
- Quan, X. et al. (2010). Simultaneous removal of ammonia, P and COD from piggery wastewater using an integrated process of chemical precipitation and air stripping. *Journal of Hazardous Materials* 178, 1-3, 326-332.

ANEXO IV: ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

Ag	Plata
CaO	Óxido de calcio (cal viva)
Ce	Cerio
Co	Cobalto
CO	Monóxido de carbono
CO₂	Dióxido de carbono
COV	Compuestos orgánicos volátiles
Cu	Cobre
CV	Caballos de vapor
DBO	Demanda biológica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
EPDM	Caucho sintético de etileno propileno dieno
Fe	Hierro
GEI	Gases de efecto invernadero
H₂	Dihidrógeno. Gas inflamable, incoloro e inodoro, a temperatura ambiente
H₂S	Ácido sulfhídrico
H₂SO₄	Ácido sulfúrico
HCl	Ácido clorhídrico
IRPP-BREF	Documento de referencia de las MTD para la cría intensiva de aves y cerdos (Reference Document on Best Available Techniques for Intensive Rearing of Poultry and Pigs)
K	Potasio
Kg	Kilogramo

<i>l</i>	Litro
<i>MJ</i>	Megajulio
<i>MTD</i>	Mejor técnica disponible, como se define en la Directiva 2008/1/EEC
<i>N</i>	Nitrógeno
<i>NH₃</i>	Amoníaco
<i>NH₄</i>	Amonio
<i>Ni</i>	Níquel
<i>NO₂⁻</i>	Ion nitrito
<i>NO₃⁻</i>	Ion nitrato
<i>NO_x</i>	Óxidos de nitrógeno, se aplica a varios compuestos químicos binarios gaseosos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno.
<i>P</i>	Fósforo
<i>PEAD</i>	Polietileno de alta densidad
<i>Relación C/N</i>	Relación carbono /nitrógeno
<i>S/L</i>	Sólido/Líquido
<i>SO_x</i>	Óxidos de azufre, grupo de gases compuestos por trióxido de azufre (SO ₃) y dióxido de azufre (SO ₂)
<i>t</i>	Tonelada
<i>TSS</i>	Total sólidos en suspensión
<i>X²⁺, Y³⁺, Cl, etc.</i>	Átomo o agrupación de átomos que por pérdida o ganancia de uno o más electrones adquiere carga eléctrica. Representados por la abreviación del átomo o compuesto y con la cantidad de cargas como superíndice y su correspondiente carga (+/-)
<i>Zn</i>	Zinc



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE