

Estudio preliminar sobre la separación física sólido-líquido de purines para su reutilización

Sonia Martínez, Pau Ferrer, Begoña Cebrián, José Bernace, Manolo Lainez, Enrique Moltó, Ricardo Suay.

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Ctra. Moncada-Náquera, km 4,5. 46113 - Moncada, Valencia.

* Autor de contacto: rsuay@ivia.es

Resumen

Con la finalidad de obtener un efluente líquido apto para su reutilización en granja, bien para limpieza bien para irrigación, se ha diseñado un sistema de manejo y tratamiento de purines que consta de una serie de dispositivos de separación sólido-líquido. En dicho sistema el purín es sometido a la separación física producida por una prensa de tornillo que puede trabajar de forma individual o como tratamiento previo a una centrifuga horizontal. La parte líquida se deja sedimentar en un depósito, desde el que es dirigida, a través de un depósito de regulación, a nueve filtros lentos de arena (3 repeticiones de 3 tipos de arenas), donde termina el proceso de separación y queda dispuesta para su reutilización.

Palabras clave

Centrífuga; Eficacia; Eficiencia energética; Filtro lento de arena; Prensa tornillo; Reutilización de agua.

INTRODUCCIÓN

El principal problema de los residuos ganaderos, y en particular de los purines, es la concentración de su producción en determinadas áreas geográficas superando la capacidad de aceptación del medio. La aplicación excesiva de residuos ganaderos al suelo contribuye a la contaminación de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, debido a la elevada presencia en éstos de nutrientes y organismos patógenos (Campos, 2001), lo que puede dar lugar a un detrimento de la calidad de las aguas para el consumo humano, especialmente debido a un exceso de nitratos (Hernández, 2006). Además, la elevada presencia de nutrientes contribuye a la contaminación del suelo tanto por acumulación como por los desequilibrios ocasionados entre estos elementos. También es importante resaltar los efectos ocasionados sobre la atmósfera como son la producción de olores desagradables, que afecta en numerosas ocasiones a la población circundante, las emisiones gaseosas de NH_3 , SH_2 , NO_x y compuestos orgánicos volátiles, que contribuyen a la lluvia ácida y al efecto invernadero, y de forma relevante la generación de metano, uno de los gases de mayor importancia en el cambio climático. Finalmente, se debe destacar que los purines de cerdo contienen diversos organismos patógenos susceptibles de transmitirse al ser humano través de las aguas o de la atmósfera (Bicudo y Goyal, 2003).

La mayoría de las granjas porcinas de la Comunidad Valenciana son de tamaño pequeño y mediano (MAPA, 2002). Se trata principalmente de granjas familiares con grandes dificultades, tanto económicas como de recursos humanos, para aplicar las técnicas actuales recomendadas en el manejo de purines. Por ello, el método de gestión de purines predominante en estas explotaciones consiste en esparcir los purines en tierras agrícolas y forestales colindantes, después de unos meses de estancia en balsas (lagunaje). Esto conlleva importantes riesgos de contaminación medioambiental, especialmente en las zonas de la Comunidad catalogadas como zonas vulnerables (Decreto 13/2000).

Al mismo tiempo, la escasez de recursos hídricos unida al carácter estacional y torrencial de las precipitaciones hacen de la Comunidad Valenciana una región semiárida que justifica plenamente la

adopción de sistemas de manejo de purines que, además de ser respetuosos con el medio ambiente y económicamente viables, proporcionen agua disponible. Una de las ventajas más importantes que se obtienen realizando una gestión de los purines de manera sostenible es que prevalezca la valorización de los purines frente a su eliminación. Así lo recomienda la política comunitaria de Residuos y la Ley 10/1998, que en su artículo 11.2. obliga a que todo residuo potencialmente reciclable o valorizable se destine a estos fines. De este modo, una alternativa adecuada puede ser la reutilización de la fracción líquida en la propia granja, bien en irrigación bien en limpieza.

La separación de sólidos se utiliza como tratamiento complementario en la digestión biológica y la deshidratación térmica, o para la reutilización del efluente. Se han descrito diversos sistemas físicos de tratamiento de purines, tales como centrifugas y prensas, comúnmente denominados separadores mecánicos, que producen un efluente apto para ser esparcido en campo o para ser reutilizado en granja, además de un material valorizable mediante compostaje (Melse y Verdoes, 2005).

La prensa de tornillo se compone de un sinfín central, que fuerza el purín a pasar a través de un tamiz cilíndrico, separando por un lado una fracción sólida y por otro una fracción líquida. Con una concentración de sólidos totales del 5% en el purín de entrada, Watts *et al.* (2002) obtuvieron reducciones de entre un 25-40% de sólidos totales utilizando un tamiz de 0,5 mm. Aunque su eficacia varía en función de las propiedades del purín, el contenido de sólidos totales retenidos en la parte sólida oscila entre un 20-60% (Campos *et al.*, 2004). Se han demostrado reducciones de entre un 6 y un 24% de nitrógeno total Kjeldahl, de entre un 15-29% de fósforo total (Chastain *et al.*, 2005; Gooch *et al.*, 2005; Westerman y Arogo, 2005) y de un 30-60% en el caso de la demanda química de oxígeno (DQO) (Campos *et al.*, 2004).

Existen dos tipos de centrifugas, las de eje horizontal o decantadoras centrifugas (*decanter*) y las de eje vertical o *centrisieve*. La centrifuga utilizada en nuestra experiencia es del primer tipo. En ella, un cilindro horizontal gira a grandes velocidades y en continuo separando, por efecto de la fuerza centrífuga, la fracción líquida, que se deposita en la cara externa, de la sólida que queda en el interior de dicho cilindro y es forzada a salir por la acción de un rascador interno. Las centrifugas son muy eficaces en la separación de sólidos con contenidos de humedad relativamente bajos. Este tipo de centrifuga elimina alrededor del 35-45% de los sólidos totales de los purines (Watts *et al.*, 2002). En cuanto a la eficacia de separación de nutrientes esta oscila entre un 10-40% en el caso del nitrógeno y un 40-80% en el caso del fósforo, así como un 30-60% de la DQO (Campos *et al.*, 2004).

Igualmente se han propuesto sistemas a base de filtros de arena como una alternativa eficiente al clásico esparcimiento en campo, o filtros verdes para aguas de salas de ordeño (Rodgers *et al.*, 2005). La filtración lenta en arena es un método interesante para el tratamiento avanzado de efluentes para su reutilización (Adin, 2003), además se utiliza para el tratamiento de aguas potables por sus características de sencillez, bajo coste, eficiencia y fiabilidad, siendo una de las técnicas más antiguas y efectivas para el tratamiento de agua. Este tratamiento ha sido reconocido por la agencia de protección ambiental de Estados Unidos como un técnica adecuada para pequeños sistemas de tratamiento (USEPA, 1999) e igualmente recomendada por la Organización Mundial de la Salud para fomentar el desarrollo de determinadas ciudades. Los filtros de arena no sólo realizan un tratamiento físico del efluente (eliminando sólidos) sino que debido a la presencia de microorganismos que se adhieren a las arenas también son capaces de eliminar amonio y fósforo del mismo (Crites y Tchobanoglous, 1998; Kang *et al.*, 2003). Los filtros de arena producen un efluente de alta calidad con reducciones importantes de la demanda biológica de oxígeno (DBO). Asimismo, pueden lograr reducciones significativas de bacterias coliformes fecales (USEPA, 1999).

El objetivo de este trabajo consiste en el desarrollo y la evaluación de un sistema de tratamiento de purines basado en la separación sólido-líquido, compuesto por una prensa de tornillo y una

centrífuga a las que se agrega un sistema de filtración lenta en arena como medio para producir un efluente líquido apto para la irrigación y la reutilización en granjas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Figura 1 muestra un esquema del sistema de separación sólido-líquido (S/L) y filtración instalado en la granja experimental del IVIA en Segorbe (Castellón). Se han ensayado y evaluado dos dispositivos alternativos de separación, una prensa de tornillo (5,5 kW y paso de malla 0,5 mm) y una centrífuga (5500 rpm y anillos de regulación de 146 mm de diámetro). El efluente líquido resultante es bombeado hasta un tanque de sedimentación de 1000 L desde donde es conducido a un tanque de regulación que alimenta los diferentes filtros de arena ensayados. El tanque de regulación, de flujo ascendente de 36 cm de gravilla (55 cm de diámetro y 115 cm de profundidad), actúa como prefiltro.

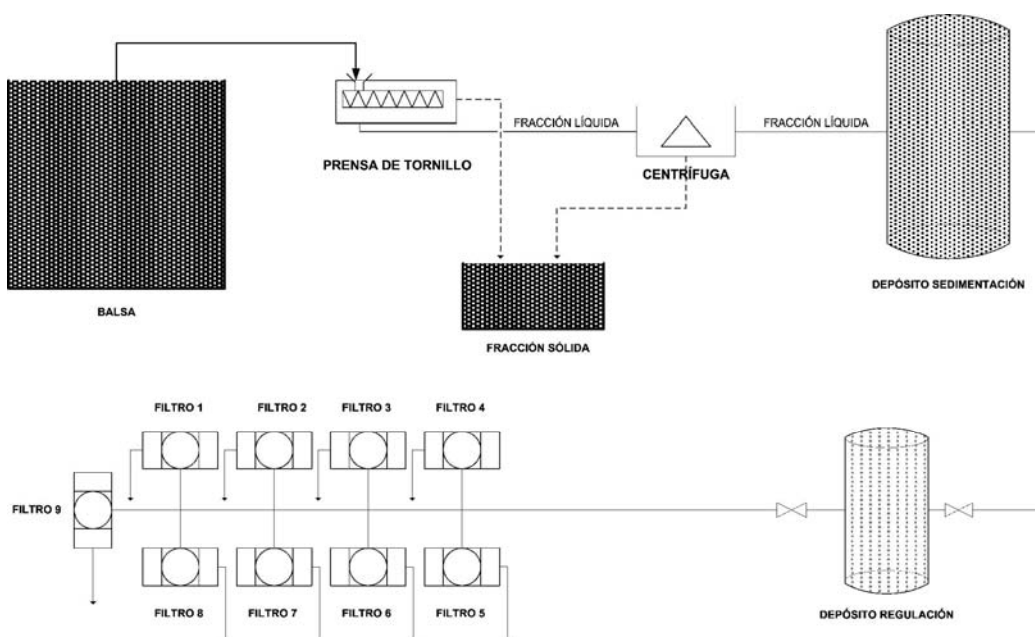


Figura 1. Esquema del proceso de separación sólido/líquido ensayado.

La cantidad de residuos producida en granja depende del tipo de animal y del sistema de manejo de la granja (sistema de alimentación, bebederos, sistema de limpieza, etc.). Su composición varía según la dieta alimentaria, el estado fisiológico de los animales, la edad del purín y las prácticas de manejo de cada granja (Campos, 2001). Para caracterizar el tipo de purín a tratar, se realizaron análisis físicos y químicos del purín (purín bruto) antes de realizar los tratamientos (Tabla 1). Se ha analizado DBO₅, DQO, nitrógeno Kjeldahl (N_{TK}), nitrógeno amoniacal (N_A), nitratos (NO₃⁻), fósforo total (P_T), fosfatos (PO₄³⁻), sólidos totales (ST), sólidos en suspensión (SS) y sólidos volátiles (SV) siguiendo los métodos oficiales de análisis del MAPA (1999), los métodos normalizados UNE e ISO y algunas Prácticas Normalizadas de Trabajo (PNT) acreditadas por la ENAC (Entidad Nacional de Acreditación).

Se puede observar en los resultados de caracterización del purín bruto (Tabla 1) que no se corresponde con ninguna de las caracterizaciones individuales realizadas según las distintas categorías de explotaciones (producción de lechones, cebaderos, etc.) pues se trata de una granja experimental en la que conviven todas ellas. Tanto los nutrientes (nitrógeno y fósforo) como la DBO₅ y la DQO presentan valores muy elevados comparados con las analíticas de purín presentadas por diversos autores (Kruger *et al.*, 1995; Ministerio de Agricultura de Chile, 2002;

Hernández, 2006; Moral *et al.*, 2008). La DBO₅ cuantifica el valor de la contaminación de un efluente ya que mide el consumo de oxígeno por parte de bacterias aerobias que para su desarrollo utilizan la materia orgánica como alimento y la DQO representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica disuelta en la fase líquida. La relación entre éstas indica el grado de biodegradabilidad de un efluente y puesto que la relación DBO/DQO en este caso es prácticamente de 0,5 podemos concluir que el purín presenta un grado satisfactorio de biodegradabilidad.

Tabla 1. Análisis de caracterización del purín bruto realizado en cuatro muestras.

Muestra	DBO ₅ (mg O ₂ /L)	DQO (mg O ₂ /L)	N _{TK} (mg/L)	N _A (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	P _T (%)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	ST (%)	SS (mg/L)	SV (%)
1	32000	77700	4900	3400	12	1,70	1630	4,2	26000	44
2	29000	79300	4700	3200	< 10	1,00	800	4,0	28000	68
3	29000	43500	4800	3100	< 10	2,63	1970	3,8	28000	67
4	31700	55100	4800	3000	< 10	2,24	1830	4,9	39000	72
Medias	30425	63900	4800	3175	< 10	1.89	1558	4.2	30250	63

Con el fin de evaluar la eficacia de separación de cada uno de los sistemas mecánicos se analizó el purín antes y después de cada tratamiento y se determinaron las características físicas y químicas del efluente obtenido. Los parámetros determinados: ST, SV, SS, DBO₅, DQO, N_{TK}, N_A, NO₃⁻ y P_T fueron analizados según los métodos establecidos en MAPA (1999), UNE, ISO y PNT. Asimismo, para evaluar la eficiencia de los equipos de separación mecánica se determinó el gasto energético y el tiempo que cada máquina invertía en tratar un volumen de purín de 1500 L. Se utilizaron dos modos de trabajo en cada equipo y se combinaron dando lugar a los seis tratamientos (T1-T6) enumerados a continuación:

- T1: Prensa de tornillo (60 kg de presión en el tapón).
- T2: Prensa de tornillo + Centrífuga al 50% de caudal máximo (1,25 L/s).
- T3: Prensa de tornillo + Centrífuga al 100% de caudal máximo (2,08 L/s).
- T4: Prensa de tornillo con sobrepresión (presión extra de 23 kg en el tapón).
- T5: Prensa de tornillo con sobrepresión + Centrífuga al 50% de caudal máximo (0,9 L/s).
- T6: Prensa de tornillo con sobrepresión + Centrífuga al 100% de caudal máximo (2,08 L/s).

Los tamaños de arena utilizados y la altura de los filtros son los parámetros clave que definen la eficacia de la filtración en arena (Visscher, 1990). Según los estudios realizados por diversos autores, los filtros lentos de arena eliminan entre un 60-80% de sólidos en suspensión cuando el tamaño de arena es de unos 0,6 mm mientras que el uso de un tamaño de arena menor no se justifica ya que la obtención de una pequeña mejora en la eficacia de separación de este tipo de sólidos hace aumentar desproporcionadamente los tiempos de residencia (Farooq *et al.*, 1993; Adin, 2003).

Para estudiar el efecto del tamaño de las arena en la eficacia del tratamiento se ha diseñado el Tratamiento 7. Se han construido 9 columnas filtrantes (30 cm de diámetro y 100 cm de profundidad), y se han rellenado con arenas de distintas granulometrías (0,7 mm 0,4-0,8 mm y 1,4-2,5 mm) hasta una altura de 60 cm, siguiendo las recomendaciones de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de EEUU (USEPA, 1999). En las partes superior e inferior de las columnas se han dispuesto capas de 10 cm de gravilla para facilitar el drenaje y para conseguir una distribución uniforme del efluente en la superficie del filtro. Cada una de estas columnas recibe diariamente una carga de 14,4 L de efluente pretratado repartido en doce dosis. El tratamiento 7 (T7) se divide así en tres tratamientos correspondientes a los tres tipos de arenas de diferente grosor evaluados:

- T7: Tratamiento 6 + Filtros de arena.
 - T7.1: Filtro de arena de 0,7 mm.
 - T7.2: Filtro de arena de 0,4-0,8 mm.
 - T7.3: Filtro de arena de 1,4-2,5 mm.

El comportamiento de cada tipo de columna filtrante se ha caracterizado muestreando a la salida de cada uno de los filtros de arena. En cada muestra se midió pH y conductividad eléctrica (APHA *et al.*, 2005). También se ha obtenido la distribución del tamaño de partículas con una serie de tamices de tamaño decreciente (Møller *et al.*, 2002), determinando así la eficacia de separación de cada columna filtrante mediante ratios de masa de sólidos. Para realizar un seguimiento completo del efluente desde su recogida en la balsa de captación se ha realizado este análisis granulométrico también a los tratamientos anteriores (T1 a T6).

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El sistema diseñado ha sido construido e instalado en el Centro de Investigación y Tecnología Animal del IVIA, ubicado en Segorbe. Dicho sistema ha superado con éxito las fases de instalación y puesta en marcha. La Tabla 2 presenta un resumen de los consumos energéticos, de la eficiencia energética y de la eliminación de materia seca de cada uno de los tratamientos. Asimismo se presenta en la Figura 2 la granulometría realizada en el purín bruto y al efluente de cada uno de los tratamientos.

Tabla 2. Eficiencia energética de los tratamientos de separación física sólido-líquido ensayados.

Tratamiento	Consumo energético (kWh/t)	Tiempo	Sólidos totales (%)	Sólidos totales eliminados (g/kg)	Eficiencia energética (kg/kWh)	Eficiencia energética por etapas (kg/kWh)
Purín bruto			4,00			
T1	0,22	6' 40"	3,70	3,0	13,43	13,43
T2	1,39	20' 9"	2,95	10,5	7,54	6,41
T3	1,33	14' 40"	3,05	9,5	7,16	5,89
Purín bruto			4,45			
T4	0,18	6' 12"	3,95	5,0	27,27	27,27
T5	1,88	24' 48"	2,75	17,0	9,04	7,07
T6	1,81	14' 12"	2,90	15,5	8,56	6,45

A la vista de estos datos podemos inferir que la prensa de tornillo es mucho más eficiente con más presión en el tapón (T4 frente a T1). Sin embargo, es interesante destacar que en el caso del T4 se partió de un purín con un contenido en sólidos totales (ST) mayor (4,45% frente a 4,00) correspondiendo además esta mayor cantidad de sólidos a los de mayor tamaño (Figura 2), que son los que este equipo retiene y elimina de la fracción líquida (paso de malla 0,5 mm).

Atendiendo a los tratamientos en los que se incorpora la centrífuga, se observa que los tratamientos T5 y T6 eliminan muchos más sólidos que T2 y T3, con un consumo energético que es solamente algo superior. Estos tratamientos son por tanto más eficientes energéticamente. Se podría pensar que la gran eficiencia del T4 (27,27 kg/kWh) ha condicionado favorablemente las eficiencias de los tratamientos T5 y T6. Se ha considerado por tanto presentar las eficiencias de la segunda etapa de la separación sólido/líquido independientemente (eficiencia energética por etapas, en Tabla 2). Se observa pues que la eficiencia de la segunda parte del tratamiento, esto es de la centrífuga, sigue siendo mayor en los tratamientos T5 y T6, lo que puede explicarse por la mayor cantidad de sólidos totales y su distribución granulométrica en el efluente utilizado. Estos mismos datos demuestran que la centrífuga es más eficiente cuando trabaja al 50% de caudal (tratamientos T2 y T5) que cuando trabaja a caudal máximo (tratamientos T3 y T6).

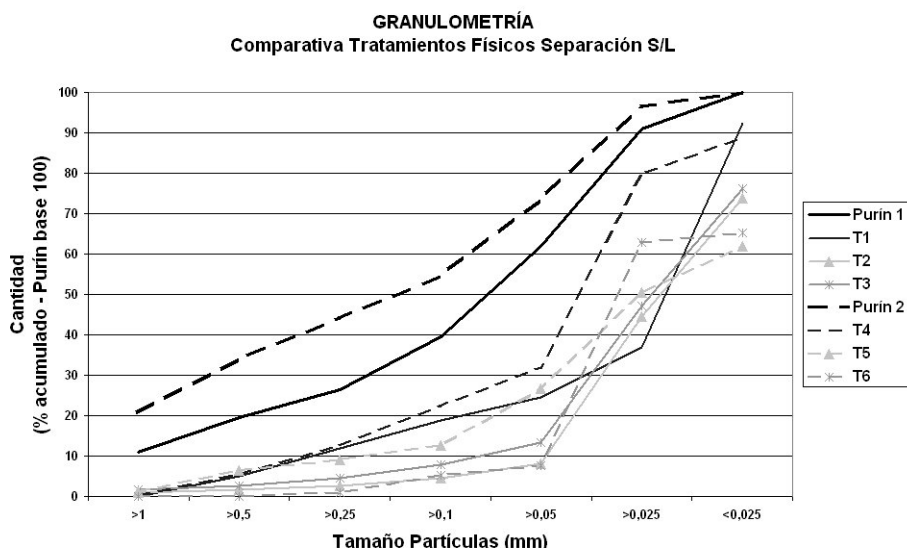


Figura 2. Evolución de la granulometría de los tratamientos de separación física S/L ensayados.

En la Tabla 3 se presentan los porcentajes de reducción obtenidos de los parámetros analizados para cada tratamiento. En España, con el fin de evitar la contaminación de aguas se estableció el Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, estableciendo límites de aplicación de la cantidad de estiércol por hectárea en función de la cantidad de nitrógeno del efluente, la sensibilidad del elemento receptor y los años de aplicación de dicho efluente en el suelo. Como puede observarse en la Tabla 3, la eliminación de nitrógeno en todos los tratamientos no es elevada, lo que limita la cantidad de purín que puede ser aplicada al medio natural.

Tabla 3. Porcentajes de reducción de los parámetros analizados en cada tratamiento.

Tratamiento	DBO ₅ (%)	DQO (%)	N _{TK} (%)	N _A (%)	P _T (%)	ST (%)	SS (%)	SV (%)
T1	9,4	3,9	4,1	11,8	--	16,7	3,6	0,0
T2	6,9	14,9	2,1	3,3	73,3	14,3	37,0	1,5
T3	34,5	21,4	4,3	6,7	26,7	8,6	37,0	1,5
T4	9,1	16,8	--	0,0	2,7	20,4	30,8	--
T5	--	21,2	27,6	31,9	59,8	28,2	37,0	2,9
T6	16,0	19,7	24,1	36,2	46,1	20,5	25,9	1,5

La centrífuga se muestra más efectiva que la prensa de tornillo en la eliminación de la mayor parte de parámetros analizados. Existen diferencias en la reducción de parámetros cuando la prensa trabaja con más o menos presión, obteniendo mayores reducciones de nitrógeno cuando dicha máquina trabaja a menor presión.

Utilizando la prensa de tornillo se ha obtenido una reducción de materia seca menor que la registrada por Møller *et al.* (2002). Tal como se señaló anteriormente, la prensa de tornillo puede eliminar entre un 6 y un 24 % de nitrógeno total Kjeldahl, un 15-29% de fósforo total (Chastain *et al.*, 2005; Gooch *et al.*, 2005; Westerman y Arogo, 2005) y de un 30-60% en el caso de la DQO (Campos *et al.*, 2004). En esta experiencia, la reducción de nitrógeno y DBO₅ ha sido algo menor de lo esperada (2,1-4,1%), y la reducción de fósforo total oscila dependiendo de las condiciones de trabajo.

En cuanto a la centrífuga, el porcentaje de reducción de sólidos totales es menor que el obtenido por distintos autores (Glerum *et al.*, 1971; Sneath *et al.*, 1988) aunque se mantiene dentro de los rangos normales de reducción para centrifugas horizontales establecidos por Watts *et al.* (2002) y Zhang y

Westerman (1997). Por otro lado, la eficacia de separación de nutrientes (nitrógeno y fósforo), así como de la DQO es similar a la recogida por la bibliografía (Zhang y Westerman, 1997; Campos *et al.*, 2004), especialmente cuando la prensa de tornillo trabaja en condiciones de sobrepresión y el caudal de entrada a la centrífuga se encuentra restringido.

La Figura 3 presenta la granulometría del tratamiento de filtración en arena a partir de efluente obtenido del tratamiento T6. Según se observa en dicha Figura 3, existe una clara tendencia a la reducción del diámetro de sólidos conforme el efluente recibe los distintos tratamientos. No se observan grandes diferencias entre los tres tipos de arena pero si una reducción importante del tamaño de sólidos en todos los filtros de arena con respecto al efluente de entrada a dichos filtros. En esta figura se manifiesta claramente la eficacia de separación de sólidos tanto de la prensa de tornillo, como de la centrífuga horizontal y de los filtros lentos de arena. El tratamiento completo de separación aplicado puede resumirse en que la prensa de tornillo elimina las sustancias sólidas más groseras, principalmente hasta 0,5 y 0,25 mm, que la centrífuga elimina los sólidos intermedios, hasta 0,05 mm; y que los filtros de arena producen una separación fina, eliminando la práctica totalidad de los sólidos > 0,025 mm restantes, y la mayoría de los sólidos < 0,025 mm.

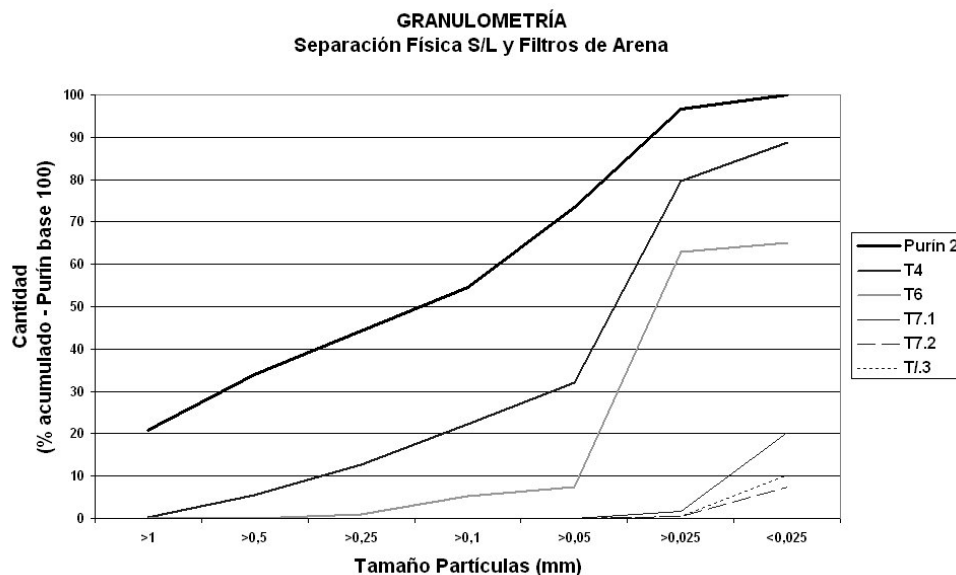


Figura 3. Evolución de la granulometría de la separación física S/L y filtración lenta en arena.

Estos resultados indican que el efluente, una vez filtrado con este tipo de tratamiento, podría ser utilizado para la irrigación de cultivos. Por ello, y como analíticas previas, se han realizado medidas de pH y CE en muestras del efluente al final de los tratamientos (T7). Los resultados obtenidos en función del grosor de la arena utilizada son los siguientes:

T7.1: pH = 7,99 y CE = 13,65 dS/m.

T7.2: pH = 8,10 y CE = 2,24 dS/m.

T7.3: pH = 8,17 y CE = 19,52 dS/m.

Según los criterios establecidos por Ayers y Westcot (1985) para el riego con aguas y aguas residuales, todos los valores de pH se encuentran dentro de un rango normal. En cambio, en el análisis de conductividad eléctrica tan solo el efluente obtenido en el tratamiento T7.2 resulta adecuado para el riego de cultivos. No obstante, estos valores son orientativos debido al corto periodo de tiempo que llevan funcionando dichos filtros de arena. Se prevé que una vez se haya formado la capa de microorganismos fotosintéticos y bacterias heterótrofas en la parte superficial de los filtros, comúnmente denominada *schmutzdecke* y que modifica la actividad de los filtros de

arena proporcionándoles propiedades biológicas (Adin, 2003), la eficacia de dichos filtros podrá verse incrementada.

El reciente Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas en España, y que se encuentra actualmente en vigor, limita la presencia de ciertos parámetros en función del uso al que vaya a ser destinada dicha agua residual. En el caso del agua destinada a la limpieza, exceptuando la de industrias alimentarias, los límites están establecidos de la siguiente manera: *Escherichia coli* (*E. coli*) a 10000 UFC/100 mL, los sólidos en suspensión a 35 mg/L y la turbidez a 15 UNT (Unidades Nefelométricas de Turbidez). En el caso del riego para cultivos leñosos, flores, forrajes, etc. el límite se encuentra establecido en un huevo cada 10 L de nemátodos intestinales, *E.coli* en 10000 UFC/100 mL y los sólidos en suspensión en 35 mg/L. Para establecer la adecuación de este tipo de efluente para el riego a la legislación española, en la actualidad se están realizando la toma de muestras y los análisis pertinentes. En el caso de que el efluente final sea apto para su uso en riego está previsto realizar estudios con vistas a analizar el comportamiento de diversos cultivos regados con el mismo.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio está parcialmente financiado por el Ministerio de Medio Ambiente a través del Proyecto de Investigación N° Exp.: A241/2007/3-08.2. Asimismo, el investigador principal de dicho proyecto y coautor de este artículo, el Dr. Ricardo Suay, está cofinanciado por los fondos FEDER a través de un contrato del programa Doctores-CCAA del INIA.

REFERENCIAS

- Adin, A. (2003). Slow granular filtration for water reuse. *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(4), 123-130.
- APHA, AWWA, WEF (2005). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. 21st ed. Washington DC, USA.
- Ayers, R.S., Westcot, D.W. (1985). *Water Quality for Agriculture*. FAO. Rome, Italy.
- Bicudo, J.R., Goyal, S.M. (2003). Pathogens and manure management systems - a review. *Environmental Technology*, 24(1), 115-130.
- Campos, E. (2001). *Optimización de la Digestión Anaerobia de Purines de Cerdo Mediante Codigestión con Residuos Orgánicos de la Industria Agroalimentaria*. Tesis doctoral. Universidad de Lleida. 371 pp.
- Campos, E., Illa, J., Magrí, A., Palatsi, J., Solé, F., Flotats, X. (2004). *Guia dels Tractaments de les Dejeccions Ramaderes*. Departament de Medi Ambient. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya. 70 pp. Internet: [http:// www.arc-cat.net](http://www.arc-cat.net).
- Chastain, J.P., Lucas, W.D., Albrecht, J.E., Pardue, J.C., Adams, J., Moore, K.P. (2005). Removal of solids and major plant nutrients from swine manure using a screw press separator. *Applied Engineering in Agriculture*, 17(3), 355-363.
- Crites, R., Tchobanoglous, G. (1998). *Small and Decentralised Wastewater Management Systems*. McGraw-Hill. Boston.
- Decreto 13/2000, de 25 de enero, del Gobierno Valenciano, por el que se designan, en el ámbito de la Comunidad Valenciana, determinados municipios como zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes agrarias.
- Farooq, Sh., Yousef, A.K., (1993). Slow Sand Filtration of Secondary Effluent. *Journal of Environmental Engineering*, 19(4), 615-630.
- Glerum, J.C., Klomp, G. y Poelma, H.R. (1971). The separation of solid and liquid parts of pig slurry. *Proceedings 1rst International Symposium on Livestock Wastes*, 345-347. 19-22 April. American Society of Agricultural Engineers. Columbus, Ohio, USA.
- Gooch, C.A., Inglis, S.F., Czymmek, K. (2005). Mechanical solid-liquid manure separation performance evaluation on four New York state dairy farms. A preliminary report. ASAE Annual Meeting. Paper N° 054104.

- Hernández, D. (2006). *Utilización del Purín de Cerdo como Enmienda Orgánica en Suelos Degradados: Valoración Agronómica y Ambiental*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. 257 pp.
- Kang, Y. W., Mancl, K.M., Tuovinen, O.H. (2003). Biological treatment of turkey processing wastewater with coarse/fine sand filtration. *Proceedings of the International Symposium on Animal, Agricultural and Food Processing Wastes*, 44-49. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI. USA.
- Kruger, I.R., Taylor, G., Ferrier, M. (1995). *Effluent at Work. Australian Pig Housing Series*. New South Wales Agriculture, Tamworth NSW, Australia.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.
- MAPA (1999) *Métodos Oficiales de Análisis*. Tomo III. Secretaría General Técnica del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- MAPA (2002). *Libro Blanco de la Agricultura Española*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. <http://libroblancoagricultura.com/index.asp>. (última consulta: 20/02/06).
- Melse, R.W., Verdoes, N. (2005). Evaluation of four farm-scale systems for the treatment of liquid pig manure. *Biosystems Engineering*, **92**(1), 47-57.
- Ministerio de Agricultura de Chile (2002). Generación de información local en aplicación de purines de cerdo al suelo como apoyo a la implementación de los acuerdos de producción limpia. Informe Técnico Anual.
- Møller, H.B., Sommer, S.G., Ahring, B.K. (2002). Separation efficiency and particle size distribution in relation to manure type and storage conditions. *Bioresource Technology*, **85**(2), 189-196.
- Moral, R., Perez-Murcia, M. D., Perez-Espinosa, A., Moreno-Caselles, J., Paredes, C., Rufete, B. (2008) Salinity, organic content, micronutrients and heavy metals in pig slurries from South-eastern Spain. *Waste Management*, **28**(2), 367-371.
- Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.
- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Rodgers, M., Healy, M. G., Mulqueen, J. (2005). Organic carbon removal and nitrification of high strength wastewaters using stratified sand filters. *Water Research*, **39**(14), 3279-3286.
- Sneath, R.W., Shaw, M., Williams, A.G. (1988). Centrifugation for separating piggery slurry. 1. The performance of a decanting centrifuge. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **39**(2), 181-190.
- USEPA (1999). *Wastewater Technology Fact Sheet: Intermittent Sand Filters*. United States Environmental Protection Agency. EPA 832-F-99-067.
- Visscher, J.T. (1990). Slow sand filtration: Design, operation and maintenance. *Journal of the American Water Works Association*, **82**(6), 67-71.
- Watts, P.J., Tucker, R.W., Pittaway, P.A., McGahan, E.J. (2002). *Low Cost Alternatives for Reducing Odour Generation*. Milestone nº5 of project nº1629, Part A Report 5. Australian Pork Limited.
- Westerman, P.W., Arogo, J. (2005). On-farm performance of two solid/liquid separation systems for flushed swine manure. *Applied Engineering in Agriculture*, **21**(4), 707-717.
- Zhang, R.H., Westerman, P.W. (1997). Solid separation of animal manure for odor control and nutrient management. *Transaction of ASAE*, **13**(5), 657-664.