

VI CONGRESO IBÉRICO de AgrolIngeniería

5 a 7 de Septiembre | 2011
Universidade de Évora | Portugal



Fosa de purines vs separación *in situ* de heces y orina en porcino de cebo: producción de purín y de estiércol

F. Alonso¹, A. Mateos¹, M. López², E. Sánchez¹, S. Iglesias², J. Vázquez¹, L. Galán², M.A. Garcimartín¹, R. Calero², I. Ovejero¹

¹ Grupo de Investigación Instalaciones Agro-ganaderas y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Ciudad Universitaria s/n. 28040 Madrid. España. E-mail: paco.alonso.peralta@upm.es

² TRAGSA: Dirección Adjunta de I+D+i. Julián Camarillo, 6B. 28037 Madrid. España. E-mail: rcalero@tragsa.es

Resumen

El objetivo de este estudio fue comparar, en un alojamiento de cebo de porcino con enrejillado parcial (Laboratorio de Bienestar Porcino), la producción de residuos con un sistema tradicional de fosa de purines frente a un sistema de separación *in situ* con cinta plana. La fosa se vació cada cinco semanas, y la cinta se vació dos veces al día a lo largo del periodo de cebo. Ambos sistemas tuvieron el mismo tipo de ventilación por extracción bajo suelo. La cantidad de residuos generados con la separación *in situ* fue el 70,50% de la correspondiente al sistema tradicional, que, a su vez, fue sensiblemente menor que la habida en las explotaciones comerciales. El sistema de ventilación por extracción bajo suelo fue muy eficiente para la evaporación de agua de las deyecciones y la consecuente reducción de la cantidad de residuos generados; asimismo, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la separación *in situ* permitió una notable reducción adicional de dicha cantidad, en comparación con el sistema tradicional.

Palabras Clave: porcino, purín, estiércol, separación *in situ* heces-orina, evaporación de gua.

Abstract

The aim of this experiment was to study the influence of the swine waste management system (flat conveyor belt for *in situ* separation of feces-urine or traditional slurry pit) on the amount of produced waste in a fattening pig house with partly slatted floor (Pig Welfare Laboratory). The slurry was removed every five weeks and the solid manure over the belt twice a day along the whole fattening period. In both cases the ventilation was mechanical exhaust underneath slat. The amount of generated waste with the *in situ* separation was 70.50% of the slurry amount that was, at the same time, lower than that produced in commercial fattening pig houses. The ventilation system was very efficient in the water evaporation and so played a key role in the reduction of generated manure; also, the obtained results shows that *in situ* separation allowed a considerable additional reduction on such amount, compared with the traditional system.

Keywords: swine, slurry, manure; *in situ* separation of feces-urine, water evaporation.

1. INTRODUCCIÓN

Para las explotaciones de ganado porcino en general, y especialmente para las ubicadas en zonas de gran concentración ganadera, el purín representa un serio problema por las limitaciones medioambientales y por los altos costes que conlleva su adecuado tratamiento; por tanto, reducir la cantidad de residuos generados es un importante objetivo para dichas explotaciones.

Por otra parte, en los últimos años se han propuesto sistemas que evitan la generación de purín mediante la separación *in situ* (en el propio alojamiento) de las heces y la orina producidos (Ogink *et al.*, 2000; Vázquez *et al.*, 2001; Koger *et al.*, 2003; Baird *et al.*, 2004; Lachance *et al.*, 2005). En general, dicha separación no es perfecta y lo que en realidad se obtiene son dos fracciones diferentes: la líquida, compuesta por la mayor parte de la orina producida y por una pequeña cantidad de heces arrastradas (Ogink *et al.*, 2000), y la sólida, consistente en las heces con un contenido variable en humedad.

El objetivo del presente trabajo fue comparar la producción de residuos en un alojamiento con fosa de purín de sección rectangular bajo enrejillado parcial, que es una Mejor Técnica Disponible según los estudios de la Comisión Europea (2004), con la habida, en el mismo alojamiento, utilizando el sistema de separación patentado por (Vázquez *et al.*, 2002). Además, se evaluó la eficiencia del sistema de ventilación mediante extracción bajo suelo para la evaporación de agua de las deyecciones, y reducir así la cantidad de residuos producidos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se ha llevado a cabo en el Laboratorio de Bienestar Porcino (LBP) de la E.T.S.I. Agrónomos (UPM). El LBP es una nave experimental para cebo de ganado porcino que consta de dos pisos: en el superior se alojan los animales, y en el inferior se sitúan los sistemas de recogida de deyecciones (fosa de purín o cinta, según el caso -Figura 1-) y los extractores del sistema de ventilación. El piso superior consta de un pasillo general que da acceso a cuatro salas independientes. Cada sala tiene seis corrales con capacidad para siete o diez animales (42 o 60 animales en cada sala, en función del peso al sacrificio, cumpliendo la normativa comunitaria) con suelo parcialmente enrejillado (40% de la superficie del corral). Para el presente ensayo solamente se han utilizado dos de las cuatro salas: 1 y 2, ambas con el mismo tipo de suelo y de enrejillado, pero una (Sala 1) con cinta para la separación de heces y orina (Vázquez *et al.*, 2002), y otra (Sala 2) con fosa de purín. El sistema de ventilación utilizado en ambas salas fue mecánica por extracción bajo suelo.

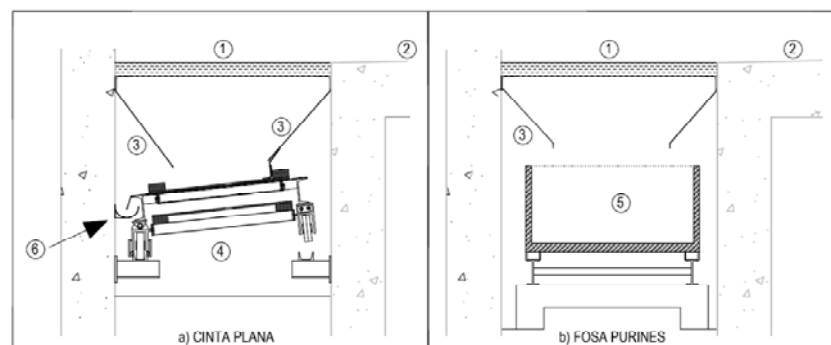


Figura 1. Esquemas de la disposición de los sistemas de recogida de deyecciones: a) cinta plana; b) fosa de purín (1: slat; 2: suelo continuo; 3: deflectores; 4: cinta; 5: fosa-canal; 6: canalón orina).

En este ensayo, se alojaron 7 cerdos Pi x LWLR en cada corral. El peso vivo medio al inicio del periodo experimental fue de $29,94 \pm 3,10$ kg y de $28,55 \pm 3,91$ kg para las salas 1 y 2, respectivamente y, tras 91 días, el peso medio final fue de $109,69 \pm 9,08$ kg y de $104,09 \pm 12,73$ kg para las salas 1 y 2, respectivamente. El pienso se distribuyó ad libitum controlando el consumo para cada corral.

Bajo el enrejillado de la Sala 1 estuvo situada una cinta plana, inclinada transversalmente 6° . Al caer sobre ésta las deyecciones y la orina, las primeras quedan retenidas, mientras que la orina escurre transversalmente por la cinta, recogándose en un canalón ligeramente inclinado situado en uno de sus lados y que vierte en un contenedor. Las deyecciones se descargaron a otro contenedor al ponerse en marcha la cinta, con una frecuencia, para este ensayo, de dos veces al día (10:00 y 19:00 horas). La elección del ángulo de inclinación y de la frecuencia de extracción se realizó conforme a estudios previos de los autores (Alonso *et al.*, 2010). En la Sala 2, bajo el enrejillado, se instaló un canal de sección rectangular (ancho: 0,90 m; alto: 0,45 m), simulando una fosa de purín, en el cual se recogían conjuntamente heces y orina. La fosa se vació cada cinco semanas. Diariamente, cinco días por semana, se controló el volumen de la fracción líquida separada por la cinta (orina, principalmente), y semanalmente, la cantidad de estiércol (fracción sólida). También se controló semanalmente el volumen de purín almacenado en el canal.

Todas las semanas se tomaron tres muestras independientes tanto de la fracción sólida como de la líquida de la Sala 1, y otras tres del purín de la Sala 2. En todas las muestras se determinaron el contenido en materia seca (MS), el pH, el nitrógeno total por el método Kjeldahl (Hesse, 1971), el nitrógeno amoniacal (Bremner *et al.*, 1965) y el fósforo total. Asimismo, se determinaron el peso específico de la fracción líquida separada y el del purín.

Mediante anemómetros de molinete (equipos TESTO: sonda de molinete 16 mm + Hygrotest + data logger 175-S1), colocados en las entradas de aire a las salas, se registró la velocidad de paso del aire, y mediante sensores HOBO Pro v2 U23-001, la temperatura y la humedad relativa del aire en las entradas, en el interior de las salas (piso superior), y en las salidas (extractores: piso inferior). Todos estos registros se efectuaron cada dos minutos, realizándose posteriormente los cálculos con las medias para cada 10 minutos. Los valores así calculados se utilizaron para determinar los caudales de ventilación, las humedades específicas del aire y la cantidad de agua evaporada de las deyecciones.

Los datos correspondientes a la producción diaria por cada 1.000 kg de peso vivo de residuos, materia seca de residuos, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal y fósforo se sometieron a análisis de varianza según el modelo que incluía el sistema de recogida de deyecciones como factor fijo, utilizando el procedimiento ANOVA del programa Statgraphics Centurion.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización de las fracciones sólida y líquida separadas por la cinta, y del purín del canal (fosa) se indica en la Tabla 1. Para la fracción sólida, el contenido en nitrógeno total (N_{total}) y la proporción de nitrógeno amoniacal ($N_{amoniacal}$) sobre el N_{total} fueron similares aunque algo menores que los obtenidos por Aarnink y Ogink (2007); en cambio, el contenido en N_{total} fue sensiblemente menor y la proporción $N_{amoniacal} / N_{total}$ claramente mayor que lo observado por Baird *et al.* (2004), con sistemas de separación heces-orina similares al nuestro. En cuanto a la fracción líquida, el contenido en N_{total} fue mayor que el encontrado por Baird *et al.* (2004) y muy superior al indicado por Aarnink y Ogink (2007); por su parte, la proporción $N_{amoniacal} / N_{total}$ fue algo menor que la obtenida por Aarnink y Ogink (2007) y muy superior a

la apuntada por Baird *et al.* (2004). Las diferencias entre los distintos trabajos para la alimentación de los animales, la eficiencia de separación heces-orina y el intervalo producción de las deyecciones-recogida de muestras, así como para el pH de la fracción líquida, pueden explicar los resultados obtenidos.

Tabla 1. Caracterización de las fracciones sólida y líquida separadas por la cinta, y del purín del canal (fosa).

Variable	Sala 1 Cinta plana		Sala 2 Canal (fosa)	
	N ¹	Fracción sólida	N ¹	Purín
N _{total} (%)	12	1,1111	12	0,7880
N _{amoniacal} (%)	12	0,2091	12	0,3915
P ₂ O ₅ (%)	12	0,5880	12	0,1740
pH	21	6,753	21	7,485
Fracción líquida				
N _{total} (%)	12	0,7149		-
N _{amoniacal} (%)	12	0,5172		-
P ₂ O ₅ (%)	12	0,0150		-
pH	21	9,235		-

¹ N: número de muestras.

El contenido en fósforo de la fracción líquida fue inferior al encontrado por Baird *et al.* (2004) y por Aarnink y Ogink (2007) en uno de sus ensayos: posiblemente, esto refleje que la eficiencia de separación heces-orina fue mejor con nuestro sistema que con los propuestos por estos autores, lo que se traduciría en una menor contaminación por heces de la fracción líquida.

En la Tabla 2 se indica la producción de residuos a partir de las deyecciones con los dos sistemas estudiados (cinta y fosa). Como era de esperar, no hubo diferencia significativa entre sistemas ($P = 0,8319$) para la variable 'kg MS·1000 kg PV⁻¹·día⁻¹'; en cambio, la cantidad producida en fresco con el sistema de separación *in situ* heces-orina fue significativamente menor ($P < 0,0001$) que la producida con el sistema de fosa: 34,244 kg·1000 kg PV⁻¹·día⁻¹ vs 48,576 kg·1000 kg PV⁻¹·día⁻¹, respectivamente.

No obstante, con ambos sistemas la producción de residuos fue muy pequeña: con la cinta, supuso el 40,77%, y con la fosa, el 57,83% de la producción indicada de 84±24 kg·1000 kg PV⁻¹·día⁻¹ conjuntamente para heces y orina por ASAE (2003). La explicación de estos resultados está en la eficiencia para la evaporación de agua de las deyecciones del sistema de ventilación por extracción bajo suelo con que cuenta el LBP.

Como ejemplo de esta eficiencia, a continuación se muestra lo sucedido en un día concreto (19 de junio 2010) en ambas salas. En la Figura 2, aparece la evolución de las temperaturas exterior, de entrada a las salas tras refrigeración, en su caso, y del interior del alojamiento de los animales en este día. En el interior de ambas salas, la temperatura fue muy similar en todo momento. En la Figura 3, se refleja la evolución de la masa de aire de ventilación de las salas: durante las horas nocturnas (temperatura exterior menor que temperatura interior), esta masa fue menor en la Sala 2 que en la Sala 1, ya que la ventilación estaba regulada para conseguir una determinada temperatura interior y esta era ligeramente menor en aquella sala que en esta.

Tabla 2. Producción de residuos de N_{total} , $N_{amoniacal}$ y P_2O_5 con el sistema de separación in situ y con el sistema tradicional de fosa de purín.

Variables	Sala 1	Sala 2			
	Cinta plana	Canal (fosa)			
	<i>Fracción sólida</i>	<i>Purín</i>			
$m^3 \cdot \text{cerdo}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	-	0,0032			
$kg \cdot \text{cerdo}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,798	3,483			
$kg \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	12,403	48,576			
% MS media	29,60	8,37			
$kg \text{ MS} \cdot \text{cerdo}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,258	0,293			
$kg \text{ MS} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	3,648	4,080			
$kg N_{total} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,13781	0,38278			
$kg N_{amoniacal} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,02506	0,19017			
$kg P_2O_5 \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,07293	0,08452			
<i>Fracción líquida</i>					
$L \cdot \text{cerdo}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	1,490	-			
$L \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	21,582	-			
$kg \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	21,841	-			
ST (mg/L)	22,828	-			
$kg \text{ MS} \cdot \text{cerdo}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,0034	-			
$kg \text{ MS} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,495	-			
$kg N_{total} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,15614	-			
$kg N_{amoniacal} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,11162	-			
$kg P_2O_5 \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,00320	-			
	<i>Total residuos</i>	<i>Total residuos</i>	N¹	EEM²	P³
$kg \cdot \text{cerdo}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	2,305	3,483			
$kg \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	34,244	48,576	12	0,02396	< 0,0001
$kg \text{ MS} \cdot \text{cerdo}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,292	0,293			
$kg \text{ MS} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	4,144	4,080	12	0,00019	0,8319
$kg N_{total} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,29395	0,38278	12	0,01747	0,0007
$kg N_{amoniacal} \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,13668	0,19017	12	0,00856	< 0,0001
$kg P_2O_5 \cdot 1000 \text{ kg PV}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$	0,07613	0,08452	12	0,00564	0,3731

¹ N: número de muestras.

² EEM: error estándar de la media.

³ P: probabilidad (análisis de varianza).

PV: peso vivo.

MS: materia seca.

ST: sólidos totales.

Peso específico medio de la fracción líquida (calculado) = 1,012 kg·L⁻¹

Peso específico medio del purín (calculado) = 0,992 kg·L⁻¹

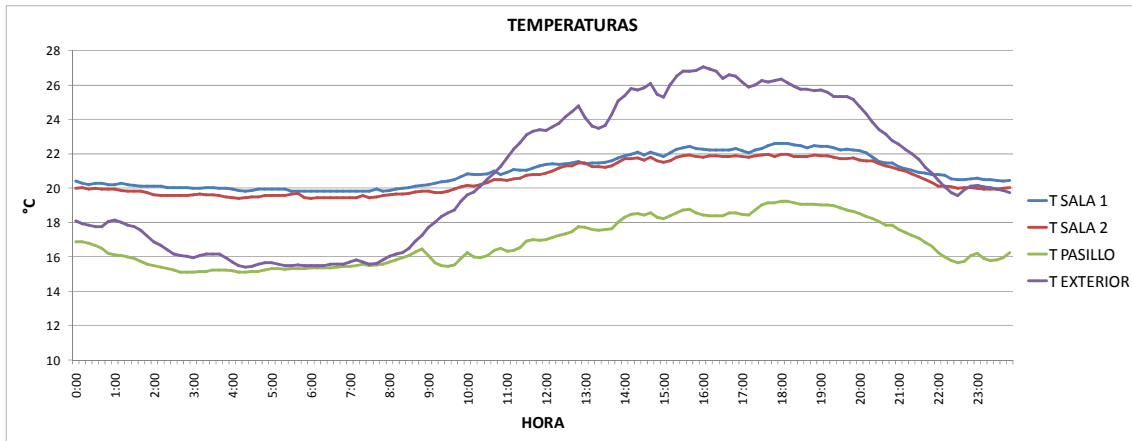


Figura 2. Evolución de las temperaturas (°C) exterior ($T_{EXTERIOR}$), de entrada a las salas ($T_{PASILLO}$) y del interior del alojamiento de los animales ($T_{SALA 1}$ –cinta-, $T_{SALA 2}$ –fosa-) el 19 de junio de 2010.

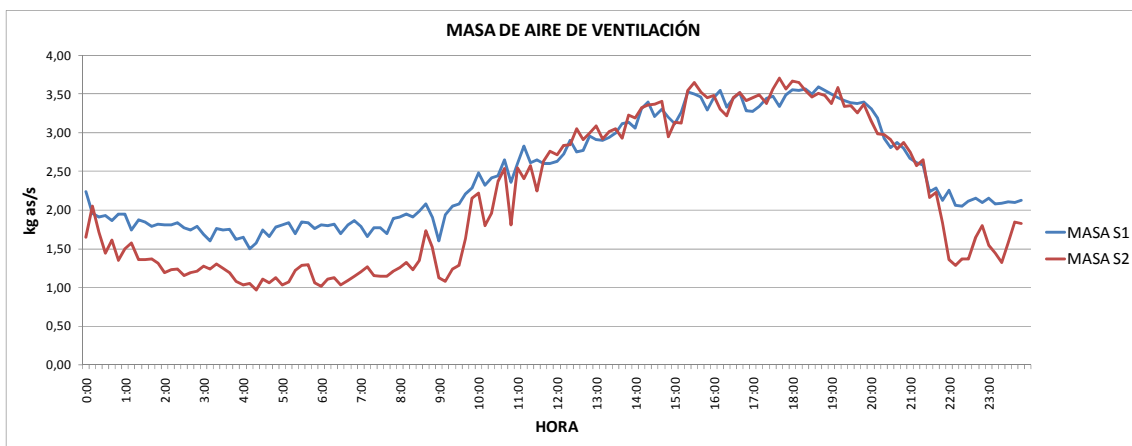


Figura 3. Evolución de la masa de aire de ventilación de la Sala 1 ($MASA S1$) y de la Sala 2 ($MASA S2$) del LBP el 19 de junio de 2010.

En la Figura 4, aparecen las evoluciones de la humedad específica del aire del interior de las salas y a la salida por los extractores: para cada sala, la diferencia de humedades específicas refleja la evaporación de agua de las deyecciones. Durante las horas nocturnas, esta diferencia fue mayor en la Sala 2 (fosa) que en la Sala 1 (cinta); lo contrario sucedió durante las horas diurnas. Dos razones explican estos resultados: por un lado, con menor caudal de ventilación, la velocidad del aire sobre la fosa fue menor y, en consecuencia, mayor el contacto ‘aire de ventilación-superficie de purín’ que con velocidades de aire más altas, debido a que en ningún momento la fosa estuvo completamente llena, y en el caso de la cinta, el contacto ‘aire de ventilación-deyecciones’ fue independiente de la velocidad del aire sobre la misma; por otra parte, durante la noche, la presencia de deyecciones sobre la cinta fue escasa.

En la Figura 5, se refleja la evolución de las cantidades de agua evaporada de las deyecciones tanto en la Sala 1 como en la Sala 2: estas cantidades son consecuencia de las evoluciones descritas para la masa de aire de ventilación y para la humedad específica del aire. Como puede apreciarse, la cantidad de agua evaporada en la Sala 1 fue similar a la

evaporada en la Sala 2 durante el periodo de menor caudal de ventilación; sin embargo, durante las horas diurnas (elevados caudales de ventilación), se evaporó más agua de las deyecciones en la Sala 1 (cinta) que en la Sala 2 (fosa). En la Tabla 3 se resumen los datos correspondientes a ambas salas para el día estudiado.

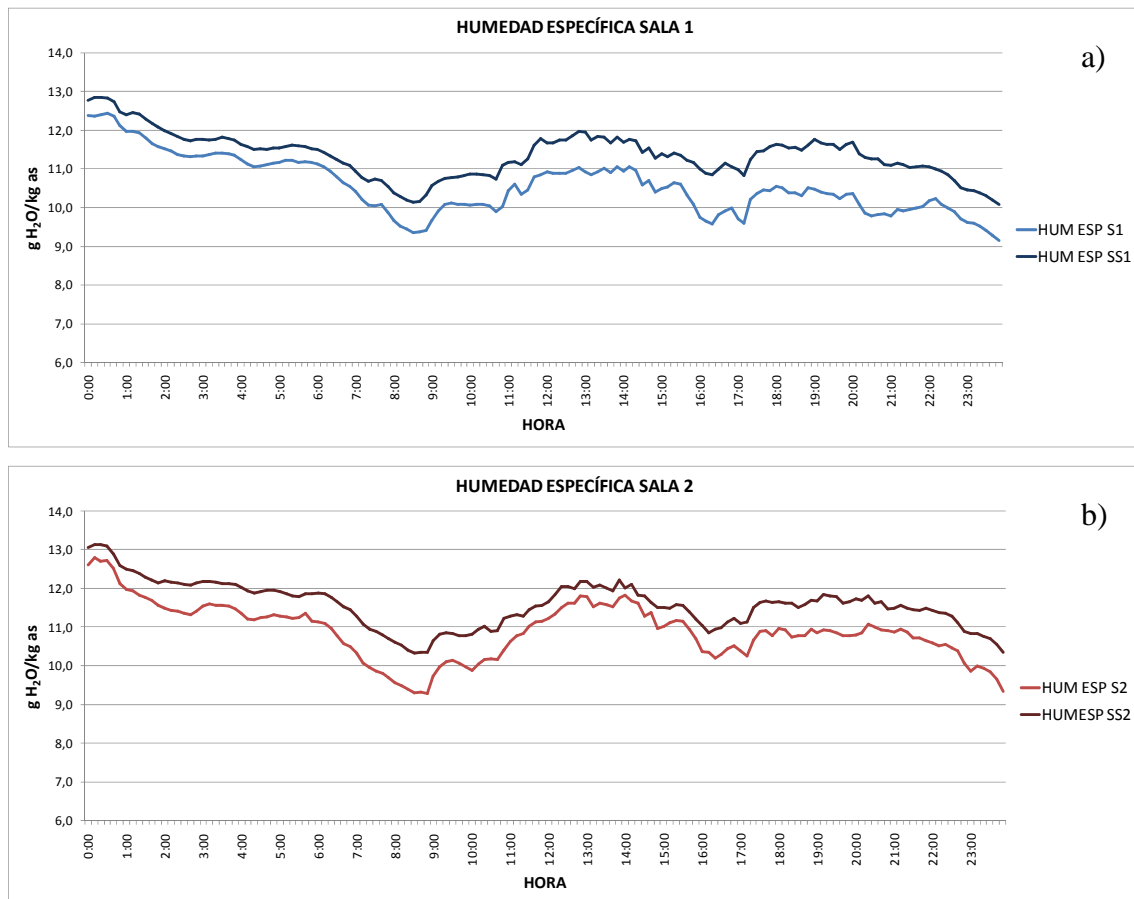


Figura 4. Evolución de la humedad específica del aire del interior del alojamiento (HUM ESP Sx) y a la salida por los extractores (HUM ESP SSx) de a) Sala 1 y b) Sala 2 el 19 de junio de 2010.

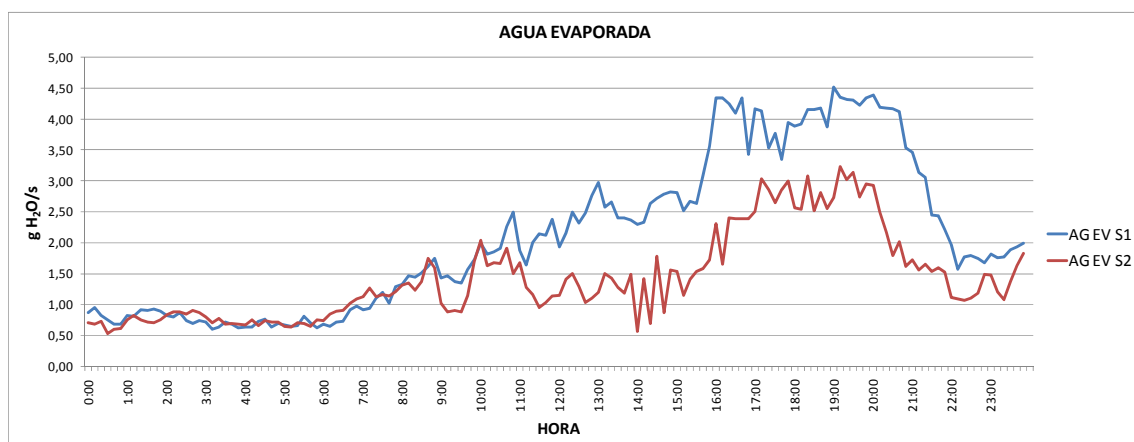


Figura 5. Evolución de la cantidad de agua evaporada de las deyecciones en la Sala 1 (cinta: AG EV S1) y en la Sala 2 (fosa: AG EV S2) el 19 de junio de 2010.

Tabla 3. Agua evaporada de las deyecciones el 19 de junio de 2010.

Variable	Sala 1 Cinta plana	Sala 2 Canal (fosa)
n° cerdos·sala ⁻¹	41	42
PV medio cerdos (kg)	84,30	80,11
kg AG EV·sala ⁻¹ ·día ⁻¹	183,077	124,063
kg AG EV·cerdo ⁻¹ ·día ⁻¹	4,465	2,954
kg AG EV·kg PV⁻¹·día⁻¹	0,05297	0,03687

PV: peso vivo.

AG EV: agua evaporada de las deyecciones.

Las variables ‘kg N_{total}·1000 kg PV⁻¹·día⁻¹’ y ‘kg N_{amoniaco}·1000 kg PV⁻¹·día⁻¹’ (Tabla 2) fueron significativamente menores con el sistema de cinta plana que con el de fosa: esto indica que las pérdidas nitrogenadas en forma de amoniaco fueron superiores con la cinta. El menor pH del purín que el de la fracción líquida separada por la cinta (Tabla 1) junto con las diferencias ya apuntadas entre el contacto ‘aire de ventilación-superficie de purín’ (fosa) y el contacto ‘aire de ventilación-deyecciones’ (cinta) explican los resultados obtenidos.

La variable ‘kg P₂O₅·1000 kg PV⁻¹·día⁻¹’ no se vio afectada por el sistema de recogida de deyecciones ($P = 0,3731$).

4. CONCLUSIONES

Aunque, expresadas en materia seca, las cantidades de residuos producidas por unidad de peso vivo de los animales son iguales con el sistema de separación *in situ* heces-orina (cinta) que con el sistema tradicional de fosa de purín, expresadas en materia fresca son notablemente menores con el sistema de cinta que con el de fosa: la producción por unidad de peso vivo de los animales con separación *in situ* supone el 70,5% de la producida con la fosa, utilizando en ambos casos el mismo sistema de ventilación (extracción bajo suelo).

Con ambos sistemas (cinta o fosa), la ventilación por extracción bajo suelo es muy eficiente para reducir la cantidad de residuos generados, al evaporar agua de las deyecciones.

La eficiencia del sistema de ventilación por extracción bajo suelo para reducir la cantidad de residuos generados es sensiblemente mayor con el sistema de cinta que con el sistema de fosa de purín.

5. BIBLIOGRAFÍA

Aarnink, A.J.A., Ogink, N.W.M. (2007) *Environmental impact of daily removal of pig manure with a conveyer belt system. International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture*. CD-Rom Proceedings of the 16-19 September 2007 Conference. Broomfield, Colorado. USA.

Alonso, F., Vázquez, J., Ovejero, I., Garcimartín, M.A., Mateos, A., Sánchez, E. (2010) *Belt separation system under slat in fattening pig housing: effect of belt type and extraction frequency. Bioresource Technology*. Aug; 101(15):6230-4.

ASAE. (2003) *Manure Production and characteristics. ASAE Standards D384.1* ASAE. St. Joseph, USA.

- Baird, C., Humenik, F., Rice, M., Classen, C., Liehr, S., Zering, K., Van Heugten, E. (2004) *Belt System for Manure Removal. Project Report for Attorney General Agreements Initiative*. May 27.
- Bremner, M.P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M.A., Cegarra, J. (1965) *Inorganic forms of nitrogen. Methods of soil. Analysis part 2. Am. Soc. of Agro.; Wis. 9:* pp. 1179-1237.
- Comisión Europea. (2004) *Prevención y Control Integrado de la Contaminación (IPPC) Documento de referencia de mejores técnicas disponibles en la Cría Intensiva de Aves de Corral y Cerdos. Documento BREF ILF*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España.
- Hesse, P.R. (1971) *Total nitrogen. The Kjeddahl process. A textbook of soil chemical analysis*. (John Murray, ed.). Great Britain. Pp. 520.
- Koger, J.B., Van Kempen, T.A.T.G., Kaspers, B.A., Burnette, R.P., Van Kempen, M. (2003) *Swine housing with a belt for separating urine and feces; key to flexibility. Swine Housing II, Conference Proceedings*. Raleigh, North Carolina, USA, Oct 12-15. pp 159-165.
- Ogink, N.W.M., Willers H.C., Aarnink, A.J.A., Satter, I.H.G. (2000) *Development of a new pig production system with integrated solutions for emission control, manure treatment and animal welfare demands*. Pp 253-259 in: *Swine Housing, Proceedings of First International Conference* (Oct 9-11, 2000, Des Moines, Iowa). St. Joseph, Mich.
- Vázquez Minguela, J., Garcimartín Molina, M.A., Ovejero Rubio, I., Daza Andrada, A. (2001) *A new integral system for waste management in pig housing, based on a special and adjustable floor belt under partial slat, to avoid slurry production. Sixth International Livestock Environment Symposium*. Louisville. Kentucky. USA. May 21-23.
- Vázquez, J., Garcimartín, M.A., Ovejero, I., Daza, A., Oñate, I., Calero, R., Ortega, R., López, M. (2002) *System with an adjustable movable base placed beneath a wire floor used for the continuous separation of faeces and urine or for the combined handling of both products in pig installations*. International Patent WO/2002/094011.