

## Condiciones ambientales en el interior de un cebadero porcino en el Valle del Ebro. Influencia de la orientación frente a los vientos dominantes

F. Forcada<sup>1,\*</sup>, R. Guillén<sup>2</sup>, D. Babot<sup>3</sup> y J. Álvarez-Rodríguez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Producción Animal y Ciencia de los Alimentos. Universidad de Zaragoza. Miguel Servet 177, 50013 Zaragoza

<sup>2</sup> Grupo Jorge, S.L., Academia General Militar 52, 50015 Zaragoza

<sup>3</sup> Departamento de Producción Animal. Universidad de Lleida. Avda. Rovira Roure 191, 25198 Lleida

### Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar los parámetros ambientales en el interior de una instalación de cebo porcino ubicada en el Valle del Ebro con dos naves en paralelo (10 m de separación) orientadas en dirección N-S. El periodo de cebo se desarrolló de febrero a julio. Se realizaron controles cada 15 días, 9 en total, todos ellos a las 10:00, evaluando temperatura ambiente, de superficies, humedad relativa, niveles de NH<sub>3</sub> y características de purines. Se analizaron las diferencias entre ambas naves (nave 1, donde incidía el viento de NO –cierzo– vs nave 2) así como entre varias localizaciones dentro de cada edificio (pasillo oeste, O vs pasillo este, E). Las naves tenían ventilación natural, con ventanas y cabalette en cubierta. El factor pasillo fue el que tuvo una mayor incidencia en los distintos parámetros estudiados, siendo significativo tanto para las temperaturas de la superficie de los muros (P<0,05), como de la superficie del emparrillado (P< 0,05) o simplemente para la temperatura ambiente en cada pasillo (P<0,05); en todos los casos, los valores superiores correspondieron al pasillo E, el más protegido de la acción del cierzo en cada nave. Por lo que a los niveles de NH<sub>3</sub> se refiere, fueron superiores en el pasillo E (P<0,05), menos ventilado que el O. Estos resultados indican que los parámetros ambientales de los cebaderos porcinos del Valle del Ebro orientados en sentido N-S, varían significativamente en distintas localizaciones de su interior, condicionados por la incidencia del viento dominante.

**Palabras clave:** Temperatura, humedad relativa, amoníaco, porcino, cebadero.

### Abstract

**Environmental conditions in a finishing unit in the Ebro Valley. The effect of location with regard to the prevailing winds**

This study evaluated whether the air and surfaces temperatures, humidity and NH<sub>3</sub> concentrations inside a typical pig finishing unit of two parallel buildings were influenced by the prevalent winds and by the location inside the buildings. The farm had two North-oriented equal buildings (1 and 2) 10 m away. West front of building 1 was lashed by prevailing N-W cold and dry wind (“cierzo”). Each building had 2 corridors, west (W) and east E. Ventilation was natural, with inlets in both walls and outlets in the roof. Environmental traits were recorded fortnightly at 10:00 (March-July). There was a significant influence of the corridor, this effect being significant for the inner surface temperatures of the walls

---

\* Autor para correspondencia: [forcada@unizar.es](mailto:forcada@unizar.es)

<http://dx.doi.org/10.12706/itea.2014.015>

( $P < 0.05$ ), the surface temperatures of slats ( $P < 0.05$ ) and for the air temperature ( $P < 0.05$ ). All of them were higher in the eastern corridor, the more protected from the incidence of the "cierzo". There was also a significant effect of the corridor on  $\text{NH}_3$  concentrations, higher on corridor E ( $P < 0.05$ ), less aired than the W. These results highlight the significance of the prevalent winds from the Ebro Valley on the inside environmental parameters of pig North-oriented facilities.

**Key words:** Temperature, relative humidity, ammonia, pig, finishing unit.

## Introducción

Las condiciones de confort ambiental en los alojamientos porcinos de cebo son muy importantes, pudiendo condicionar la eficiencia técnica y económica. Los cebaderos porcinos en nuestro país se caracterizan por la ausencia total de cama y por la presencia de emparrillado total o parcial y de sistemas de ventilación natural por medio de cubreras cenitales o chimeneas laterales. Este sistema de alojamiento dificulta el control de los gases y puede impedir, en algunos casos, el mantenimiento de unas condiciones ambientales adecuadas. Dichas condiciones vienen definidas por el ambiente exterior y por el propio ganado alojado, pero también por las características constructivas del edificio y por el sistema de ventilación; finalmente, las propias superficies de contacto del alojamiento con el animal pueden modificar notablemente el confort de este último (Babot y Revuelta, 2009). Los parámetros ambientales más utilizados son tanto la temperatura como la humedad relativa, así como las variaciones de ambas a lo largo del tiempo o en una misma jornada. De este modo, en invierno las condiciones ambientales óptimas se consiguen restringiendo la ventilación al mínimo necesario para controlar la temperatura y la humedad relativa, mientras que en verano resulta fundamental eliminar el calor del alojamiento mediante la ventilación. La International Commission of Agricultural Engineering (CIGR, 1984) ha recomendado valores máximos y mínimos de humedad relativa en alojamientos ganaderos en función de la

temperatura interior. Así, desde 1984 la CIGR propuso valores entre 50 y 90% de humedad a  $0^\circ\text{C}$ , de 50 a 70% a  $20^\circ\text{C}$  y de 40 a 60% para una temperatura de  $30^\circ\text{C}$ .

Otro factor importante que caracteriza el medio ambiente en alojamientos porcinos es la concentración de amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) en su interior y por tanto las potenciales emisiones del gas desde las instalaciones intensivas. De hecho, se reconoce hoy día que la producción animal es la fuente principal de emisión de amoníaco derivada de la actividad humana (Steinfeld et al., 2006). Las emisiones de amoníaco al medio ambiente son muy perjudiciales para éste, pues provocan tanto acidificación de agua y suelo como eutrofización y pérdida de biodiversidad, además de contribuir indirectamente al cambio climático en base a emisiones de óxido nitroso tras la volatilización de  $\text{NH}_3$ , que en condiciones no óptimas sufre alteraciones del proceso de nitrificación y desnitrificación del mismo (Monteny et al., 2001). En alojamientos porcinos, el  $\text{NH}_3$  se produce cuando se ponen en contacto la urea de la orina con la ureasa presente en las heces y el medio, formándose 2 moléculas de  $\text{NH}_3$  por cada molécula de urea (Mobley y Hausinger, 1989). En los cebaderos porcinos, dicha reacción tiene lugar tanto en la solera emparrillada húmeda como en las fosas de purines situadas debajo de las parrillas. En consecuencia, los niveles de las emisiones de  $\text{NH}_3$  varían notablemente en función de las condiciones prevalentes en el alojamiento porcino: velocidad de aire sobre la solera, superficie sólida y emparrillada,

temperatura ambiente, pH y/o concentraciones amoniacales totales en el purín (Blanes-Vidal et al., 2008; Hamelin et al., 2010; Philippe et al., 2011).

El emparrillado de hormigón presenta varias ventajas sobre otros materiales como el plástico o los metales, como una mejor tracción para las extremidades, mayor vida media y menores costes de inversión (Timmerman et al., 2003); sin embargo, el hormigón es un material que se asocia con unas superiores emisiones de  $\text{NH}_3$  (Aarnink et al., 1997; Pelletier et al., 2005), dado que la adherencia de las heces es menor en otros materiales más pulidos, menos rugosos, donde por tanto el contacto de éstas con la orina se reduce (Braam y Swierstra, 1999). En España, la práctica totalidad de los cebaderos porcinos disponen de solera parcial o totalmente emparrillada. Por tanto y además del ambiente exterior, las condiciones ambientales en nuestros cebaderos están muy ligadas al espacio disponible por animal, a las propias relaciones entre congéneres y a los materiales del propio corral. El objetivo del presente estudio fue evaluar los parámetros ambientales en el interior de una instalación de cebo porcino de dos naves en paralelo a lo largo de un periodo de cebo desde febrero a julio. Se analizaron las diferencias entre ambas naves así como entre varias localizaciones dentro de cada edificio con objeto de evaluar la dependencia de este tipo de instalaciones de las condiciones ambientales externas.

## Material y métodos

### Características constructivas de los alojamientos

Los controles se realizaron en un cebadero porcino ubicado a 2 km del municipio de Alcubierre, población de la provincia de Huesca en el Valle Medio del Ebro (España) ( $41^\circ 48' \text{ N}$ ,  $0^\circ 27' \text{ W}$ , 452 m sobre el nivel del mar). El

Valle del Ebro, limitado por montañas al norte (Pirineos) y al sur (Sistema Ibérico), tiene un clima continental, con amplias variaciones térmicas y moderado déficit de agua (media de 300-350 mm de pluviometría y 74 días de lluvia por año) (Oficina del Regante, 2013). No obstante, quizás la principal característica climática de la zona sea el viento, sobre todo del NO, llamado "cierzo" y que barre todo el Valle del Ebro aportando un aire frío y seco; sin embargo, unos pocos días al año el viento sopla en dirección contraria, desde el SE, aportando un aire húmedo y cálido llamado "bochorno". De media, el viento está ausente únicamente el 32% de los días del año.

El cebadero, de 15 años de antigüedad, constaba de 2 naves idénticas de 840 m<sup>2</sup> de superficie con capacidad para alojar un total de 1040 cerdos. Cada nave estaba construida con una cubierta a dos aguas (4,5 m de altura máxima y 2,5 m de altura al alero) con un 30% de pendiente a base de placas de fibrocemento aisladas con 4 cm de poliestireno extrusionado, mientras que el cerramiento eran paneles sándwich de hormigón con aislante interior de poliestireno también de 4 cm. Cada nave tenía 2 pasillos y dos filas de corrales a ambos lados de ellos (Figuras 1 y 2). En total, 4 filas por 20 corrales. Cada corral tenía unas dimensiones de 3x3, solera de hormigón emparrillada en un 50% y estaba destinado a alojar 13 cerdos, con lo que la superficie final por animal era de 0,69 m<sup>2</sup>, por encima de las recomendaciones de la Directiva 2008/120/CE relativa a las Normas Mínimas para la Protección de Cerdos, que refiere un mínimo de 0,65 m<sup>2</sup> para cerdos de hasta 110 kg de peso final. Cada corral estaba provisto de una tolva holandesa con bebedero incorporado además de un bebedero de cazoleta. Cada nave estaba provista de una única fosa con una profundidad de 1 m, y una frecuencia de vaciado de 1,5 meses. Las dos naves estaban colocadas en paralelo, con 10 m de separación entre ellas (Figura 1). El eje longitudinal de ambas estaba

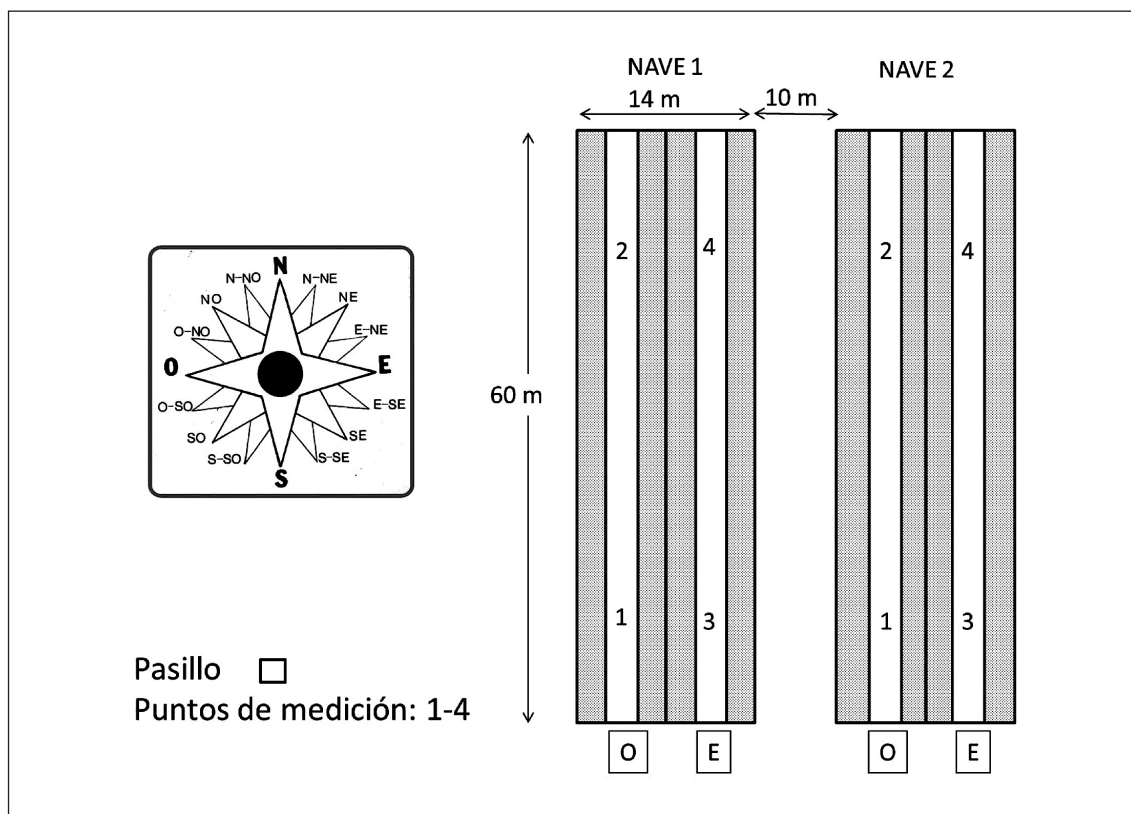


Figura 1. Estructura y orientación del cebadero objeto de estudio.  
 Figure 1. Structure and North-facing pig finishing studied unit.

orientado en sentido N-S, con lo que la nave 1 recibía en su fachada oeste directamente el cierzo, mientras que la nave 2 recibía en su fachada este el bochorno. Ambos edificios estaban equipados con 20 ventanas en cada fachada de 2x1 m, de manera que se podían abrir en modo manual o automático (mediante control de temperatura ambiente interior > 21 °C) hasta en un 75% de su superficie total mediante persianas de guillotina. También se disponía de un caballete corrido a lo largo de toda la cubierta para facilitar la ventilación, con regulación manual y una máxima abertura de 50 cm.

#### Controles realizados

Los animales entraron el 25 de febrero de 2012 en la nave 1 y el 29 del mismo mes en la nave 2. El peso medio a la entrada fue de 14,9 kg, y el de salida de 103,9, para una duración total de la crianza de 159 días. El porcentaje de bajas fue del 3,8% y el índice de conversión del pienso de 2,69. Estas cifras son representativas de las unidades de producción de cerdos de crecimiento-engorde en España (Agostini *et al.*, 2013). Durante el primer mes de la crianza se colocaron lonas sujetas por debajo del nivel de las ventanas, que tenían como objetivo mantener una temperatura adecuada evitando además va-

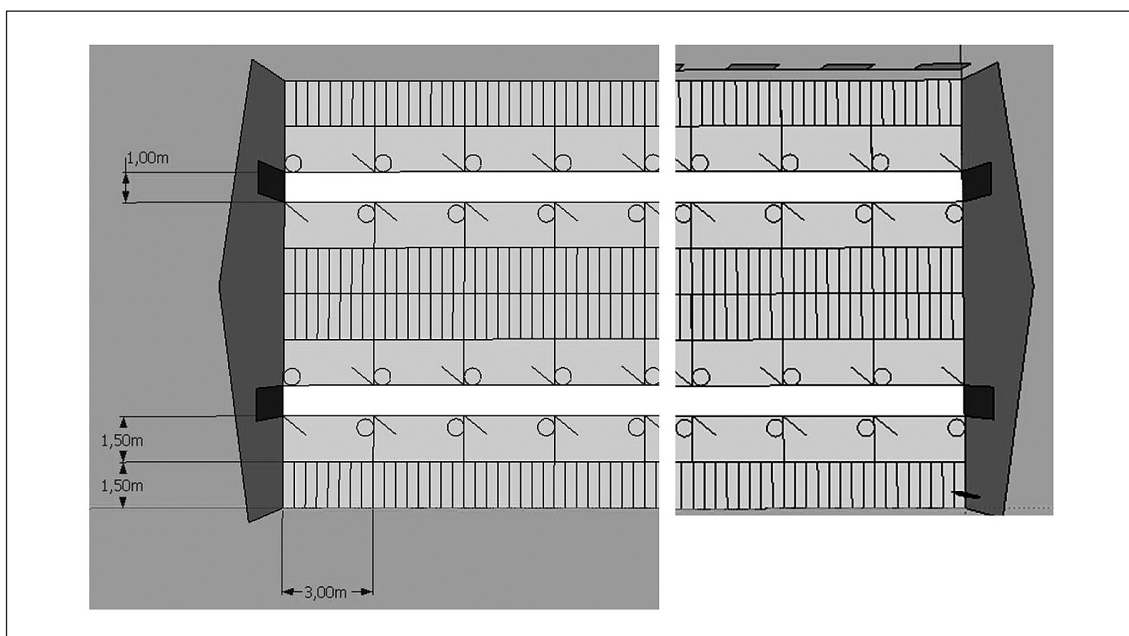


Figura 2. Distribución en el interior de una de las naves objeto de estudio.  
 Figure 2. Ground plan of one of the studied buildings.

riaciones bruscas de la misma, al objeto de prevenir la aparición de procesos respiratorios y digestivos. Los controles se realizaron a las 10 de la mañana (coincidiendo con el inicio de la actividad en la granja) cada dos semanas, comenzando el día 12 de marzo en la nave 1 y el 19 de marzo en la nave 2. Se realizaron 9 controles en la nave 1 y 9 controles en la nave 2. El primer control en ambas naves tuvo lugar con las lonas presentes. Las mediciones se realizaron en 4 puntos en cada nave, 2 en cada uno de los extremos de los pasillos (Figura 1). Los parámetros ambientales controlados fueron:

- Temperatura ambiente y humedad relativa en cada uno de los puntos de medida a metro y medio del suelo, utilizando un termómetro-higrómetro electrónico modelo PTH338 (Oregon Scientific Smart Living Limited, EE.UU.), con una resolución de  $0,1^{\circ}\text{C}$  y  $0,1\%$  de humedad relativa.

- Temperaturas de superficie, tanto de paredes interiores y exteriores (limitando con el exterior) de los corrales como del emparrillado y de la zona hormigonada no emparrillada de los mismos. Se utilizó un termómetro de infrarrojos HI99556 (Hanna Instruments, S.L., Eibar, España), con una resolución de  $0,1^{\circ}\text{C}$ .
- Velocidad de aire a la entrada de la nave y a nivel de los animales, mediante un anemómetro digital TESTO 425 (Instrumentos Testo, S.A., Cambrils, España) con una resolución mínima de  $0,01\text{ m/s}$ .
- Concentraciones de amoníaco en el aire medido a nivel de los animales, utilizando un Monitor Multigas VRAE PGM-7840 (RAE Spain, S.L., El Prat de Llobregat, España), con una resolución de  $1\text{ ppm}$  y un rango de medición de  $0\text{ a }50\text{ ppm}$ .
- Se tomaron muestras del purín debajo del emparrillado de todos los puntos de medi-

ción, de manera que se mezclaron todos los de una misma nave al objeto de realizar una medida *in situ* de la conductividad eléctrica y del pH. Se utilizó un multímetro portátil Crison MM40 (Crison Instruments, S.A., Alella, Barcelona, España), con una resolución de 0,1 mS/cm de conductividad y de 0,01 pH. El multímetro fue calibrado para pH y conductividad antes de cada periodo de control.

Además de todas las mediciones anteriores, que se realizaron en el momento de cada uno de los controles, se midió en modo continuo tanto la temperatura como la humedad relativa en la parte central de ambas naves utilizando un Mini Data Logger modelo 174H (Instrumentos Testo, S.A., Cambrils, España), con una resolución de 0,1°C y de 0,1% de humedad relativa.

#### Análisis estadístico

Se utilizó el programa IBM SPSS Statistics 19.0 para Windows. La mayoría de los parámetros fueron analizados de acuerdo con un diseño factorial 2x2x2, en el que el primero de los factores principales era la nave, dado que al estar los dos edificios paralelos uno de ellos estaba más protegido del cierzo (nave 2) mientras que otro estaba más protegido del bochorno (nave 1). El segundo factor considerado fue el pasillo dentro de cada nave, al objeto de poder evidenciar las posibles diferencias ambientales en el interior de cada edificio; de este modo, se diferenció entre pasillo oeste, O, el más próximo a la fachada de incidencia del cierzo en ambas naves, y pasillo este, E, el más próximo a la fachada de incidencia del bochorno. El tercer factor fue el hecho de que las ventanas, cuya apertura o cierre estaban reguladas por sondas de temperatura, estuvieran cerradas (Periodo 1: controles 1 a 5) o abiertas (Periodo 2: controles 6 a 9) en el momento de realización de cada control a las 10:00 horas. La apertura de ven-

tanás se regulaba por sondas de temperatura en el interior de la nave, de manera que por encima de la temperatura establecida (21°C) las ventanas empezaban a abrirse. De este modo, es lógico que en el periodo 1 las ventanas no siempre estuvieran totalmente cerradas sino en ocasiones parcialmente abiertas. En cualquier caso, en ninguno de los controles de dicho periodo se superó el 30% de porcentaje de apertura, mientras que en todos los controles del periodo 2 las ventanas estaban totalmente abiertas, alcanzando el 75% máximo de apertura que podían tener. Por lo que a las características del purín se refiere, y dado que en cada control se mezclaron las 4 submuestras de cada nave, se analizaron mediante un ANOVA factorial 2x2 con la nave (1 vs 2) y el periodo (1 vs 2) como factores del modelo. El nivel de significación adoptado fue de 0,05.

#### Resultados y discusión

En la Tabla 1 se exponen los resultados de las distintas mediciones realizadas en los distintos puntos de muestreo. Teniendo en cuenta en primer lugar el análisis factorial propuesto, hay que señalar que el efecto periodo fue altamente significativo ( $P < 0,01$ ) para todos los parámetros analizados excepto para la humedad relativa del aire exterior (NS), mostrando que conforme avanzaba el periodo de cría las temperaturas, tanto las del aire como las de superficie, aumentaban en consonancia con la temperatura exterior. Por su parte, el efecto nave fue significativo únicamente para la humedad relativa del aire interior ( $P < 0,05$ ), siendo ésta superior en la nave 2 (este) que en la nave 1 (oeste); el factor pasillo tuvo una mayor incidencia en los distintos parámetros estudiados, siendo significativo tanto para las temperaturas de la superficie interior ( $P < 0,05$ ) y exterior ( $P < 0,05$ ) de la pared exterior de la nave, como de la

Tabla 1. Resultados de las mediciones de parámetros ambientales y a nivel de las diferentes superficies limitantes en función de la nave y del lugar de medición dentro de la misma. Todas las medidas están expresadas como media  $\pm$  ES  
 Table 1. Effect of the building and corridor on environmental parameters and surface temperatures. Mean  $\pm$  SE

	Nave 1 (expuesta a viento NO)		Nave 2 (expuesta a viento SE)	
	n	Pasillo O	Pasillo E	Pasillo O
<i>Temperaturas de la superficie interior (° C)</i>				
- De la pared exterior de la nave	18	21,3 $\pm$ 0,8 <sup>a</sup>	24,1 $\pm$ 0,5 <sup>b</sup>	21,3 $\pm$ 1,2
- Del murete de separación entre corrales	18	26,1 $\pm$ 0,3	26,5 $\pm$ 0,3	25,2 $\pm$ 0,8
<i>Temperaturas de superficie del emparrillado (° C)</i>				
- Zona adyacente a pared exterior	18	24,0 $\pm$ 0,6 <sup>a</sup>	26,9 $\pm$ 0,5 <sup>b</sup>	24,1 $\pm$ 1,2
- Zona adyacente a separador de corrales	18	27,4 $\pm$ 0,3	27,3 $\pm$ 0,4	24,8 $\pm$ 0,9 <sup>a</sup>
<i>Temperaturas de superficie de la solera no emparrillada (° C)</i>				
- Zona adyacente a pared exterior	18	26,7 $\pm$ 0,6	26,6 $\pm$ 0,7	27,9 $\pm$ 0,5
- Zona adyacente a separador de corrales	18	26,2 $\pm$ 0,7	27,8 $\pm$ 0,6	28,3 $\pm$ 0,6
<i>Temperatura de la superficie exterior de la pared exterior de la nave (° C)</i>				
	9	18,1 $\pm$ 1,6 <sup>a</sup>	14,0 $\pm$ 1,0 <sup>b</sup>	17,2 $\pm$ 2,8
<i>Temperatura ambiente</i>				
- En el pasillo interior	18	23,6 $\pm$ 0,4 <sup>a</sup>	24,9 $\pm$ 0,5 <sup>b</sup>	23,1 $\pm$ 0,7
- En el exterior de la nave	9	19,8 $\pm$ 1,5 <sup>a</sup>	24,6 $\pm$ 0,8 <sup>b</sup>	19,4 $\pm$ 2,3
<i>Humedad relativa del aire (%)</i>				
- En el pasillo interior	18	46,7 $\pm$ 1,6	46,0 $\pm$ 1,5	50,8 $\pm$ 2,7
- En el exterior de la nave	9	39,4 $\pm$ 2,4	34,0 $\pm$ 1,8	44,3 $\pm$ 5,2
<i>Velocidad del aire (m/s)</i>				
- Al entrar a la nave	18	0,20 $\pm$ 0,02	0,21 $\pm$ 0,03	0,18 $\pm$ 0,02
- A nivel de los corrales	36	0,13 $\pm$ 0,01	0,14 $\pm$ 0,01	0,11 $\pm$ 0,01

<sup>a,b</sup> Letras diferentes indican diferencias (al menos de P<0,05) entre pasillos de la misma nave.

superficie del emparrillado adyacente a la pared exterior o interior ( $P < 0,05$ ) o simplemente para la temperatura ambiente en cada pasillo ( $P < 0,05$ ); en todos los casos, los valores superiores correspondieron al pasillo E, el más protegido de la acción del cierzo en cada nave. No hubo interacciones entre los efectos principales. En el caso particular del presente estudio, hay que señalar que el cierzo (con una velocidad de aire superior a 25 km/h) estuvo presente en 2 controles del periodo 1 y en otros 2 controles del periodo 2. Lógicamente, su efecto sobre los parámetros ambientales anteriores fue superior en el periodo 1 que en el 2, dado que en los 4 últimos controles la temperatura ambiente fue elevada, por encima de 25°C en todos ellos.

Estos resultados muestran claramente la importancia de la orientación de los edificios sobre los distintos parámetros estudiados en el caso de una ventilación natural únicamente apoyada por el control automatizado de la apertura y cierre de ventanas, tal y como sucede en la inmensa mayoría de las instalaciones de cebo en España. En la situación del presente estudio, el efecto orientación es particularmente importante en la nave 1, pues el cierzo incide claramente en la fachada correspondiente al pasillo O (ver Figura 1), con lo que las temperaturas de superficie interior o exterior de la misma son significativamente inferiores a las obtenidas en la fachada protegida del viento ( $P < 0,01$  y  $P < 0,05$  respectivamente); este efecto se traslada también a las temperaturas de superficie del emparrillado adyacente a ambas fachadas exteriores ( $P < 0,01$ ) e incluso a la temperatura ambiente en los propios pasillos, significativamente inferior en el O (más expuesto al cierzo) que en el E (más protegido) ( $P < 0,05$ ). Por tanto, existen diferencias en diferentes puntos de la nave, lo que supone que las pérdidas de calor sensible (convección, conducción y radiación) serán asimismo significativamente superiores en las

áreas próximas a la fachada en la que incide el cierzo, afectando a los parámetros de bienestar en incluso productivos de los cerdos allí alojados. Estamos hablando de diferencias de temperatura de superficie de unos 3°C y de 1,5°C de diferencia de temperatura ambiente entre los dos pasillos de la nave. Estas diferencias se reducen notablemente en la nave 2, en la que la fachada correspondiente al pasillo O está protegida de la incidencia del cierzo por la propia nave 1 (Figura 1) y por tanto los parámetros ambientales son mucho más homogéneos, menos variables, en su interior, con lo que es esperable que las pérdidas de calor sensible de los animales no sean diferentes en función de su ubicación dentro del propio edificio. No obstante, esta protección de la nave 2 puede tener su contrapartida, de manera que la eficacia de la ventilación puede verse también reducida. Así, la humedad relativa interior fue significativamente superior en la nave 2 (en torno al 51%) que en la nave 1 (en torno al 46%), lo que indica que efectivamente la renovación del aire fue menos eficiente en aquella a la hora de reducir la humedad ambiental. En relación a la distancia más adecuada entre naves orientadas en paralelo con ventilación natural, distintos autores indican que es un aspecto de diseño importante a tener en cuenta sobre todo en verano, momento en que las temperaturas exterior e interior tienden a igualarse, con la subsiguiente disminución del movimiento del aire, además de que los riesgos sanitarios son mayores. Para Bellés (2005), la distancia idónea vendría dada por el resultado de multiplicar 0,4 por la altura de la nave y por la raíz cuadrada de la longitud de la nave, lo que en nuestro caso, con 60 m de longitud y 4,5 m de altura, daría un resultado de 14 m, distancia algo superior a la señalada en el presente estudio.

Dentro de cada nave es necesario hacer un comentario especial a la temperatura de superficie de la solera, tanto emparrillada como



sólida. Si se consideran los valores medios aportados en la Tabla 1, existen diferencias significativas al comparar la temperatura de la superficie de los emparrillados con la de la superficie sólida dentro del mismo corral a favor de esta última ( $P < 0,05$ ), con la excepción de los valores de los corrales interiores en la nave 1, que muestran valores similares. Este hecho podría estar relacionado con el comportamiento de reposo de los cerdos, que en las primeras semanas de la crianza, con pesos reducidos y abundancia de espacio en el corral, suelen descansar en la zona no emparrillada del mismo tal y como hemos podido comprobar en cada control, con lo que la temperatura de superficie de ésta es superior a la de la zona emparrillada. Una vez que los cerdos crecen y alcanzan pesos superiores a los 60 kg comienzan a utilizar por igual todas las zonas del corral para descansar, lo que hace que se equiparen las temperaturas de superficie de las áreas sólidas y emparrilladas del mismo. Finalmente y exceptuando las primeras semanas del periodo de cría en las que la superficie de las áreas emparrilladas está en torno a los 20°C, las temperaturas de superficie de los corrales se sitúan por encima de los 25°C, temperaturas confortables que reducen las pérdidas de calor por conducción (CIGR, 1984); además, dichas temperaturas avanzan conforme lo hace el periodo de cría y la temperatura exterior, pues la salida de los animales tuvo lugar en el mes de julio. Así, en las fases finales de la cría se superaron en algunos momentos los 30°C.

El aumento de las temperaturas de superficie conforme avanza el periodo de cría se debe en parte a un aumento de la temperatura ambiente, pero sobre todo a una reducción de la propia actividad de los animales relacionada con dicho aumento y al efecto del aumento de peso (Spoolder et al., 2000), que se asocian con un aumento del tiempo de descanso y por tanto con una mayor temperatura de la solera. El efecto de la temperatura

ambiente sobre el incremento del tiempo destinado al descanso en cerdos está bastante bien documentado en la literatura, de manera que por cada grado centígrado de aumento de aquella entre 15 y 32°C, el número de cerdos en postura de descanso se incrementa entre un 0,2 y 0,5% (Huynh et al., 2005; Aarnink et al., 2006), lo que hace que tiendan a utilizar toda la superficie del corral; además, con temperaturas elevadas los cerdos prefieren descansar en superficies más frías y húmedas, con lo que no tienen problemas en ocupar plenamente las áreas emparrilladas (Ducieux et al., 2002). Finalmente, Huynh et al. (2004) mostraron claramente que, con temperatura ambiente superior a 25°C, la reducción de la temperatura de superficie en la parte sólida de los corrales reduce significativamente el porcentaje de cerdos que descansan sobre el emparrillado.

Por lo que a la velocidad del aire se refiere, la Tabla 1 muestra que los valores registrados en los distintos controles realizados fueron realmente bajos tanto para el aire de entrada como en lo que a la velocidad de aire a nivel de los animales se refiere, teniendo en cuenta que, en cerdos de engorde, este parámetro no debería superar los 0,5 m/s (Forcada, 1997). No obstante, no hay que dejar de mencionar que en el análisis factorial se detectó un efecto nave significativo ( $P < 0,05$ ) para este último parámetro, que fue ligeramente superior en la nave 1, la más expuesta al cierzo dominante.

Los resultados de temperaturas y humedades relativas recogidos por las estaciones meteorológicas portátiles (Data-Loggers) se expresan en la Tabla 2, donde se recogen los valores medios diarios de temperaturas y humedades relativas máximas y mínimas en el periodo inicial en que las lonas estuvieron presentes y tras la retirada de las mismas, todo ello por separado para ambas naves. Respecto a las condiciones ambientales que proporcionan las lonas, de los resultados ex-

Tabla 2. Medias de las temperaturas y humedades relativas máximas y mínimas diarias interiores y exteriores a lo largo de la crianza. Todos los valores son medias  $\pm$  ES

*Table 2. Mean daily maximum and minimum internal and external temperature and relative humidity throughout the fattening period. Mean  $\pm$  SE*

	n	Nave 1	Nave 2
<b>Mediciones con presencia de lonas</b>			
Temperatura ( $^{\circ}$ C)			
Máxima interior	12	25,1 $\pm$ 0,3 <sup>a</sup>	26,3 $\pm$ 0,3 <sup>b</sup>
Mínima interior	12	20,8 $\pm$ 0,2	21,1 $\pm$ 0,2
Humedad relativa (HR, %)			
Máxima interior	12	57,2 $\pm$ 0,7	57,3 $\pm$ 0,8
Mínima interior	12	28,2 $\pm$ 2,1	27,8 $\pm$ 2,0
Temperatura máxima exterior ( $^{\circ}$ C)	12	21,4 $\pm$ 0,6	
Temperatura mínima exterior ( $^{\circ}$ C)	12	6,2 $\pm$ 0,8	
HR máxima exterior (%)	12	73,3 $\pm$ 3,0	
HR mínima exterior (%)	12	28,7 $\pm$ 1,9	
<b>Mediciones tras la retirada de lonas</b>			
Temperatura ( $^{\circ}$ C)			
Máxima interior	84	27,7 $\pm$ 0,4	28,1 $\pm$ 0,4
Mínima interior	84	21,3 $\pm$ 0,2	21,5 $\pm$ 0,2
Humedad relativa (HR, %)			
Máxima interior	84	61,8 $\pm$ 0,8	62,5 $\pm$ 0,7
Mínima interior	84	37,4 $\pm$ 1,2	36,9 $\pm$ 1,1
Temperatura máxima exterior ( $^{\circ}$ C)	84	25,0 $\pm$ 0,8	
Temperatura mínima exterior ( $^{\circ}$ C)	84	13,9 $\pm$ 0,5	
HR máxima exterior (%)	84	75,4 $\pm$ 1,4	
HR mínima exterior (%)	84	34,1 $\pm$ 1,5	

<sup>a,b</sup> Letras diferentes indican diferencias ( $P < 0,05$ ) entre naves.

puestos en la Tabla 2 se deduce que por una parte se consigue una adecuada temperatura y sobre todo una menor variación de la misma si se compara con los valores exteriores, lo que reduce sin duda la incidencia de

procesos respiratorios en los momentos iniciales de la crianza. Así, aunque el mes de marzo de 2012, cuando las lonas estuvieron colocadas, no fue especialmente frío, las temperaturas interiores conseguidas fueron muy

adecuadas, por encima de 20°C permanentemente, siendo la media de las máximas significativamente superior ( $P < 0,05$ ) en la nave 2. Destaca la reducida humedad ambiental asociada con la presencia de las lonas debido a la permeabilidad de las mismas, lo que podría llevar aparejado un efecto negativo adicional cual es la presencia de polvo en el ambiente (Ostović *et al.*, 2010), sobre todo si las lonas permanecen colocadas largos periodos de tiempo, lo que no fue el caso del presente estudio, pues se retiraron al mes de la entrada de los animales.

En el presente estudio no se ha realizado un análisis de la influencia de la variación de los parámetros ambientales sobre los índices técnicos o económicos. Sin embargo, Agostini *et al.* (2013) no observaron diferencias en la ganancia media diaria de los cerdos entre explotaciones con ventilación manual o automatizada, aunque el índice de conversión de pienso fue mejor en las que disponían de ventanas automáticas reguladas con sondas de temperatura.

Otro de los parámetros ambientales que ha sido ampliamente estudiado en la literatura son los niveles de  $\text{NH}_3$  en el ambiente medidos a nivel de los animales. Dichos niveles dependen de un buen número de factores descritos recientemente por Philippe *et al.*, 2011, aunque como bien señala la CIGR (1984), la producción de  $\text{NH}_3$  depende en primer lugar de las propias deyecciones, tal y como se ha señalado con anterioridad. En el presente estudio se han considerado por separado las concentraciones de  $\text{NH}_3$  obtenidas en los primeros controles (hasta el 5) o en los últimos (desde el 6). Todos ellos fueron realizados a las 10 de la mañana, pero en el primer caso las ventanas estaban cerradas y por tanto la ventilación era muy reducida, y en el segundo, por el contrario, estaban abiertas y el caudal de aire renovado era muy superior. Esta diferencia está relacionada con el manejo en el propio cebadero, en el que la apertura

de ventanas se activaba con una temperatura ambiente de 21-22°C, que no se alcanzaba a las 10 de la mañana en los primeros controles y sí en los últimos, ya al final de la primavera e inicio de verano. Dichos resultados se exponen en la Tabla 3, donde se observa claramente que los niveles de  $\text{NH}_3$  son muy superiores cuando los controles se realizaron con ventanas cerradas, con valores medios en todos los casos superiores a 10 ppm pero con picos que alcanzaban 28 ppm en la nave 1 y hasta 45 ppm en la nave 2. Estos datos son importantes teniendo en cuenta que la CIGR (1984) recomienda que las concentraciones de  $\text{NH}_3$  en alojamientos ganaderos no deberían superar las 20 ppm. No obstante, también es muy alentador el hecho de la buena eficacia de la ventilación vertical natural (sin ventiladores) a la hora de reducir significativamente los niveles de  $\text{NH}_3$  en aire, de manera que los niveles medios recogidos a partir del control 6 no superaron las 5 ppm, con picos máximos en torno a 10-11 ppm.

Considerando el análisis factorial nave x pasillo, se ha detectado un efecto pasillo altamente significativo ( $P < 0,01$ ) sobre las concentraciones de  $\text{NH}_3$  independientemente de que las ventanas estuvieran más o menos abiertas, con niveles siempre superiores en el pasillo E (Tabla 3); estos resultados vuelven a demostrar la importancia de la orientación de la nave sobre la renovación del aire, pues los pasillos de ambas naves más próximos a las fachadas donde incide el cierzo (pasillo O) parecen tener una mejor renovación del aire y por tanto unos niveles de  $\text{NH}_3$  significativamente inferiores que los pasillos más próximos a las fachadas en las que incide el bochorno (pasillo E); estas diferencias entre pasillos son importantes, de manera que las concentraciones de  $\text{NH}_3$  prácticamente se duplican en el pasillo E frente a las recogidas en el pasillo O.

Además de la influencia de las concentraciones de  $\text{NH}_3$  sobre la propia salud de los animales, en la literatura se analiza frecuente-

Tabla 3. Concentraciones de  $\text{NH}_3$  medidas en el control de la mañana antes de la apertura automática de ventanas (hasta control 5) y tras dicha apertura (desde control 6), así como conductividad eléctrica (CE) y pH de purines a lo largo de todo el periodo de cebo (una única medición por nave en cada control con la mezcla de 4 muestras por nave). Todos los valores son medias  $\pm$  ES

*Table 3.  $\text{NH}_3$  concentrations recorded during the morning control period before the window self-opening (up to the 5<sup>th</sup> control period) or after window self-opening (from the 6<sup>th</sup> control period), and slurry electrical conductivity (CE) and pH throughout the fattening period (just one recording per building on each control period –mixing 4 samplings per building–). Mean  $\pm$  SE*

Parámetro	Nave 1			Nave 2		
	n	Pasillo O	Pasillo E	n	Pasillo O	Pasillo E
$\text{NH}_3$ hasta control 5 (ppm)	10	10,4 $\pm$ 1,6 <sup>a</sup>	16,6 $\pm$ 2,3 <sup>b</sup>	10	11,9 $\pm$ 2,0	18,3 $\pm$ 3,8
$\text{NH}_3$ desde control 6 (ppm)	8	2,1 $\pm$ 0,3 <sup>c</sup>	4,0 $\pm$ 0,8 <sup>d</sup>	8	2,9 $\pm$ 0,5 <sup>a</sup>	4,7 $\pm$ 0,7 <sup>b</sup>
CE (mS/cm)	9	36,8 $\pm$ 2,6		9	35,4 $\pm$ 1,6	
pH	9	7,7 $\pm$ 0,1		9	7,8 $\pm$ 0,1	

<sup>a,b</sup> Letras diferentes indican diferencias ( $P < 0,05$ ) entre pasillos de la misma nave.

<sup>c,d</sup> Letras diferentes indican diferencias ( $P = 0,05$ ) entre pasillos de la misma nave.

mente las emisiones de  $\text{NH}_3$  de las granjas porcinas, en base a las concentraciones del mismo y al caudal de aire evacuado, lo que por tanto no resulta muy fiable en el caso de edificios ventilados de manera natural. Sin embargo, en el caso de ventilación mecánica o forzada, donde estos cálculos pueden ser más precisos, se han obtenido resultados de interés aunque las cifras aportadas siguen siendo muy variables, entre 6-7 (Philippe et al., 2007; Kim et al., 2008) y 15 g (Balsdon et al., 2000) por cerdo y día de emisiones de  $\text{NH}_3$  en cebaderos porcinos con solera emparillada. Por lo que a las emisiones obtenidas en instalaciones de cebo sobre cama de paja se refiere, los valores recogidos en la literatura son mucho más variables, siendo en ocasiones superiores a los obtenidos en ausencia de cama, únicamente con emparillado (Balsdom et al., 2000; Philippe et al., 2007), y en otras notablemente inferiores (Kim et al., 2008). La razón de tal discrepancia parece ser la cantidad de paja aportada. Cuanto mayor sea, más alta será asimismo la relación C/N en

la propia cama, lo que favorece el crecimiento bacteriano y la asimilación de N en proteína microbiana estable, lo que supone una reducción de las emisiones de  $\text{NH}_3$  (Dewes, 1996). De hecho, Gilhespy et al. (2009) observaron una reducción significativa de la cantidad de  $\text{NH}_3$  emitida al incrementar el aporte de paja en la cama de 4 a 8 kg/cerdo y día. Por tanto, en los sistemas de cebo sobre paja utilizados en algunos países de la UE, una reducción de las emisiones de  $\text{NH}_3$  por debajo de los niveles observados en instalaciones con solera emparillada únicamente se consigue aumentando significativamente el propio gasto de paja.

Las características del purín que también se exponen en la Tabla 3, tanto pH como conductividad eléctrica (CE), son asimismo importantes a la hora de valorar las emisiones de  $\text{NH}_3$ . Por una parte, el pH parece ser importante en la volatilización del  $\text{NH}_3$  desde la masa del purín, pues determina el balance entre  $\text{NH}_3$  volátil e ion amonio no volátil; así,

cuando el pH aumenta dicho balance se inclina hacia el  $\text{NH}_3$ , favoreciendo su emisión al ambiente (Hernández *et al.*, 2011). Por tanto, en el cebo porcino se relacionan unas elevadas emisiones de  $\text{NH}_3$  con un mayor contenido de N y con unos superiores valores de pH en el purín (Cahn *et al.*, 1998). En la Tabla 3 se observa que el pH es muy similar entre ambas naves, de manera que no mostró ninguna variación a lo largo del periodo de estudio ( $7,7 \pm 0,1$  hasta el control 5 vs  $7,9 \pm 0,02$  a partir del control 6; NS), al contrario de lo mostrado por Hernández *et al.* (2011), que refieren un superior pH en los purines de la fase de acabado (en torno a 8) que en la fase de crecimiento, en las primeras semanas del cebo (en torno a 7,2). Tengamos en cuenta que en el presente estudio se realizó el vaciado de las fosas de purines bajo los emparrillados cada mes y medio, lo que ha podido influir en la estabilidad del pH a lo largo de la crianza.

Por lo que a la CE se refiere, se trata de un parámetro que proporciona información acerca de la concentración de iones del purín, de manera que algunos estudios han mostrado una relación positiva entre este parámetro y la concentración de nitrógeno amoniacal del mismo (Provolo y Martínez-Suller, 2007). En el presente estudio no se han encontrado diferencias de conductividad entre la nave 1 y 2 (Tabla 3), pero sí se ha podido detectar un aumento de la conductividad del purín conforme el periodo de cebo progresa ( $32,8 \pm 1,8$  hasta el control 5 vs  $40,2 \pm 1,6$  mS/cm a partir del control 6;  $P < 0,01$ ), al igual que lo señalado por Hernández *et al.* (2011). Incluso, Moral *et al.* (2008) señalan que los purines de cerdos en cebo tienen una mayor conductividad y una superior carga de materia orgánica que los de otras fases productivas tales como destete, gestación y maternidad, lo que indica una mayor concentración de nutrientes en el purín de los cebaderos y por tanto un mayor potencial del mismo como fuente de contaminación ambiental.

En conclusión, los resultados del presente estudio ponen claramente de manifiesto la importancia de la orientación sobre las características ambientales de los cebaderos porcinos. En particular, la incidencia del viento establece diferencias significativas en los parámetros ambientales entre diferentes localizaciones dentro del edificio, de manera que la protección frente al viento proporciona una mayor homogeneidad de los mismos. Estas diferencias se manifiestan también para las concentraciones de  $\text{NH}_3$ , aunque la ventilación estática vertical parece ser eficaz a la hora de mantener dichas concentraciones en niveles reducidos incluso con pesos elevados y altas temperaturas exteriores e interiores propias del inicio del verano.

### Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al señor Cajal, propietario del cebadero donde se realizaron los controles, por su ayuda y buena disposición a lo largo de todo el estudio.

### Bibliografía

- Aarnink AJA, Schrama JW, Heetkamp MJW, Stefanowska J, Huynh TTT (2006). Temperature and body weight affect fouling of pig pens. *Journal of Animal Science* 84: 2224-2231.
- Aarnink AJA, Swierstra D, van den Berg AJ, Spelman L (1997). Effect of type of slatted floor on ammonia emission rates from fattening piggeries. *Journal of Agricultural Engineering Research* 66: 93-102.
- Agostini PS, Gasa J, Manzanilla EG, Da Silva CA, de Blas C (2013). Descriptive study of production factors affecting performance traits in growing-finishing pigs in Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research* 11(2): 371-381.
- Babot D, Revuelta M (2009). Necesidades funcionales. En: *Ganado porcino: diseño de alojamientos e instalaciones*. Ed. Servet, España, pp. 38-70.

- Balsdon SL, Williams JR, Southwood NJ, Chadwick DR, Pain BF, Chambers BJ (2000). Ammonia fluxes from solid and liquid manure managements systems for beef cattle and pigs. Technology transfer. In: Proceedings of the 9th International Conference of the FAO ESCORENA Network on Recycling and Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture. 6-7 Sept 2000. Gargano, Italy, pp. 115-120.
- Bellés S (2005). Recursos prácticos a aplicar en las granjas de broilers con el calor. Jornadas Profesionales de Avicultura de Carne, Valladolid, 28 pp.
- Blanes-Vidal V, Hansen MN, Pedersen S, Rom HB (2008). Emissions of ammonia, methane and nitrous oxide from pig houses and slurry: effects of rooting material, animal activity and ventilation flow. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 124: 237-244.
- Braam CR, Swierstra D (1999). Volatilization of ammonia from dairy housing floors with different surface characteristics. *Journal of Agricultural Engineering Research* 72: 59-69.
- Cahn TT, Aarnick AJA, Verstegen MWA, Schrama JW (1998). Influence of dietary factors on the pH and ammonia emission of slurry from growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 76: 123-130.
- CIGR (1984). Report of working group on climatization of animal houses.
- Dewes T (1996). Effect of pH, temperature, amount of litter and storage density on ammonia emissions from stable manure. *Journal of Agricultural Science* 127: 501-509.
- Ducreux E, Aloui B, Robin P, Dourmad JY, Courboulay V, Meunier-Salaün MC (2002). Ambient temperature influences the choice made by pigs for certain types of floor. *Journées de la Recherche Porcine* 34: 211-216.
- Forcada F (1997). Alojamiento para ganado porcino. Ed. Mira Editores, Zaragoza. 303 pp.
- Gilhespy SL, Webb J, Chadwick DR, Misselbrook TH, Kay R, Camp V, Retter AL, Bason A (2009). Will additional straw bedding in buildings housing cattle and pigs reduce ammonia emissions? *Biosystems Engineering*, 102: 180-189.
- Hamelin L, Godbout S, Thériault R, Lemay SP (2010). Evaluating ammonia emission potential from concrete slat designs for pig housing. *Biosystems Engineering* 105: 455-465.
- Hernández F, Martínez S, López C, Megías MD, López M, Madrid J (2011). Effect of dietary crude protein levels in a commercial range, on the nitrogen balance, ammonia emission and pollutant characteristics of slurry in fattening pigs. *Animal* 5: 1290-1298.
- Huynh TTT, Aarnick AJA, Spoolder HAM, Verstegen MWA, Kemp B (2004). Effects of floor cooling during high ambient temperatures on the lying behavior and productivity of growing finishing pigs. *Transactions of the ASAE* 47: 1173-1182.
- Huynh TTT, Aarnick AJA, Gerrits WJJ, Heetkamp MJH, Canh TT, Spoolder HAM, Kemp B, Verstegen MWA (2005). Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity. *Applied Animal Behaviour Science* 91: 1-16.
- Kim KY, Jong Ko H, Tae Kim H, Shin Kim Y, Man Roh Y, Min Lee C, Nyon Kim C (2008). Quantification of Ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea. *Journal of Environmental Management* 88: 195-202.
- Mobley HLT, Hausinger RP (1989). Microbial ureases: significance, regulation and molecular characterization. *Microbiological Reviews* 53: 85-108.
- Monteny GJ, Groenestein, CM, Hilhorst, MA (2001). Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60, 123-132.
- Moral R, Pérez-Murcia MD, Pérez-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: 367-371.
- Oficina del Regante (2013). Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Gobierno de Aragón. Disponible en <http://servicios.aragon.es/oresa/datosMeteorologicos> (Mayo 2013).
- Ostović M, Pavičić Z, Tofant A, Balenovic T, Kabilin AE, Menčik S, Antunović B (2010). Airbor-

- ne dust distribution in a farrowing pen in dependence of other microclimatic parameters during spring-summer period. *Italian Journal of Animal Science* 8 (3): 196-198.
- Pelletier F, Marquis A, Godbout S, Joncas R, Larouche JP, Massé D, Bégué P (2005). Gas and odor emissions from swine building materials. *Transactions of the ASAE* 48: 721-728.
- Philippe FX, Laitat M, Canart B, Vandenneede M, Nicks B (2007). Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter. *Livestock Science* 111: 144-152.
- Philippe FX, Laitat M, Wavreille J, Bartiaux-Thill N, Nicks B, Carabaux JF (2011). Ammonia and greenhouse gas emission from group-housed gestating sows depends on floor type. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140: 498-505.
- Provolo G, Martínez-Suller L (2007). In situ determination of slurry nutrient content by electrical conductivity. *Bioresource Technology* 98: 3235-3242.
- Spoolder HAM, Edwards SA, Corning S (2000). Legislative methods for specifying stocking density and consequences for the welfare of finishing pigs. *Livestock Production Science* 64: 167-173.
- Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, de Haan C (2006). *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. Rome, Italy: FAO.
- Timmerman M, Hoofs AIJ, van Wagenberg AV (2003). Ammonia emission from four systems for group-housed sows. In: *Proceedings of the Second International Symposium of Swine Housing*, NC, USA, Raleigh, pp. 122-128.
- (Aceptado para publicación el 16 de diciembre de 2013)