

Relación entre el peso al nacimiento de los lechones de cerdas hiperprolíficas y los parámetros productivos y económicos en los cerdos de engorde

Sara Crespo^{1,a,*} y Joaquín Gadea^{1,2}

¹ Departamento Fisiología, Universidad de Murcia, Campus de Espinardo, Edificio 17, 30100 Murcia, España

² Instituto Murciano de Investigaciones Biomédicas Arrixaca (IMIB), Campus de Ciencias de la Salud, Carretera Buenavista s/n, 30120 El Palmar, Murcia, España

^a Dirección actual: Departamento técnico Cefu SA. Paraje de la Costera, s/n, 30840 Alhama de Murcia, Murcia, España

Resumen

En este estudio se evalúa la relación entre el peso al nacimiento y los rendimientos productivos y económicos en un total de 353 lechones con un rango de pesos entre 0,50 kg y 1,22 kg. Los lechones fueron agrupados de acuerdo con su peso en 5 categorías (De 0,50 a 0,69 kg; de 0,70 a 0,79 kg; de 0,80 a 0,89 kg; de 0,90 a 0,99 kg y de 1,0 a 1,22 kg). Se registró el peso de los animales al nacimiento, al final de las fases de lactación, transición, y cebo, calculando la ganancia media diaria (GMD) y la tasa de mortalidad (%MORT) para cada fase. El peso al nacimiento influyó en el peso al final y GMD de la fase de lactación, transición y cebo ($P < 0,01$), la GMD ($r = 0,45$; $P < 0,01$) y afectó al %MORT al final de lactación y del proceso global ($P < 0,01$). Mediante una curva ROC (Receiver operating characteristic) se estudió la relación entre el peso al nacimiento y supervivencia hasta fin de cebo, determinando que el peso de 0,815 kg es el punto de corte para diferenciar la supervivencia. El peso al nacimiento determina los costes de producción (coste de lechón, coste de cerdo a matadero y coste de kg de animal), siendo los animales con peso inferior a 0,89 kg los que se alejan de la rentabilidad económica. La metodología y los datos del presente estudio podrían servir de base para diseñar estrategias productivas y tomar medidas específicas para los lechones nacidos con bajo peso procedentes de cerdas hiperprolíficas.

Palabras clave: Producción porcina, mortalidad, ganancia media diaria.

Relationship between the weight at birth of piglets from hyperprolific sows and the productive and economic parameters in grow-finisher pigs

Abstract

Genetic and productive advances in the pig sector industry have resulted in an increase in litter size. This progress has led to lower birth weight and higher within litter weight variability. In this study, the relationship between low birth weight of 353 piglets (range 0.50-1.22 kg) and the productive and eco-

* Autor para correspondencia: sara.crespo@cefusa.com

Cita del artículo: Crespo S, Gadea J (2021). Relación entre el peso al nacimiento de los lechones de cerdas hiperprolíficas y los parámetros productivos y económicos en los cerdos de engorde. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 117(2): 173-190. <https://doi.org/10.12706/itea.2020.022>

conomic outcomes were evaluated. Birth weight was recorded at birth, at the end of the lactation, grower, and finisher stages. Average daily gain (ADG) and mortality rate (%MORT) were calculated for each stage. Birth weight influenced weight in the lactation stage ($r = 0.41$; $P < 0.01$), ADG ($r = 0.45$; $P < 0.01$) and %MORT ($r = -0.31$; $P < 0.01$). Birth weight was also directly associated with the weight at the end of the transition ($r = 0.42$; $P < 0.01$) and fattening phase ($r = 0.35$; $P < 0.01$) and with the ADG ($r = 0.38$ and $r = 0.16$; $P < 0.01$). Using a Receiver operating curve (ROC), the relationship between birth weight and survival during the entire production cycle was studied, estimating a cut-off of 0.815 kg. Birth weight determines the production costs (piglet cost, pig cost to slaughterhouse and cost per kg produced), the weight of 0.890 kg was the cut-off value for economic profitability. The methodology and data of this study could serve as a basis for designing productive strategies and taking specific measures with piglets born with low weight.

Keywords: Pig production, mortality, average daily gain, productive strategy.

Introducción

Las mejoras realizadas en los últimos años en las granjas porcinas han supuesto un incremento significativo en la productividad de las explotaciones en comparación con las obtenidas décadas atrás (Rocadembosch *et al.*, 2016; Koketsu *et al.*, 2017;). La mejora genética y productiva ha permitido un aumento en el número de lechones producido por cerda (Johnson *et al.*, 1999), con un incremento del tamaño de camada, pasando de una media de 10-11 lechones nacidos vivos en la década de los 90, hasta obtener medias de 16 lechones con la utilización de las líneas hiperprolíficas (Kemp *et al.*, 2018; Oliviero *et al.*, 2019).

El incremento del número de lechones por camada está asociado a problemas como son la disminución del peso medio de los lechones al nacimiento y el aumento en la variabilidad de pesos dentro de la camada, resultando en un mayor número de lechones con peso reducido y baja viabilidad (Beaulieu *et al.*, 2010; Magnabosco *et al.*, 2016). Estos problemas son debidos, en parte, a un aporte insuficiente de nutrientes durante la gestación que induce problemas en el desarrollo intrauterino de los fetos (Wang *et al.*, 2017). Estas limitaciones en el aporte de nutrientes al feto vienen acompañadas de una variación en el peso de los fetos y de las placentas

dentro del útero, presentando mayores pesos y mayor concentración de glucosa aquellos lechones que están más próximos a la unión útero tubárica que los próximos al cérvix (Che *et al.*, 2016).

Por otra parte, existe una relación directa entre la duración del parto y el tamaño de camada. Así, en partos de larga duración de camadas muy numerosas, se puede afectar negativamente tanto a la salud de la cerda como a la viabilidad de los lechones recién nacidos, especialmente en aquellos que nacen en último lugar (Oliviero *et al.*, 2019). Lo que implica que posteriormente estos lechones tendrán alterado su comportamiento de succión (Tuchcherer *et al.*, 2000). Adicionalmente, cuando el tamaño de camada es mayor que la cantidad de glándulas mamarias viables, existe una competitividad entre los lechones para la obtención de leche, lo que implica mayores diferencias en el crecimiento entre los lechones de la camada (Houben *et al.*, 2017).

Los lechones con bajo peso al nacimiento, tienen reservas limitadas de nutrientes y presentan una menor capacidad para tomar el calostro, por lo que su viabilidad en las primeras fases de la lactación está limitada y las tasas de mortalidad son elevadas (Ferrari *et al.*, 2014). Además, los lechones de bajo peso presentan un estado inmunitario inmaduro y poco competente, por lo que aumenta el

riesgo de transmisión de enfermedades por ser más susceptibles a las mismas (Alexopoulos *et al.*, 2018).

Los datos productivos de los lechones de bajo peso son sensiblemente peores que los que presentan un peso al nacimiento normal según diversos estudios realizados en diversos países y condiciones productivas (Le Dividich *et al.*, 2017; Zotti *et al.*, 2017; Nuntapaitoon y Tummaruk, 2018). Los estudios publicados sobre el impacto que supone la presentación de lechones de bajo peso en las granjas de intensivo en España son reducidos (Jourquin *et al.*, 2016). Por lo que evaluar el rendimiento productivo y económico de los animales de bajo peso al nacimiento hasta que finaliza su cebo en las condiciones de producción española permitirá la toma de decisiones frente a este reto productivo que preocupa a las empresas del sector, así como tomar medidas especiales para reducir su efecto y mejorar su rentabilidad.

El objetivo del presente estudio fue determinar la relación entre el peso al nacimiento y los rendimientos productivos y económicos durante todas las fases de producción y hasta que el cerdo cebado se dirige al matadero. Un objetivo operativo fue determinar los valores de corte mediante análisis de curvas ROC (Receiver operating characteristic) para evaluar el valor predictivo que el peso al nacimiento pudiera tener de la mortalidad a lo largo de todo el proceso.

Material y métodos

Animales

El presente estudio fue realizado en una granja porcina con una estructura de pirámide en tres fases (donde la fase 1 es la granja de madres, fase 2 transición y fase 3 engorde) situada en el sureste de España y que utiliza madres híbridas Landance × Large White y

machos finalizadores de raza Duroc danés. La granja era estable a la enfermedad del síndrome reproductivo y respiratorio porcino (PRRS), sometida a vacunaciones cuatrimestrales frente al virus PRRS y calificada como indemne a la enfermedad de Aujeszky (categoría A3, según Real Decreto 360/2009, de 23 de marzo, por el que se establecen las bases del programa coordinado de lucha, control y erradicación de la enfermedad de Aujeszky).

Se seleccionaron un total de 353 animales con un peso al nacimiento en el rango 0,50-1,22 kg). Para el estudio estadístico, los lechones seleccionados fueron agrupados de acuerdo con su peso en 5 categorías (De 0,50 a 0,69 kg; de 0,70 a 0,79 kg; de 0,80 a 0,89 kg; de 0,90 a 0,99 kg y de 1,0 a 1,22 kg).

La granja de madres (fase 1) contaba con parideras en módulos con sistema de nido danés, dispuestas en batería y con alimentación líquida. El manejo de las maternidades es el propio de una cerda hiperprolífica donde se ajustan las camadas a las mamas viables de la madre y con aproximadamente un 10 % de nodrizas.

La selección de los animales se realizó en los partos producidos en 4 días consecutivos de la misma semana al azar, para trabajar en condiciones de días de vida similares y que su destete se realizase el mismo día según criterios de peso y edad de la propia explotación, para poder realizar un proceso de llenado todo dentro-todo fuera. La selección de los lechones se realizó en 4 lotes de animales en momentos diferentes (réplicas).

Los animales se identificaron de forma individual con un crotal numerado en ambas orejas y se pesaron en el momento del nacimiento con una báscula de mano con precisión 0,01 kg. No se realizó la diferenciación por sexos de los animales.

Los lechones se destetaron con un peso medio de 6 kg y una edad mínima de 25 días, El módulo de transición contaba con ventila-

ción automática con suelo de plástico y alimentación en harina en ciclo continuo, con criterio de todo dentro-todo fuera en cada uno de los módulos.

Se agruparon en la fase 2 o de transición por pesos en grupos homogéneos de 22 animales que se alojaron en cuadras de dimensiones 2,20 m × 3,00 m. Se agruparon por tamaños de menor a mayor en una misma sala, donde todos los animales recibieron la misma alimentación. Los lechones permanecieron un mínimo de 4 semanas en estas condiciones hasta que la media de los animales albergados alcanzara 18-20 kg. Se pesaron al final de transición justo antes de la entrada a cebo con una báscula de pie con precisión 0,10 kg.

En la fase 3, de engorde, se alojaron en grupos de 13 animales en recintos de dimensiones 3,00 m × 3,00 m, agrupados por tamaños. La nave de cebo contaba con chimeneas y ventilación natural con alimentación en grano. Los animales se pesaron al final del cebo en el momento antes de la carga con una báscula de pie con precisión 0,50 kg.

Se registraron los pesos y fechas de inicio y fin de cada una de las tres fases estudiadas (lactación, transición y cebo), así como se registró el número de animales muertos en ese periodo. Con estos datos se calculó para cada animal la duración del periodo (días), la ganancia media diaria (GMD, incremento de peso en kg/días del periodo) y la tasa de mortalidad (%) en cada periodo.

Análisis económico

Se compararon los índices productivos y los costes de producción de los diferentes grupos de peso al nacimiento y las posibles repercusiones económicas. Para ello se hizo una estimación económica mediante una simulación usando una hoja de cálculo donde se incluyen los parámetros productivos y los costes de producción.

Se tomaron como valores de referencia (Tabla 1), los obtenidos directamente de la granja donde se realizó el estudio en una producción anual, son los datos técnicos de la explotación al que denominamos grupo control. Los valores de referencia en cebo son obtenidos de la media de los datos técnicos de diferentes engordes de esta pirámide en las mismas instalaciones durante su proceso de engorde hasta matadero.

Se calculó el número de lechones destetados/cerda/año para cada grupo de peso al nacimiento, asumiendo valores iguales para todos los grupos para los parámetros nacidos vivos por camada (15,4 lechones, Tabla 1) y el número de Camadas/cerda/año (2,29, Tabla 1), con la formula siguiente:

Número de lechones destetados/cerda/año = nacidos vivos por camada × número de camadas/cerda/año × tasa de supervivencia en lactación

Siendo la tasa de supervivencia en lactación (%), el valor de 1 menos el valor de mortalidad (%) en lactación.

El número de Lechones criados/cerda/año se calculó con la formula siguiente:

Número de lechones criados/cerda/año = número de lechones destetados/cerda/año × tasa de supervivencia en transición

Siendo la tasa de supervivencia en transición (%), el valor de 1 menos el valor de mortalidad (%) en transición.

Para el cálculo de los costes de producción de un lechón criado (final de la transición), se tuvo en consideración en la simulación las tasas de mortalidad para cada fase (lactación y transición) para cada grupo de peso al nacimiento. Con estos valores se calcula el coste anual de una madre reproductora con esas características productivas (que está en el rango de 1200-1250 €/año) y se divide por el número de lechones criados/cerda/año.

Tabla 1. Datos productivos y económicos usados como referencia para la simulación de costes.

Table 1. Productive and economic data used as a reference for cost simulation.

Parámetro productivos	Valor
Fase lactación y transición	
Lechones totales nacidos por camada	16,1
Nacidos muertos por camada	0,7
Nacidos vivos por camada	15,4
Mortalidad en lactación (%)	14,0
Lechones destetados por camada	13,2
Nº Camadas/cerda/año	2,29
Lechones destetados/cerda/año	30,33
Mortalidad post-destete (%)	3,9
Lechones criados/cerda/año	29,1
Consumo de pienso por lechón (kg)	39,2
Precio de pienso del lechón (kg)	0,39
<i>Coste del lechón (€)</i>	<i>39,89</i>
Fase cebo	
Ganancia media diaria (kg/día)	0,85
Peso inicial (kg)	20,0
Peso medio canal (kg)	90,1
Mortalidad en cebo (%)	3,5
Índice de conversión (kg/kg)	2,37
Pienso al día (kg)	2,02
Peso vivo al matadero (kg)	113,0
Días medios de cebo	109,0
Precio de pienso de cebo (kg)	0,23
<i>Coste de cerdo a matadero (€)</i>	<i>118,57</i>

Los gastos del cebo de los animales se calcularon para cada grupo de peso de nacimiento, tomando en cuenta en el sistema el peso de entrada de cebo, tasa de mortalidad en el cebo, peso de salida a matadero, ganancia media diaria en cebo y duración de la fase de cebo.

En cuanto al cálculo del coste del cerdo al matadero, se exploró el resultado en tres supuestos distintos: A) Suponiendo lechones que proceden de una lactación y transición igual con rendimientos iguales al control, es decir a la media de la explotación y se ceban con ren-

dimientos productivos de acuerdo a su grupo de peso al nacimiento (datos antes cebo = control). B). Suponiendo un cebo con rendimientos iguales al control, de lechones producidos con rendimientos de acuerdo a su grupo de peso al nacimiento (datos cebo = control). C) Haciendo el cálculo real desde lactación hasta final de cebo para los animales de este estudio y de acuerdo a los resultados productivos de cada grupo de peso al nacimiento (coste cerdo matadero real).

El coste del kg de animal en el matadero se calcula a partir de los costes de producción en € dividido por el peso medio de sacrificio para cada grupo de peso al nacimiento.

Finalmente se calculó la rentabilidad y productividad relativa de cada grupo de peso al nacimiento teniendo como referencia los valores medios de la explotación (control = 100).

Análisis estadístico

Los datos se muestran como media \pm error estándar de la media (sem). Las variables dicotómicas como la tasa de mortalidad se analizan con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis y las diferencias entre grupos mediante la prueba de Conover-Inman, para comparar las tasas de mortalidad entre los diferentes grupos de pesos al nacimiento. Se utilizó el análisis de regresión logística binomial para relacionar los pesos en cada fase con las tasas de mortalidad. Las variables continuas (días, pesos y GMD) se evaluaron con ANOVA de una vía y las posibles diferencias entre grupos mediante la prueba de Tukey. Se estimó el coeficiente de correlación de Pearson para medir la posible relación lineal entre variables continuas, para lo que se usaron los datos individuales de cada animal.

Se realizó un análisis de curvas ROC (Receiver operating characteristic) para evaluar el valor predictivo que el peso al nacimiento pudiera tener de la mortalidad a lo largo de todo el

proceso. Se calculó la sensibilidad y especificidad, y se determinó un punto de corte como previamente ha sido descrito por (Martínez-Soto *et al.*, 2018). Se utilizó el software Systat 13 y SigmaPlot 12 (Systat Software, Inc., San Jose, CA, USA) para realizar el estudio estadístico y las representaciones gráficas.

Resultados

Asociación entre el peso al nacimiento y productividad en la fase de lactación

Se registraron los pesos de un total de 353 lechones al nacimiento, con un valor medio de $0,80 \pm 0,01$ kg, con pesos entre 0,50 kg y 1,22 kg.

Se observó una influencia del peso al nacimiento sobre la tasa de mortalidad durante la fase de lactación. Esto hecho se confirmó, por una parte, al detectar que el peso medio al nacimiento de los animales que murieron en la fase de lactación ($n = 116$; $0,78 \pm 0,01$ kg) fue inferior al que alcanzaron el destete ($n = 237$; $0,89 \pm 0,01$ kg; $P < 0,01$). Por otra parte, al agrupar a los animales de acuerdo con su peso al nacimiento, se observó la relación inversa entre peso al nacimiento y la tasa de mortalidad en lactación. Los lechones con peso al nacimiento inferior a 0,90 kg presentaron una mortalidad en lactación entre el 40-60 %, mientras que los que superaron los 0,90 kg tuvieron una tasa de mortalidad durante lactación entre el 8-17 % ($P < 0,01$, Tabla 2). Finalmente, al realizar la regresión logística binomial para relacionar los pesos al nacimiento (datos individuales) con la tasa de mortalidad en la lactación se observa una relación inversa ($Z = -5,95$; $n = 353$; $P < 0,01$; Tabla 3).

Se detectó, por otra parte, que los animales de menor peso al nacimiento necesitan más días para alcanzar el destete. Así, la duración media de la lactación fue de $36,37 \pm 0,25$ días, con diferencia entre los animales con peso in-

Tabla 2. Distribución de pesos al nacimiento de 353 lechones estudiados. Relación entre peso al nacimiento y parámetros productivos durante las fases de lactación, transición y cebo
 Table 2. *Distribution of birth weights of 353 piglets. Relationship between birth weight and productive parameters during the lactation, grower, and finisher stages*

Categorías de peso al nacimiento (kg)	0,50 a 0,69	0,70 a 0,79	0,80 a 0,89	0,90 a 0,99	1,00 a 1,22	Total	P
Fase de lactación							
N inicial	34	83	99	59	78	353	
Mortalidad lactación (%)	58,82 ^a	42,17 ^a	44,44 ^a	16,95 ^b	8,97 ^b	32,86	<0,01
N final	14	48	55	49	71	237	
Duración lactación (días)	38,79±0,67 ^a	37,55±0,43 ^a	37,67±0,50 ^a	37,25±0,66 ^a	33,37±0,23 ^b	36,37±0,25	<0,01
Peso destete (kg)	5,04±0,47 ^a	5,35±0,19 ^a	5,72±0,20 ^a	6,25±0,19 ^b	6,70±0,13 ^b	6,01±0,09	<0,01
Ganancia Media Diaria (g/día)	115,5±13,9 ^a	123,7±5,8 ^a	131,5±6,0 ^a	145,6±5,3 ^a	170,6±4,5 ^b	143,3±2,9	<0,01
Fase de transición							
N inicial	14	48	55	49	71	237	
Mortalidad transición (%)	7,14	4,17	7,27	6,12	7,04	6,33	0,97
N final	13	46	51	46	66	222	
Duración transición (días)	41,38±2,06	42,91±1,12	41,84±1,03	39,65±0,53	41,26±0,17	41,41±0,38	0,08
Peso final transición (kg)	15,48±1,27 ^a	16,34±0,71 ^a	18,15±0,60 ^{ab}	19,44±0,48 ^{b,c}	20,50±0,44 ^c	18,58±0,29	<0,01
Ganancia Media Diaria (g/día)	255,9±21,6 ^a	257,8±13,7 ^a	294,8±10,8 ^{ab}	333,0±10,4 ^b	333,4±9,1 ^b	304,2±5,7	<0,01
Fase de cebo							
N inicial	13	46	51	46	66	222	
Mortalidad cebo (%)	30,77	15,22	7,84	19,57	10,61	13,96	0,16
N final	9	38	47	37	59	190	
Duración cebo (días)	95,22±0,85 ^{ab}	93,84±0,56 ^a	93,98±0,47 ^a	95,70±0,16 ^b	95,98±0,13 ^b	94,97±0,19	<0,01
Peso final cebo (kg)	89,88±2,92 ^a	91,11±1,91 ^a	93,20±1,70 ^a	90,71±1,55 ^a	100±1,32 ^b	94,25±0,82	<0,01
Ganancia Media Diaria (g/día)	763,8±21,9 ^{ab}	790,2±20,1 ^{ab}	799,6±17,7 ^{ab}	740,5±17,3 ^a	825,6±10,6 ^b	792,6±7,9	<0,01

a,b superíndices diferentes en la misma columna indica diferencias con $P < 0,05$.

Tabla 3. Regresión logística binomial para relacionar los pesos con la tasa de mortalidad en las diversas fases productivas. Valores Z y Odd ratio, junto con intervalo de confianza del 95%.

Table 3. Binomial logistic regression to relate the weights to the mortality rate in the diverse productive phases. Z and Odd ratio values, with a 95% confidence interval.

	Mortalidad	n	Z	Odds Ratio	P
Peso al nacimiento	Total	353	-4,96	0,02 (0,00; 0,08)	<0,01
Peso al nacimiento	Lactación	353	-5,95	0,00 (0,00; 0,02)	<0,01
Peso al nacimiento	Transición	237	0,86	4,88 (0,13; 181,10)	0,39
Peso al nacimiento	Cebo	222	-1,17	0,20 (0,01; 3,02)	0,24
Peso al destete	Total	237	-4,19	0,59 (0,47; 0,76)	<0,01
Peso al destete	Transición	237	-2,89	0,57 (0,39; 0,83)	<0,01
Peso al destete	Cebo	222	-3,22	0,63 (0,47; 0,83)	<0,01
Peso al final transición	Cebo	222	-4,01	0,83 (0,76; 0,91)	<0,01

ferior a 1 kg al nacimiento con 37-38 días de lactación, superior a los 33 días que lactaron los animales con peso superior a 1 kg al nacimiento ($P < 0,01$; Tabla 2). Se confirma esta relación al estudiar el índice de correlación de Pearson ($r = -0,46$; $P < 0,01$).

El peso medio al destete fue de $6,01 \pm 0,09$ kg. Sin embargo, se observan diferencias en los pesos al destete entre los diferentes grupos de peso de nacimiento ($P < 0,01$; Tabla 2). Así, aquellos lechones con pesos al nacimiento inferiores a 0,90 kg se destetaron con pesos inferiores a los 6 kg, en comparación con aquellos que al nacer superaron ese peso ($P < 0,01$; Tabla 2). Se encontró una relación directa entre el peso al nacimiento con el peso al destete al estudiar la correlación de Pearson ($r = 0,41$; $P < 0,01$).

Estas diferencias entre grupos de peso al nacimiento se hacen igualmente evidentes para la variable ganancia media diaria, donde los animales que al nacimiento pesaron más de 1 kg, presentan una ganancia superior al resto ($P < 0,01$; Tabla 2) con una tasa de correlación de Pearson ($r = 0,45$; $P < 0,01$).

Por otra parte, el peso al destete estuvo directamente relacionado con la GMD durante la fase de lactación ($r = 0,95$; $P < 0,01$) e inversamente con la duración de la lactación ($r = -0,26$; $P < 0,01$).

Asociación entre el peso al nacimiento y productividad en la fase de transición

El peso al nacimiento no afectó a la tasa de mortalidad durante la fase de transición, que se mantuvo en valor medio de 6,3 %, sin diferencias significativas entre grupos (Tabla 2; $P = 0,98$), y una tasa de Regresión logística binomial no significativa (Tabla 3; $P = 0,39$). Tampoco afectó a la duración de la fase de transición (media $41,41 \pm 0,38$ días; $P = 0,08$). Sin embargo, se observó una diferencia entre los grupos de pesos al nacimiento en los pesos al final de transición y la ganancia media diaria en esta fase ($P < 0,01$, Tabla 2). Los animales con pesos al nacimiento menor a 0,80 kg presentaron pesos al final de transición y ganancias durante ese periodo muy inferiores a los animales con pesos al nacimiento superiores a 0,90 kg.

Observamos, por otra parte, que no había relación entre el peso al nacimiento con los días que dura la transición ($P > 0,05$). Mientras que el peso al nacimiento estuvo directamente correlacionado con peso al final de la transición ($r = 0,42$; $P < 0,01$) y la GMD en esta fase ($r = 0,38$; $P < 0,01$).

Por último, se puso de manifiesto que el peso de entrada en la transición condicionaba todos los parámetros de la misma, ya que de manera directa se correlacionaba con el peso final de transición ($r = 0,69$; $P < 0,01$) y GMD ($r = 0,53$; $P < 0,01$) e inversamente con la tasa de mortalidad ($Z = -2,89$; $P < 0,01$, Tabla 3) y la duración de la transición ($r = -0,19$; $P < 0,01$).

Asociación entre el peso al nacimiento y productividad en la fase de cebo

El peso al nacimiento no afectó a las tasas de mortalidad en la fase de cebo ($P = 0,24$; Tabla 3), Sin embargo, afectaba a la duración de

este, el peso alcanzado al final del cebo y a la ganancia (GMD) en este periodo (Tabla 2; $P < 0,01$).

Al estudiar las correlaciones entre el peso al nacimiento se observó una relación directa con la GMD ($r = 0,16$; $P = 0,03$) y el peso al final del cebo ($r = 0,35$; $P < 0,01$).

Evaluación de rendimientos productivos y económicos

El peso al nacimiento determinó la tasa de supervivencia del animal a lo largo de todo el periodo de producción, desde el nacimiento hasta el final del cebo. Así los animales con peso al nacimiento inferior a 0,80 kg presentaron tasas de mortalidad superiores al 50 % y llegaron a alcanzar niveles del 74 % para pesos menores a 0,70 kg (Tabla 4). Esta relación se confirma con la regresión logística binomial ($Z = -4,96$; $P < 0,01$; Tabla 3).

Tabla 4. Relación entre peso al nacimiento y mortalidad global.
Table 4. Relationship between birth weight and total mortality.

Categorías de peso al nacimiento (kg)	n	Mortalidad total (%)
De 0,50 a 0,69	34	73,53 ^a
De 0,70 a 0,79	83	53,01 ^a
De 0,80 a 0,89	99	52,53 ^{ab}
De 0,90 a 0,99	59	37,29 ^{bc}
De 1,00 a 1,22	78	24,36 ^c
Total	353	45,89
<i>P</i>		<0,01

^{a,b,c} superíndices diferentes en la misma columna indica diferencias con $P < 0,05$.

Para evaluar el valor predictivo que el peso al nacimiento pudiera tener de la mortalidad a lo largo de todo el proceso productivo se realizó un análisis de curvas ROC (Receiver operating characteristic). El área bajo la

curva fue de 0,660 (intervalo de confianza 95 %, 0,603-0,716; Figura 1; $P < 0,05$) lo que permitió calcular un punto de corte óptimo de 0,815 kg al nacimiento, para predecir la mortalidad de los animales. Con este valor la

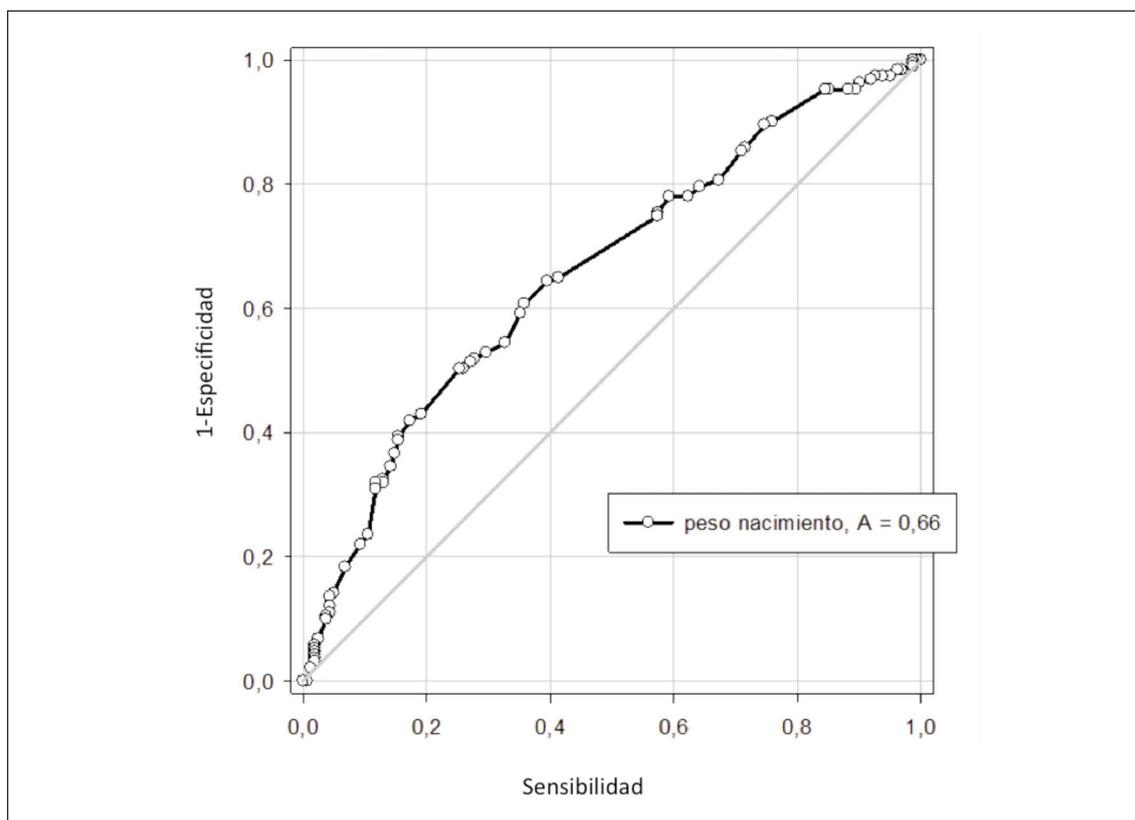


Figura 1. Curva ROC (Receiver operating characteristic) para el peso al nacimiento y supervivencia hasta fin de cebo.

Figure 1. ROC (Receiver operating characteristic) curve for birth weight and survival.

sensibilidad y especificidad del modelo predictivo fue del 62,4 % para ambos parámetros (Figura 2).

Al analizar los costes de producción mediante un ejercicio de simulación, se observó como el peso al nacimiento determina los datos productivos como lechones destetados o criados por cerda/año, así como los costes de producción (coste de lechón, coste de cerdo a matadero y coste de kg de animal) (Tablas 5 y 6).

Los tres grupos de peso al nacimiento entre 0,50 kg y 0,89 kg, presentaban una elevada mortalidad y menores tasas de crecimiento en todas las fases de producción, lo que de-

terminó que los costes de producción de los lechones y de kg de cerdo en el matadero se elevaron por encima de los valores de referencia que corresponde con la media de la explotación (grupo control índice 100; Tabla 5 y 6). De manera que el coste de producción se multiplicó en esos grupos por valores entre el 1,4 y 2,2 (Tabla 6). Mientras que la productividad en esos tres grupos experimentales con pesos al nacimiento más reducidos, medida en términos de lechones destetados/cerda/año y criados/cerda/año se redujo al 45-67 % de los valores de referencia (30,33 y 29,1 lechones respectivamente; Tabla 5 y 6).

Tabla 5. Evaluación económica de los costes de producción de lechones o cerdos de cebo, de acuerdo con el peso de nacimiento.
 Table 5. *Economic evaluation of the production costs of piglets and fattening pigs, according to the birth weight.*

Categorías de peso al nacimiento (kg)	Coste del lechón (€)	Lechones destetados/ cerda/año	Lechones criados/ cerda/año	Coste cerdo matadero € (datos cebo = control)	Coste cerdo matadero € (datos antes cebo = control)	Coste €/kg cebo = control)	Coste €/kg real
0,50 a 0,69	86,17	14,52	13,5	166,54	124,35	1,38	2,13
0,70 a 0,79	59,54	20,38	19,5	138,93	113,97	1,25	1,51
0,80 a 0,89	63,96	19,61	18,2	143,52	114,12	1,22	1,53
0,90 a 0,99	42,25	29,31	27,5	121,02	112,06	1,24	1,27
1,00 a 1,22	38,95	32,08	29,8	117,60	114,22	1,14	1,13
Media del estudio	52,42	23,68	22,2	131,56	113,81	1,21	1,36
Control	39,89	30,33	29,1	118,57	118,57	1,05	1,05

Tabla 6. Estimación de rentabilidad y productividad relativa de acuerdo con el peso de nacimiento, teniendo como referencia los valores control (100).

Table 6. *Estimation of profitability and relative productivity according to birth weight, based on control values (100).*

Categorías de peso al nacimiento (kg)	Coste de lechón fin transición	Coste kg cerdo matadero	Lechones destetados/ cerda/año	Lechones criados/ cerda/año
De 0,50 a 0,69	216,02	202,66	47,87	46,39
De 0,70 a 0,79	149,26	143,35	67,19	67,01
De 0,80 a 0,89	160,34	145,67	64,66	62,54
De 0,90 a 0,99	105,92	120,61	96,64	94,50
De 1,00 a 1,22	97,64	107,78	105,77	102,41
Media total	131,41	129,70	78,07	76,29
Control	100	100	100	100

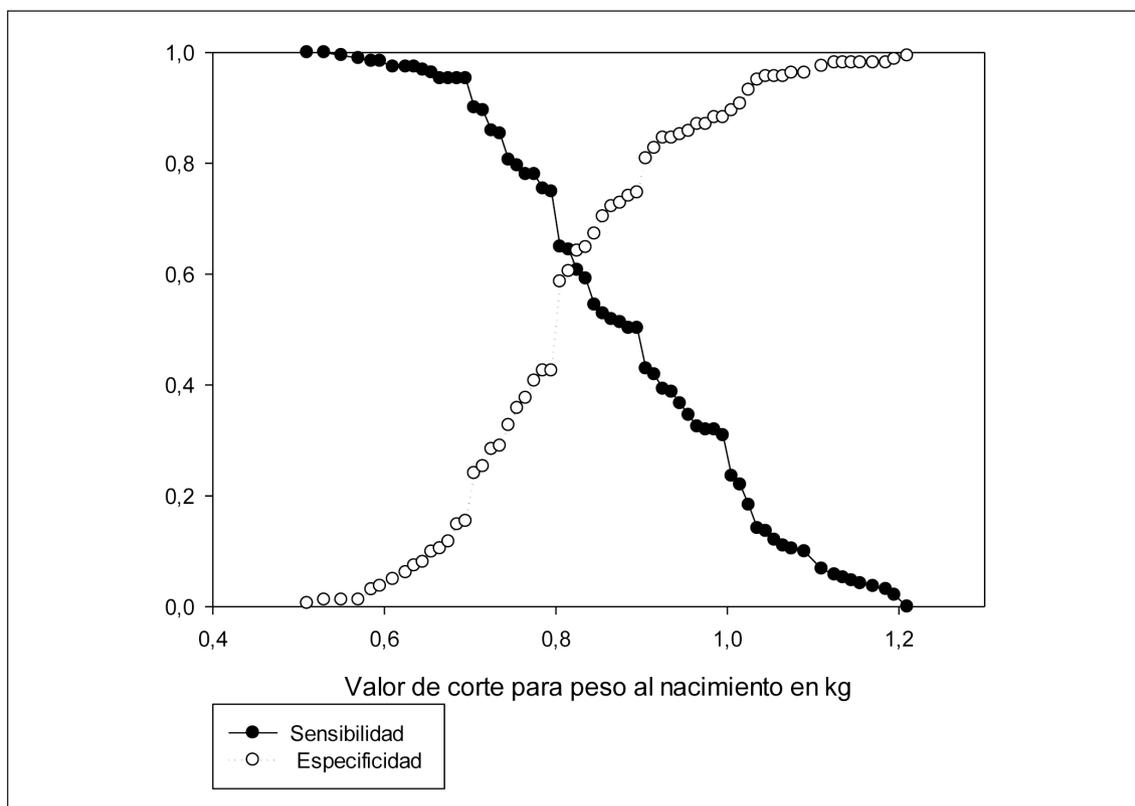


Figura 2. Sensibilidad y especificidad para predecir la supervivencia del animal de acuerdo con el peso al nacimiento.

Figure 2. Sensitivity and specificity to predict the survival of the animal according to birth weight.

Discusión

Se ha demostrado que los lechones de bajo peso al nacimiento afectan de manera crucial todos los parámetros productivos y tienen una gran repercusión económica en la viabilidad de la explotación. Se diseñó este estudio para analizar las elevadas tasas de mortalidad en lactación, que pudieran estar asociado a problemas en el manejo de la paridera de los lechones con bajo peso al nacimiento. En este estudio se trabaja con animales con un peso en un rango entre 0,5 kg y 1,2 kg con el objetivo de valorar las consecuencias productivas y económicas de su producción.

Se debe tener en consideración que el peso al nacimiento de los lechones tiene una baja heredabilidad pese a que los pesos finales y las ganancias medias diarias suelen tener un mayor componente genético (heredabilidad media-alta) (Wang *et al.*, 2016).

En la fase de lactación, el peso al nacimiento influye en, el peso al destete, la duración de la fase de la lactación, la GMD y la tasa de mortalidad. Mientras que en las fases de transición y cebo el peso del nacimiento afecta a los pesos conseguidos al final de los periodos y a la ganancia media diaria, pero no en las tasas de mortalidad. Todo ello se traduce en

que los pesos al nacimiento determinan los rendimientos productivos y económicos de la explotación.

Los valores elevados de tasa de mortalidad son debidos a que en este caso se han estudiado animales con pesos medios reducidos y en condiciones productivas no óptimas, como se pone de manifiesto con la elevada mortalidad. Sin embargo, las conclusiones a las que se llegan son equivalentes a las que otros autores han descrito previamente en otras condiciones experimentales o productivas (English y Bilkeit, 2004; Ferrari *et al.*, 2014).

Los lechones de bajo peso al nacimiento presentan una menor capacidad de reacción que lechones de mayor tamaño. Esto explica que el mayor número de las muertes en lactación sean en los primeros días de vida (Koketsu *et al.*, 2006). Una supervisión exhaustiva postparto, dando la atención adecuada a cerdas y lechones de bajo peso con suplementación necesaria de calor y nutrientes produce una disminución de la mortalidad en la fase de lactación (Muns *et al.*, 2016). Las primeras horas tras el nacimiento los lechones menos viables no son capaces de recuperar su temperatura corporal y la hipotermia produce afectaciones de la capacidad de succión, letargia y finalmente la mayoría de ellos terminan por ser aplastados por la cerda (Kirkden *et al.*, 2013; Alexopoulos *et al.*, 2018). Es por ello que algunos estudios proponen los parámetros de temperatura rectal o corporal como buenos predictores de la mortalidad durante la fase de lactación (Alexopoulos *et al.*, 2018; Tuchscherer *et al.*, 2000).

También podemos observar que los animales con menor peso al nacimiento necesitan más días para alcanzar el peso de destete y lo hacen con pesos inferiores. La manipulación y suplementación de la alimentación del lechón en paridera es una de las posibles prácticas que pueden ayudar al aumento del peso al destete (Wolter *et al.*, 2002; Houben *et al.*, 2017).

La relación directa entre el peso al nacimiento con el peso al destete ($r = 0,41$; $P < 0,01$) y la ganancia media diaria ($r = 0,45$; $P < 0,01$) al final de la lactación, determinará el rendimiento productivo en la transición (Larriestra *et al.*, 2006) y en las fases posteriores de cebo (Beaulieu *et al.*, 2010; Douglas *et al.*, 2014). En este estudio hemos puesto de manifiesto la influencia del peso al nacimiento sobre los pesos y ganancias medias diarias en las fases de transición y cebo. Recientemente, se ha descrito que la variabilidad en el peso del animal que llega al matadero (medido como coeficiente de variación) dependen fundamentalmente del peso al nacimiento (20-25 %), y de la fase de lactación y los primeros 14 días de transición (López-Vergé *et al.*, 2018).

Los animales nacidos con bajo peso presentan sistemas digestivos inmaduros (D'Inca *et al.*, 2010) y un menor desarrollo del tracto digestivo, implicando una baja digestión y absorción de los nutrientes (Michiels *et al.*, 2013). Cada vez hay más evidencias que el bajo peso al nacimiento altera la permeabilidad de la mucosa del intestino delgado, el metabolismo de carbohidratos y lípidos a nivel intestinal y la microbiota intestinal del animal que le afectará su crecimiento a lo largo de toda su vida (Fontaine *et al.*, 2019; Tao *et al.*, 2019). Por otra parte, el peso del nacimiento está relacionado con el número y tipo de fibras musculares que presenta el animal, determinando el crecimiento muscular y la calidad de la carne (Tristán *et al.*, 2009; Beaulieu *et al.*, 2010).

Está claro que el incremento del número de lechones nacidos por camada implica una disminución del peso al nacimiento. Sin embargo, este criterio debe de analizarse desde un punto de rentabilidad y viabilidad productiva. Analizando las curvas ROC, se detectó un área bajo la curva de 0,66 ($P > 0,05$). En este sentido, la precisión de la predicción se considera nula cuando el área bajo la curva es de 0,5, porque las proporciones de verdadero y

falso positivo son iguales; la precisión aumenta a medida que AUC está más cerca de 1,0, donde la discriminación se considera perfecta. Este área puede interpretarse en este caso como la probabilidad de que, al pesar los lechones al nacimiento, seamos capaces de predecir correctamente si van a morir o no durante todo el proceso productivo en el 66 % de los casos, con un rango de precisión entre el 60,3 % y el 71,6 %.

Este abordaje estadístico permite determinar el punto de corte (Cut-off) en el peso al nacimiento que determina la supervivencia durante todo el periodo productivo con un valor de 0,815 como valor de decisión, con tasas de sensibilidad y especificidad iguales a 62,4 %. Aunque se puede hacer uso de la información disponible en la figura 2, donde cada productor puede elegir un punto de corte y conocer la sensibilidad (capacidad de predecir los animales que van a llegar al final del proceso) y especificidad (capacidad de predecir los animales que no van a morir antes de llegar al matadero) asociado a la decisión de ese valor.

Otros autores han abordado el estudio de la relación entre el peso al nacimiento y la mortalidad o supervivencia durante la fase de lactación determinando valores de corte entre 1-1,1 kg (Larriestra *et al.*, 2006; Feldpausch *et al.*, 2019). Interesantemente, se ha analizado mediante curvas ROC como el peso al nacimiento se relaciona con la mortalidad en diversos momentos (24 horas, 20 días y 70 días) determinando por una parte que el área bajo la curva decrece conforme aumenta el periodo estudiado (0,98; 0,87 y 0,79 respectivamente) y por otra parte el valor de corte aumenta (1,02; 1,09 y 1,10 kg respectivamente) (Magnabosco *et al.*, 2015).

Estos valores de corte son superiores a los encontrados en nuestro estudio, debido a que en nuestro caso hemos limitado el peso al nacimiento entre 0,5 kg y 1,22 kg en la selección de los animales, mientras que los estudios an-

tes citados el rango de pesos al nacimiento fue más elevado (por ejemplo: 0,41-2,40 kg (Magnabosco *et al.*, 2015; Feldpausch *et al.*, 2019).

Con esta metodología analítica se puede determinar para cada explotación, empresa o genética específica la influencia del peso al nacimiento sobre los resultados productivos y económicos, permitiendo la toma de decisiones como el valor de corte con la optimización de los niveles de sensibilidad y especificidad.

Además de la influencia del peso al nacimiento y la tasa de mortalidad antes descrito, un problema añadido es que los lechones de bajo peso al nacimiento para alcanzar el mismo peso al destete que sus compañeros de camada necesitan muchos más días de lactación. Esto implica un riesgo sanitario para la explotación donde la bioseguridad interna de la granja se ve afectada (Rutherford *et al.*, 2013). En los sistemas de producción actuales se busca un modelo de producción todo dentro-todo fuera. Este término extrapolado a una paridera implica que los animales que presentan aproximadamente el mismo intervalo de días de vida deben ser destetados a la misma vez o como mucho con una semana de margen, ya que serán la principal fuente de transmisión de enfermedades (Baxter *et al.*, 2013) y tendrá una repercusión productiva y económica significativa (Calderón Díaz *et al.*, 2017). Adicionalmente, se ha descrito que la extensión de la duración del periodo de cebo está asociada con un incremento de la mortalidad en ese periodo (Maes *et al.*, 2004).

La evaluación del coste económico de las técnicas usadas en granjas comerciales para ayudar a los lechones de bajo peso al nacimiento (trabajo extra, suplementos nutricionales, plazas de paridera, etc.), efectos en el índice de conversión, está todavía sin determinar con precisión (Muñoz y Rouco, 1995). Sin embargo, el trabajo de simulación con los valores medios de los grupos permite estimar los grupos de animales que se separan de los ob-

jetivos productivos y económicos de la media de la explotación. En este estudio, se ha estimado que el punto de corte que determina la rentabilidad económica se encuentra en pesos al nacimiento de 0,89 kg. Desafortunadamente, no se pudo aplicar el análisis de curvas ROC sobre los datos económicos de manera robusta, al no tener posibilidad de calcular los costes de producción de manera individual. Por lo que únicamente se puede estimar el coste y productividad de un grupo experimental.

La elevada tasa de mortalidad de lechones con bajo peso y el retraso en el crecimiento, medido en términos de reducida GMD o/y mayor duración en cada una de las fases, son las causas principales de la reducción la rentabilidad económica, como ha sido analizado recientemente para evaluar los resultados económicos del uso de nodrizas en líneas hiperprolíficas (Alvåsen *et al.*, 2017).

Por ello, los datos del presente estudio podrían servir de base o modelo para determinar si la producción de este tipo de lechones es económicamente rentable y si es posible tomar medidas para minimizar sus efectos (Kirkden *et al.*, 2013; Douglas *et al.*, 2014).

Conclusiones

El peso al nacimiento de los lechones es un factor determinante de los resultados productivos y económicos de la explotación porcina, porque afecta a las tasas de mortalidad de la fase de lactación y afecta a la ganancia media diaria y pesos alcanzados en todas las fases productivas, determinando el rendimiento económico de la misma. En las condiciones experimentales de esta explotación se determinó que el valor de corte de 0,815 kg como mejor para explicar la mortalidad global del proceso desde nacimiento al matadero, y se estimó que el peso de 0,890 kg como el valor de corte para la rentabilidad económica.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Dr. Manuel Toledo Castillo, veterinario técnico del grupo Frances su colaboración en la toma de datos y la interpretación de los mismos, así como al personal de granja que permitió que el trabajo se pudiera llevar a cabo.

Joaquín Gadea pertenece al grupo de excelencia científica de la Región de Murcia (proyecto Fundación Séneca 20040/GERM/16).

Referencias bibliográficas

- Alexopoulos JG, Lines DS, Hallett S, Plush KJ (2018). A review of success factors for piglet fostering in lactation. *Animals* 8: 38. <https://doi.org/10.3390/ani8030038>
- Alvåsen K, Hansson H, Emanuelson U, Westin R (2017). Animal welfare and economic aspects of using nurse sows in Swedish pig production. *Frontiers in Veterinary Science* 4. <https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00204>
- Baxter EM, Rutherford KMD, D'Eath RB, Arnott G, Turner SP, Sandøe P, Moustsen VA, Thorup F, Edwards SA, Lawrence AB (2013). The welfare implications of large litter size in the domestic pig II: Management factors. *Animal Welfare* 22: 219-238. <https://doi.org/10.7120/09627286.22.2.219>
- Beaulieu AD, Aalhus JL, Williams NH, Patience JF (2010). Impact of piglet birth weight, birth order, and litter size on subsequent growth performance, carcass quality, muscle composition, and eating quality of pork. *Journal Of Animal Science* 88: 2767-2778. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2222>
- Calderón Díaz JA, Diana A, Boyle LA, Leonard FC, McElroy M, McGettrick S, Moriarty J, García Manzanilla E (2017). Delaying pigs from the normal production flow is associated with health problems and poorer performance. *Porcine Health Manag* 3: 13. <https://doi.org/10.1186/s40813-017-0061-6>
- Che L, Xu M, Yang Z, Xu S, Che L, Lin Y, Fang Z, Feng B, Li J, Chen D, Wu (2016). Detection of

- placental proteomes at different uterine positions in Large White and Meishan gilts on gestational day 90. *PLoS One* 11: e0167799. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167799>
- D'Inca R, Che L, Thymann T, Sangild PT, Le Huërou-Luron I (2010). Intrauterine growth restriction reduces intestinal structure and modifies the response to colostrum in preterm and term piglets. *Livestock Science* 133: 20-22. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.06.015>
- Douglas SL, Edwards SA, Kyriazakis I (2014). Management strategies to improve the performance of low birth weight pigs to weaning and their long-term consequences. *Journal of Animal Science* 92: 2280-2288. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7388>
- English JGH, Bilkeit G (2004). The effect of litter size and littermate weight on pre-weaning performance of low-birth-weight piglets that have been cross-fostered. *Animal Science* 79: 439-443. <https://doi.org/10.1017/S1357729800090305>
- Feldpausch JA, Jourquin J, Bergstrom JR, Borgen JL, Bokenkroger CD, Davis DL, Gonzalez JM, Nelssen JL, Puls CL, Trout WE, Ritter MJ (2019). Birth weight threshold for identifying piglets at risk for preweaning mortality. *Translational Animal Science* 3: 633-640. <https://doi.org/10.1093/tas/txz076>
- Ferrari CV, Sbardella PE, Bernardi ML, Coutinho ML, Vaz IS, Wentz I, Bortolozzo FP (2014). Effect of birth weight and colostrum intake on mortality and performance of piglets after cross-fostering in sows of different parities. *Preventive Veterinary Medicine* 114: 259-266. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.02.013>
- Fontaine MA, Diane A, Singh VP, Mangat R, Krysa JA, Nelson R, Willing BP, Proctor SD (2019). Low birth weight causes insulin resistance and aberrant intestinal lipid metabolism independent of microbiota abundance in Landrace-Large White pigs. *The FASEB Journal* 33: 9250-9262. <https://doi.org/10.1096/fj.201801302RR>
- Houben MAM, Tobias TJ, Holstege MMC (2017). The effect of double nursing, an alternative nursing strategy for the hyper-prolific sow herd, on herd performance. *Porcine Health Management* 3: 2. <https://doi.org/10.1186/s40813-016-0050-1>
- Johnson RK, Nielsen MK, Casey DS (1999). Responses in ovulation rate, embryonal survival, and litter traits in swine to 14 generations of selection to increase litter size. *Journal of Animal Science* 77: 541-557. <https://doi.org/10.2527/1999.773541x>
- Jourquin J, Morales J, Bokenkroger CD (2016). Impact of piglet birth weight increase on survivability and days to market, a simulation model. *Journal of Animal Science* 94: 34-34. <https://doi.org/10.2527/msasas2016-073>
- Kemp B, Da Silva CLA, Soede NM (2018). Recent advances in pig reproduction: Focus on impact of genetic selection for female fertility. *Reproduction in Domestic Animals* 53(S2): 28-36. <https://doi.org/10.1111/rda.13264>
- Kirkden RD, Broom DM, Andersen IL (2013). Piglet mortality: Management solutions. *Journal of Animal Science* 91: 3361-3389. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5637>
- Koketsu Y, Takenobu S, Nakamura R (2006). Pre-weaning mortality risks and recorded causes of death associated with production factors in swine breeding herds in Japan. *Journal of Veterinary Medical Science* 68: 821-826. <https://doi.org/10.1292/jvms.68.821>
- Koketsu Y, Tani S, Iida R (2017). Factors for improving reproductive performance of sows and herd productivity in commercial breeding herds. *Porcine Health Management* 3: 1. <https://doi.org/10.1186/s40813-016-0049-7>
- Larriestra AJ, Wattanaphansak S, Neumann EJ, Bradford J, Morrison RB, Deen J (2006). Pig characteristics associated with mortality and light exit weight for the nursery phase. *The Canadian Veterinary Journal* 47: 560-566.
- Le Dividich J, Charneca R, Thomas F (2017). Relationship between birth order, birth weight, colostrum intake, acquisition of passive immunity and pre-weaning mortality of piglets. *Spanish Journal of Agricultural Research* 15: e0603. <https://doi.org/10.5424/sjar/2017152-9921>
- López-Vergé S, Gasa J, Farré M, Coma J, Bonet J, Solà-Oriol D (2018). Potential risk factors related to pig body weight variability from birth to slaughter in commercial conditions. *Translational Animal Science* 2: 383-395. <https://doi.org/10.1093/tas/txy082>

- Maes DG, Duchateau L, Larriestra A, Deen J, Morrison RB, de Kruif A (2004). Risk factors for mortality in grow-finishing pigs in Belgium. *Journal of Veterinary Medicine, Series B* 51: 321-326. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0450.2004.00780.x>
- Magnabosco D, Pereira Cunha EC, Bernardi ML, Wentz I, Bortolozzo FP (2015). Impact of the birth weight of Landrace x Large White dam line gilts on mortality, culling and growth performance until selection for breeding herd. *Acta Scientiae Veterinariae* 43: 1274.
- Magnabosco D, Bernardi ML, Wentz I, Cunha ECP, Bortolozzo FP (2016). Low birth weight affects lifetime productive performance and longevity of female swine. *Livestock Science* 184: 119-125. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.12.008>
- Martinez-Soto JC, Landeras J, Mollá M, Mondejar I, Nicolás M, Fernández-Olmedilla L, Tralabón M, Coy P, Gadea J (2018). Total urokinase-type plasminogen activator (uPA) levels in seminal plasma are associated with positive assisted reproductive technology outcomes. *Journal of Assisted Reproduction and Genetics* 35: 1091-1101. <https://doi.org/10.1007/s10815-018-1164-y>
- Michiels J, De Vos M, Missotten J, Ovyne A, De Smet S, Van Ginneken C (2013). Maturation of digestive function is retarded and plasma antioxidant capacity lowered in fully weaned low birth weight piglets. *British Journal of Nutrition* 109: 65-75. <https://doi.org/10.1017/s0007114512000670>
- Muns R, Nuntapaitoon M, Tummaruk P (2016). Non-infectious causes of pre-weaning mortality in piglets. *Livestock Science* 184: 46-57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.11.025>
- Muñoz A, Rouco A (1995). Análisis de costes de producción del lechón comercial en explotaciones tipo de la región de Murcia. *Archivos de zootecnia* 44: 391-402.
- Nuntapaitoon M, Tummaruk P (2018). Factors influencing piglet pre-weaning mortality in 47 commercial swine herds in Thailand. *Tropical Animal Health and Production* 50: 129-135. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1412-7>
- Oliviero C, Junnikkala S, Peltoniemi O (2019). The challenge of large litters on the immune system of the sow and the piglets. *Reproduction in Domestic Animals* 54(S3): 12-21. <https://doi.org/10.1111/rda.13463>
- Rocadembosch J, Amador J, Bernaus J, Font J, Fraile LJ (2016). Production parameters and pig production cost: temporal evolution 2010-2014. *Porcine Health Management* 2: 11. <https://doi.org/10.1186/s40813-016-0027-0>
- Rutherford KMD, Baxter EM, D'Eath RB, Turner SP, Arnott G, Roehe R, Ask B, Sandøe P, Moustsen VA, Thorup F, Edwards SA, Berg P, Lawrence AB (2013). The welfare implications of large litter size in the domestic pig I: biological factors. *Animal Welfare* 22: 199-218. <https://doi.org/10.7120/09627286.22.2.199>
- Tao S, Bai Y, Li T, Li N, Wang J (2019). Original low birth weight deteriorates the hindgut epithelial barrier function in pigs at the growing stage. *The FASEB Journal* 33: 9897-9912. <https://doi.org/10.1096/fj.201900204RR>
- Tristán F, Rivero MA, Albors OL, Ramis G, Vázquez JM, Martínez M, Martínez JS, Gil F (2009). Relationship of birth weight with the size, number and proportion of fibres in the pig semitendinosus muscle. *Anatomia, Histologia, Embryologia* 38: 275-278. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0264.2009.00936.x>
- Tuchscherer M, Puppe B, Tuchscherer A, Tiemann U (2000). Early identification of neonates at risk: Traits of newborn piglets with respect to survival. *Theriogenology* 54: 371-388. [https://doi.org/10.1016/s0093-691x\(00\)00355-1](https://doi.org/10.1016/s0093-691x(00)00355-1)
- Wang J, Feng C, Liu T, Shi M, Wu G, Bazer FW (2017). Physiological alterations associated with intrauterine growth restriction in fetal pigs: Causes and insights for nutritional optimization. *Molecular Reproduction and Development* 84: 897-904. <https://doi.org/10.1002/mrd.22842>
- Wang X, Liu X, Deng D, Yu M, Li X (2016). Genetic determinants of pig birth weight variability. *BMC Genetics* 17(S1): 15. <https://doi.org/10.1186/s12863-015-0309-6>
- Wolter BF, Ellis M, Corrigan BP, DeDecker JM (2002). The effect of birth weight and feeding

of supplemental milk replacer to piglets during lactation on preweaning and postweaning growth performance and carcass characteristics. *Journal of Animal Science* 80: 301-308. <https://doi.org/10.2527/2002.802301x>

Zotti E, Resmini FA, Schutz LG, Volz N, Milani RP, Bridi AM, Alfieri AA, Silva CAd (2017). Impact of

piglet birthweight and sow parity on mortality rates, growth performance, and carcass traits in pigs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46: 856-862. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017001100004>

(Aceptado para publicación el 25 de junio de 2020)