

Impacto de la prolificidad en la política de reemplazamiento de cerdas reproductoras

Y. Fernández^{1,2}, C. Bono³, D. Babot^{1,4} y L.M. Plà^{4,5,*}

¹ Departamento de Producción Animal. Universidad de Lleida. Avda. Rovira Roure, 191. 25198 Lleida

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias Pecuarias. Escuela de Zootecnia. Panamericana Sur, km 1½ Riobamba, 060101 Chimborazo, Ecuador

³ HERD - Centre for Herd-oriented Education, Research and Development, Department of Large Animal Sciences. University of Copenhagen. Grønnegårdsvej 2, DK-1870 Frederiksberg C, Dinamarca

⁴ Agrotecnio Center, Universidad de Lleida. Av. Rovira Roure 191, 25198 Lleida

⁵ Departamento de Matemática. Universidad de Lleida. C/ Jaume II 73, 25001 Lleida.

<http://www.udl.cat/usuaris/d4089492>

Resumen

Se estimó la curva de prolificidad media de cinco poblaciones tipo de cerdas obtenidas a partir de una muestra de 53 granjas comerciales (24 españolas, 19 danesas y 10 cubanas) para compararlas y analizar posteriormente su impacto sobre la política óptima de reemplazamiento de cerdas reproductoras. Los parámetros de la curva de prolificidad de las cinco poblaciones mostraron diferencias ($P < 0,05$) que permitieron asociar el tamaño de la camada al primer parto y el máximo tamaño de camada alcanzado con una prolificidad más elevada. En cambio, la pendiente con la que la prolificidad desciende con la edad no mostró diferencias entre las poblaciones. Posteriormente, se analizó el impacto de la prolificidad sobre la política óptima de reemplazamiento. Con ese propósito, se simuló la dinámica productiva de cinco granjas de cerdas con idénticos parámetros excepto en su prolificidad, para la que se consideró cada una de las curvas estimadas previamente. En cada caso se calculó la política óptima de reemplazamiento y se analizó la estructura censal e índices técnicos y económicos asociados. Los índices técnicos y económicos mostraron diferencias entre las cinco granjas ($P < 0,05$). Así, se encontró que mientras el ritmo productivo era similar en todas las poblaciones, la longevidad y estructura censal variaba. Se apreció un acortamiento de la longevidad con prolificidad elevada y viceversa, asociado a una concentración de cerdas superior en la franja más productiva de entre 2 y 7 partos, sin aumentar necesariamente la tasa de reposición. También se demostró que los ingresos netos de las granjas analizadas dependían fundamentalmente de los lechones destetados por cerda y año, así como que una baja prolificidad conducía a reemplazamientos tardíos en relación directa con la amortización de los reproductores.

Palabras clave: Manejo reproductivo, remplazo óptimo, tamaño de camada, productividad.

Abstract

Impact of prolificity on sow replacement policies

The curve of averaged prolificity was estimated in five populations from a sample of 53 commercial farms (24 Spanish, 19 Danish and 10 Cuban). The aim of the paper is to compare the curves of prolificity and analyze the impact on the optimal replacement policy of sows. The parameters of prolificity curves showed

* Autor para correspondencia: lmpla@matematica.udl.cat

<http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.009>

differences among the five populations ($P < 0.05$). As a result, an association between litter size in the first parity and maximum litter size with higher prolificity was observed. However, the slope described by the steady decline of prolificity with age did not show differences among populations. Later on, we analyzed the impact of prolificity on optimal replacement policies. For this purpose, production dynamics of five farms were simulated using identical parameters except on their prolificity. The prolificity in each simulated farm corresponded to the five estimates from previous populations. For each case, the optimal policy was calculated and corresponding herd structure, technical and economic indexes were analyzed. Indexes associated to each optimal policy revealed differences among farms ($P < 0.05$). Hence, while the reproductive rhythm was similar, the longevity and herd structure were different. Longevity was shorter with higher prolificity and vice-versa. In fact, farms with higher prolificity concentrate more sows between 2 and 7 parities and without increasing culling rates. It was also demonstrated that net incomes in analyzed farms depended strongly on the number of piglets weaned per sow per year and that lower prolificity lead to later replacements in direct relationship with the amortization of sows.

Key words: Reproductive management, optimal replacement, litter size, productivity.

Introducción

La mejora de la gestión de las explotaciones de cerdas reproductoras se ha centrado en distintos aspectos generalmente relacionados con el control de los costes de producción. La metodología utilizada para investigar políticas óptimas de manejo reproductivo se ha basado habitualmente en la modelización matemática. En una revisión sobre el tema, Plà (2007) constata que el problema del reemplazamiento ha sido uno de los que ha recibido más atención por su impacto económico después de la alimentación, que sería el principal.

El problema del reemplazamiento consiste en determinar el momento óptimo de reemplazo de una cerda reproductora (Huirne et al., 1988). El principal ingreso que genera una granja de cerdas reproductoras es el número de lechones que desteta siendo el componente económico más importante de la producción (Smith et al., 1983). El deterioro biológico con el paso del tiempo hace que la prolificidad de las cerdas decrezca tras haber conseguido su máximo en los primeros partos. Así, las cerdas se deberían reemplazar cuando su productividad esperada es inferior a la de una cerda de reemplazo. En el número de lechones destetados influye la supervivencia

durante la lactación y la prolificidad o el tamaño de la camada al nacimiento; éste último utilizado también como alternativa en la medida del rendimiento económico (Martínez-Giner et al., 2008). Por ello es habitual que los programas de mejora hagan hincapié en la selección por prolificidad en líneas maternas (Sørensen et al., 2000; Petry et al., 2004). En la bibliografía hay distintas opiniones en cuanto a si la prolificidad en diferentes partos debe ser considerada como medidas repetidas de la misma característica (Southwood y Kennedy, 1990; See et al., 1993; Crump et al., 1997; Lourenço et al., 2008) o como rasgos diferentes (Irgang et al., 1994; Roehe y Kennedy, 1995; Rydhmer et al., 1995; Barbosa et al., 2008). En cambio, hay consenso general en que las cerdas muy jóvenes (primíparas) o muy viejas tienen rendimientos productivos inferiores al resto las cerdas adultas. Varios autores coinciden en identificar un patrón tipo para las curvas de prolificidad, con un crecimiento de la prolificidad en los primeros partos de las cerdas hasta alcanzar su máximo que se mantiene más o menos en una meseta durante los siguientes ciclos disminuyendo posteriormente de forma progresiva sobre todo después del séptimo u octavo parto (Daza et al., 1993; Nocera y Fedalto, 2002). Así, Toft y Jørgensen (2002) propusie-

ron un modelo matemático para ajustar la curva de prolificidad de una cerda, que en buena medida respondía al patrón previamente identificado en la literatura. Otros aspectos que también inciden en el reemplazo son la amortización de los animales a lo largo de su vida productiva y la intensidad de su ciclo reproductivo que permitirá obtener más o menos partos por cerda y año.

Al final, a pesar de la cantidad de modelos propuestos para optimizar la política de reemplazamiento, su aplicación práctica ha sido limitada (Plà, 2007). En parte es debido a la falta de aplicaciones informáticas que los incorporen para su uso en la práctica, como apuntan Plà y Pomar (2008). También es debido a la complejidad del problema, que no permite establecer una política óptima de reemplazamiento general sino que va a depender en cada caso de los parámetros propios de cada explotación (Rodríguez *et al.*, 2012). Por tanto, el objetivo principal del presente trabajo es determinar analíticamente el impacto que la prolificidad tiene sobre la política óptima de reemplazamiento de cerdas reproductoras. Para ello se pretende (1) estimar y comparar las curvas de prolificidad de diferentes explotaciones porcinas intensivas: españolas, danesas y cubanas, procedentes de diferentes orígenes genéticos, (2) calcular la política óptima de reemplazamiento de cinco granjas diferenciadas únicamente en la

prolificidad (Kristensen, 2003) y (3) analizar los resultados de cada política óptima de reemplazo a través de la estructura censal y de índices técnico-económicos.

Material y métodos

Datos utilizados en el estudio

La muestra utilizada para estimar diferentes curvas de prolificidad fue un total de 69 granjas de cerdas reproductoras, productoras de lechones, de las que se dispuso de los registros reproductivos individuales de cada una de las cerdas en activo durante 2012 y del historial de animales dados de baja en los dos años anteriores. Después de los primeros análisis individuales, se descartaron 16 explotaciones que no presentaban un buen ajuste al modelo de curva de prolificidad tal y como se presenta en la siguiente sección, quedando finalmente 53 granjas, de las cuales 24 eran españolas (Landrace x Large White), 19 granjas danesas (Landrace x Yorkshire) y 10 cubanas (Landrace x Large White). Atendiendo al origen, la genética y factores ambientales las 53 granjas se agruparon para estimar las curvas de prolificidad en base a los datos disponibles (Tabla 1). Las 24 granjas Españolas procedían de tres orígenes genéticos diferentes que se trataron como tres grupos distintos (referidos

Tabla 1. Muestra de estudio
Table 1. Sample of the study

Población	Procedencia	Clasificación	Granjas (n)	Cerdas activas (promedio)
P1	España	Prolificidad Baja	7	835
P2	España	Prolificidad Media	7	1043
P3	España	Prolificidad Alta	10	893
P4	Dinamarca	Prolificidad Danesa	19	714
P5	Cuba	Prolificidad Cubana	10	129

como P1, P2 y P3). Las granjas danesas disponían de la genética homogénea típica del país (referida como P4). Las granjas cubanas estaban localizadas en la provincia de Holguín, en la parte oriental de Cuba (P5) y con una productividad marcada por una genética heterogénea dentro de la misma raza, las elevadas temperaturas ambientales y también la situación socioeconómica del país que afecta al manejo y alimentación de los animales. Los datos fueron aportados por los respectivos equipos de investigación de cada uno de los autores participantes en el trabajo, integrados en la Universidad de Lleida (España), la Universidad de Copenhague (Dinamarca) y la Universidad de Holguín (Cuba). La identificación de las granjas se ha codificado para mantener la confidencialidad de los propietarios de los datos.

Estimación de las curvas de prolificidad

La estimación de las curvas de prolificidad se realizó para cada granja individualmente, para lo que se empleó el modelo de regre-

sión desarrollado por Toft y Jørgensen (2002). En particular, los datos necesarios para el ajuste de la curva de prolificidad son el código del animal, el número de partos y el número de lechones nacidos vivos en cada parto (Bono et al., 2012).

El modelo para la curva de prolificidad puede ser descrito por una variable continua subyacente Y_{in} que se expresa como:

$$Y_{in} = \mu_n + M_{i(n)} + e_{in} \quad (1)$$

donde i representa el animal, n el orden de parto, μ_n el tamaño de camada medio de cada parto, el término $M_{i(n)} \sim N(0, \sigma^2)$, representa el efecto de la cerda y $e_{in} \sim N(0, \tau^2)$ el término del error. El término μ_n corresponde a la curva media del tamaño de la camada por parto, n , para la granja (Figura 1). Dicha curva fue ajustada por Jørgensen (1992) quien consideró para el modelo la combinación de una curva gaussiana (parámetros θ_1 y θ_2) con una recta (parámetros θ_3 y θ_4):

$$\mu_n = \theta_3 - \theta_4 n - \theta_1 e^{-(n^2-1)\theta_2} \quad (2)$$

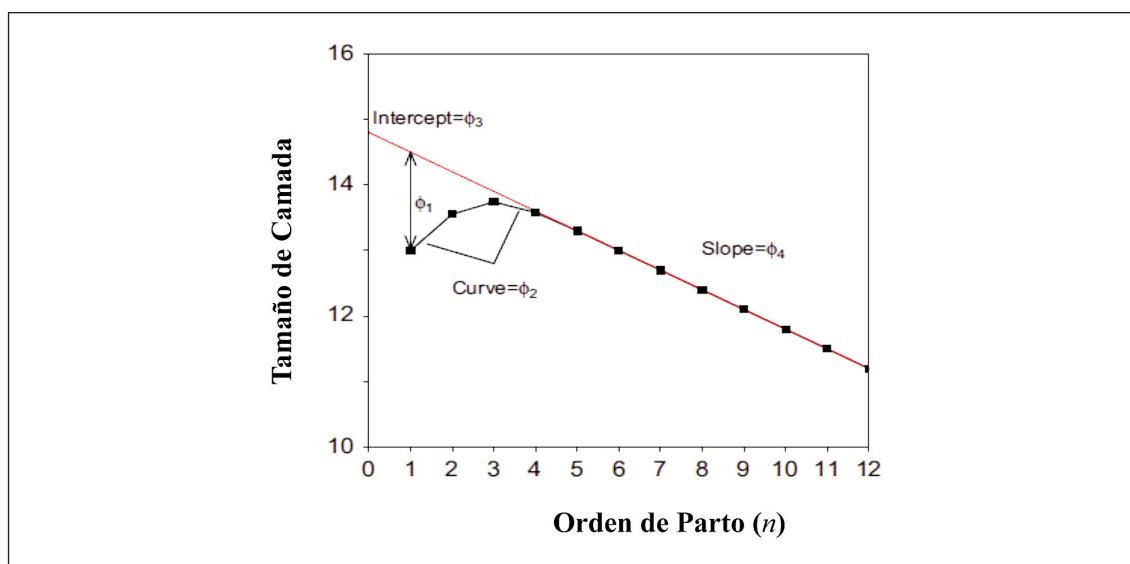


Figura 1. Representación paramétrica de μ_n .
Figure 1. Parametric representation of μ_n .

siendo: θ_1 el diferencial del tamaño de la camada al primer parto respecto la parte lineal de la curva, θ_2 refleja la curvatura de la función entre el primero y el máximo tamaño de camada, θ_3 sería el término independiente de la recta, mientras que θ_4 representaría la pendiente o descenso más o menos sostenido del tamaño de camada por orden de parto (ver Figura 1). Con el objetivo de comparar las curvas de prolificidad media de las cinco poblaciones, se realizó un análisis de la varianza y la Prueba de Rangos Múltiples (Duncan), para cada uno de los cuatro parámetros que definen μ_n .

El efecto cerda se modeló según una serie temporal autoregresiva de primer orden:

$$M_{i(n)} = e^{-\alpha} M_{i(n-1)} + \eta_{in} \quad (3)$$

donde $\eta_{in} \sim N(0, (1-e^{-2\alpha}) \sigma^2)$. El parámetro α representa la autocorrelación entre partos de la misma cerda. De esta forma la curva de prolificidad queda determinada por los siete parámetros siguientes: $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \tau^2, \sigma^2$ y α .

Inicialmente se estimaron los siete parámetros para modelar la curva de prolificidad de cada explotación a partir de las cuales se calcularon las medias para cada una de las distintas poblaciones consideradas. Para los primeros cuatro parámetros: $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ y θ_4 , se comprobó que cumplieran con el supuesto de normalidad, a través de la prueba de Anderson-Darling y de homogeneidad de la varianza, con la prueba de Fisher y a través de los gráficos de residuos contra valores ajustados y diagramas Q-Q para la normalidad. Como resultado previo, se desecharon las granjas que no cumplieran con ambas condiciones, eliminándose 2 granjas de P1, 1 granja de P2, 5 granjas de P4, y 8 granjas de P5 quedando finalmente las 53 granjas que se presentaron en la Tabla 1.

Optimización de la política de reemplazamiento

Para estudiar el impacto de la prolificidad sobre la política óptima de reemplazamiento se utilizó el modelo descrito por Kristensen y Søllstedt (2004a). Dicho modelo permite calcular la política óptima de reemplazamiento y diferentes índices técnico-económicos a partir de la simulación de una granja de cerdas reproductoras con unos parámetros específicos. Con el fin de facilitar la comparación de los resultados y valorar mejor el impacto de la prolificidad en la política de reemplazo se fijaron todos los parámetros de la granja a simular (Tabla 2) y únicamente se varió la curva de prolificidad que se había estimado previamente para cada una de las explotaciones participantes en el estudio. Mediante un análisis de la varianza y la Prueba de Rangos Múltiples (Duncan) se compararon las medias de los índices técnico-económicos obtenidos para las cinco granjas simuladas con prolificidad distinta.

Software utilizado en los análisis

Para los cálculos estadísticos, el análisis descriptivo, el ajuste de los parámetros de la curva de prolificidad: $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \tau^2, \sigma^2$ y α ; análisis de la varianza y comparación de medias se utilizó el software R versión 3.0.2. El mismo software se utilizó para representar gráficamente y verificar algunos resultados, así como estudiar su bondad. Para la optimización de la política de reemplazamiento y el cálculo de resultados asociados se utilizó el programa MLHMP (Kristensen, 2003) basado en un modelo de decisión Markoviano (Kristensen y Jørgensen, 2000) que incluye un modelo dinámico lineal para la actualización de los parámetros a través del tiempo.

Tabla 2. Principales parámetros constantes del modelo
 Table 2. Main constant parameters in the model

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Ciclos reproductivos (n máximo)	12	Tasa de concepción (%)	
Cubriciones (n)		Base	0,921
Mínimo	1	Ciclo 1	0,963
Máximo	5	Ciclo 2	0,967
Tipos de machos alternativos (n)	1	Ciclo 3	1
Edad al destete (semanas)		Ciclo 4	0,987
Mínima	3	Ciclo 5	0,967
Máxima	5	Ciclo 6	0,976
Clases productivas potenciales (n)	21	Ciclo 7	1,015
Clase más pequeña	0	Ciclo 8	0,962
Clase más grande	19	Ciclo 9-16	0,800
Peso cerda (kg)		Precio pienso (€/kg)	
Ciclo 1	157	cubrición	0,27
Ciclo 2	181	gestación	0,27
Ciclo 3	205	lactación	0,27
Ciclo 4	219	lechones	0,40
Ciclo 5	236	Precio lechón vendido(€/animal)	33,38
Ciclo 6	252	Precio cerda reposición (€/animal)	228,40
Ciclo 7	259	Precio matadero (€/kg)	0,81
Ciclo 8	267	Precio inseminación artificial (€)	20,11
Ciclo 9-16	270	Repetición 1	-0,03
Consumo diario (kg/d)		Repetición 2	-0,06
en inseminación	3,75	Repetición 3	-0,09
en gestación, semana 1-4	2	Repetición 4	-0,12
en gestación, semana 5-12	2	Mortalidad lechones (%)	
en gestación, semana 13-16	3	primer parto	0,1
en gestación, últimos días	2,25	resto de partos	0,128
Consumo del lechón (kg/d)		Término constante	2,192
Semana 3	0,03	Efecto lineal de la paridad	0,297
Semana 4	0,12	Efecto cuadrático de la paridad	-0,022
Semana 5	0,6	Efecto lineal del tamaño de la camada	0,224
Factor de reducción del valor de las cerdas enfermas	0,7	Efecto cuadrático del tamaño de camada	-0,008
		Efecto lineal de la edad del destete	0,015

Fuente: Kristensen y Søllested (2004a¹).

1. Cambio 1 € = 7,46 DKK.

Resultados y discusión

Curvas de prolificidad

En la Tabla 3 se observan los valores estimados para los parámetros θ_1 , θ_2 , θ_3 y θ_4 , que definen el perfil de las curvas del tamaño de camada para cada una de las poblaciones consideradas. La comparación estadística de los resultados, a través del análisis de varianza, refleja diferencias entre poblaciones ($P < 0,01$) en todos los parámetros. La Tabla 3 indica además la separación de medias entre poblaciones para cada parámetro.

El comportamiento de θ_1 (que se relaciona con el tamaño de la camada al primer parto) y la tendencia lineal del descenso posterior de la prolificidad (ver Figura 1), es superior en P4 ($P < 0,05$), pero sin diferencias con P1 ($P > 0,05$). Ambas poblaciones son las que muestran una mayor prolificidad media en sus explotaciones (Figura 2(f)). Esta correlación positiva con la prolificidad corroboraría resultados parecidos obtenidos por Quintanilla y Babot (2008) quienes mostraron la relación entre el tamaño de camada al primer parto y la prolificidad. En esta línea, el efecto

de la primera camada ya se había considerado como criterio para la selección de reproductoras por tamaño de camada (Dewey et al., 1995; See et al., 1993). En el caso de θ_2 , que define la curvatura de la prolificidad e influye en el tamaño de camada máximo que se puede alcanzar, el valor en la P4 vuelve a ser mayor ($P < 0,05$). Una curvatura elevada representa un máximo en prolificidad más acusado que con valores menores. La peor curvatura, y por ende, una menor progresión hacia un máximo marcado en la curva de prolificidad se observa en P5 (ver Figura 2 (e) y (f)). Con valores intermedios a los de P4 y P5 se sitúan el resto de poblaciones, sin diferencias entre ellas ($P > 0,05$). Resultados análogos presentados por Bono et al. (2012) demuestran que contra mayor es la curvatura mayor crecimiento tiene el tamaño de la camada en segundo y tercer parto. Los parámetros θ_3 y θ_4 definen la recta que representa el descenso de la prolificidad una vez alcanzado el máximo (Figura 1) y su interpretación aislada es difícil ya que se ven afectados por los valores previos de θ_1 y θ_2 . El parámetro θ_3 , (que se puede relacionar con la prolificidad potencial) es mucho mayor ($P < 0,01$) para P4,

Tabla 3. Parámetros estimados para los cinco tipos de poblaciones (media \pm error estándar)
Table 3. Estimated parameters for the five types of population

Parámetros	P1	P2	P3	P4	P5
θ_1	3,313 ^{ab} ($\pm 0,11$)	2,314 ^d ($\pm 0,11$)	2,525 ^{cd} ($\pm 0,167$)	3,758 ^a ($\pm 0,19$)	3,024 ^{bc} ($\pm 0,27$)
θ_2	0,103 ^{ba} ($\pm 0,006$)	0,129 ^b ($\pm 0,004$)	0,117 ^b ($\pm 0,007$)	0,323 ^c ($\pm 0,024$)	0,052 ^a ($\pm 0,022$)
θ_3	14,774 ^b ($\pm 0,2$)	14,725 ^b ($\pm 0,2$)	15,425 ^b ($\pm 0,23$)	18,245 ^c ($\pm 0,21$)	13,472 ^a ($\pm 0,26$)
θ_4	0,459 ^a ($\pm 0,025$)	0,343 ^b ($\pm 0,026$)	0,353 ^b ($\pm 0,029$)	0,289 ^b ($\pm 0,029$)	0,292 ^b ($\pm 0,029$)

En cada fila, letras diferentes reflejan diferencias entre poblaciones con un P -valor $\leq 0,05$.

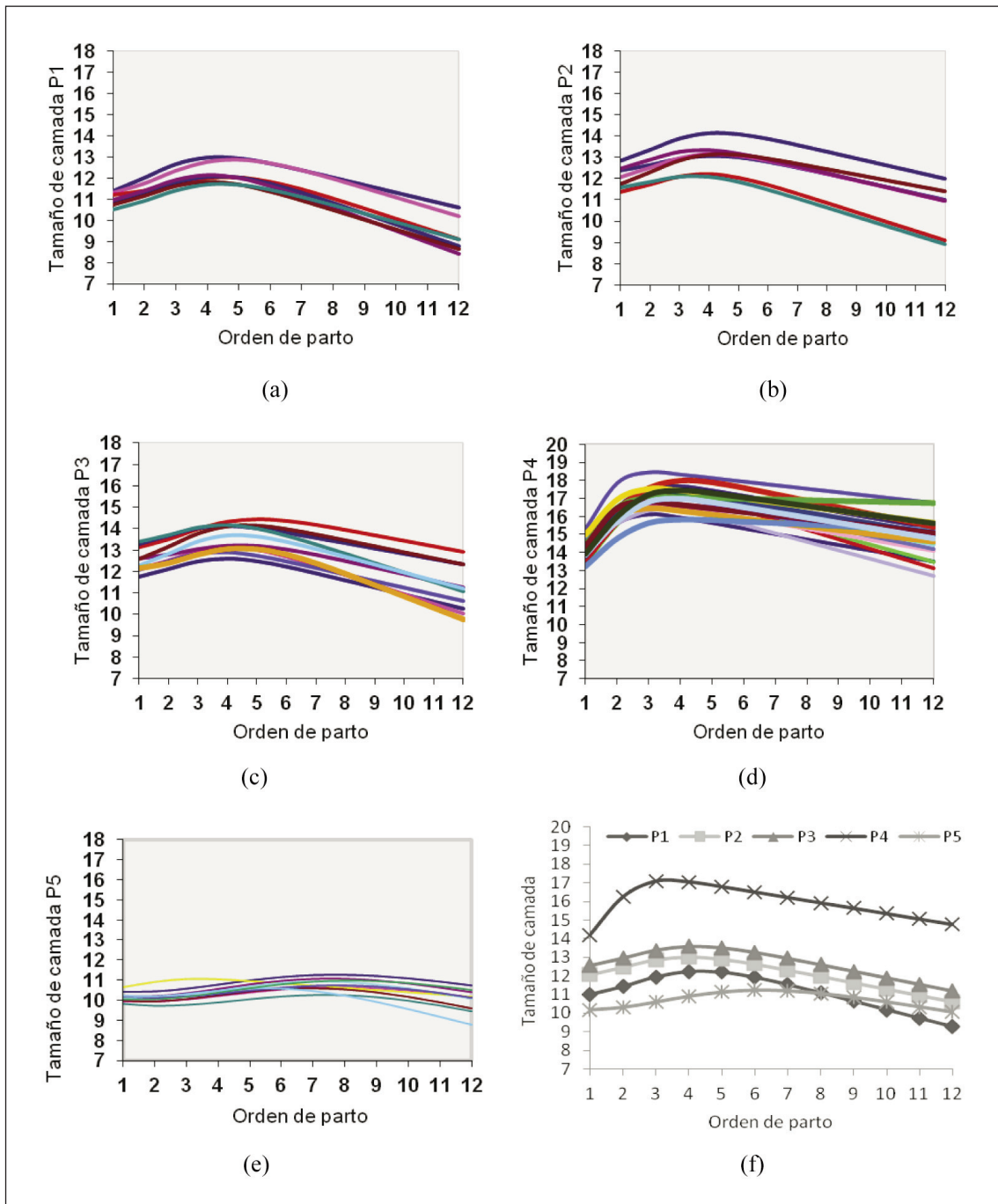


Figura 2. Curva de prolificidad de todas las granjas mostradas para cada población (a-e) y su curva promedio (f).
 Figure 2. Prolificity curve of all farms displayed by population (a-e) and their average curve (f).

en cambio, el parámetro θ_4 (que refleja el descenso paulatino del tamaño de la camada) únicamente difiere ($P < 0,01$) en la población P1, con una pendiente más acusada con respecto al resto de poblaciones que muestran una pendiente similar. Los resultados de las curvas de prolificidad estimadas parecen indicar que las diferencias en prolificidad entre las poblaciones estudiadas se deben más a diferencias en el potencial proliífico del primer parto (θ_1) junto con la capacidad de incrementar el tamaño de la camada en el segundo y tercer parto (θ_2) que no al descenso paulatino durante el resto de la vida productiva (θ_3 y θ_4).

En la Figura 2 se presentan las curvas de tamaño de camada, de todos los rebaños, de cada una de las granjas incluidas en el estudio para cada población, así como las curvas promedios en la última gráfica (Figura 2, f). Se puede decir que el comportamiento dentro de cada población es bastante homogéneo, lo que se explica por la homogeneidad de la genética de los animales que las conforman, se observa un patrón parecido en todas las granjas de P1, P2, P3 y P4, con un incremento de la prolificidad de primer a segundo parto. Este incremento es mucho más marcado en la población P4 con el promedio de prolificidad más alto y en concordancia con los parámetros estimados previamente. Sin embargo, el comportamiento resulta más atípico para las granjas cubanas, P5, que muestran una curva de prolificidad por debajo de las anteriores. Si bien la línea genética en granjas cubanas es esperable que pueda explicar una menor prolificidad, el no observar apenas diferencias por orden de parto permite sospechar la concurrencia de otros motivos como deficiencias en el manejo, instalaciones deficientes o alimentación irregular del ganado.

Las curvas de tamaño de la camada al nacimiento, obtenidas como promedio de las curvas estimadas para cada granja dentro de

población se muestran en la última gráfica (f) de la Figura 2. Estas reflejan un máximo en el tamaño de camada del tercer parto en la P4, mientras que para las poblaciones P1, P2 y P3 el incremento se alarga hasta el cuarto parto y en P5 más tardío, en el sexto. Estos resultados están de acuerdo con las afirmaciones de algunos autores sobre que el máximo tamaño de camada se alcanza habitualmente en el cuarto parto (Roehe y Kennedy, 1995; Noguera *et al.*, 2002a), aunque puedan registrarse diferencias entre distintas líneas comerciales (Moeller *et al.*, 2004), resultados similares son mencionados por Kristensen y Søllested (2004b).

El tamaño de la camada al primer parto es mayor en P4, con una diferencia superior a dos lechones sobre las restantes poblaciones. Este incremento se mantiene más o menos constante en los sucesivos partos. La relación entre el tamaño de la camada al primer parto y partos sucesivos ha sido estudiada por diferente autores. Por ejemplo, Roehe y Kennedy (1995) y Noguera *et al.* (2002b) encontraron que los valores de heredabilidad para el tamaño de camada en partos sucesivos tienen tendencias crecientes. También Hanenberg *et al.* (2001) encontraron un incremento ligero de los valores de heredabilidad hasta el sexto parto, en todos los casos los estudios se limitaron hasta el sexto parto. Irgang *et al.* (1994) obtuvieron tendencias similares para la raza Large White con un incremento progresivo de la media de lechones durante el primero, segundo y tercer parto. Otros autores, como Dagorn y Anmaitre (1979), Pinheiro *et al.* (2000), Nocera y Fedalto (2002) y Ribeiro *et al.* (2008), describen comportamientos muy similares en las curvas de prolificidad, independientemente de la raza y las condiciones de crianza. Carvalho *et al.* (2005) y Koketsu (2005) retrasan más el descenso de la prolificidad al observar un aumento en el número total de lechones nacidos hasta el quinto ciclo, comenzando a disminuir en el sexto parto.

Optimización de la política de reemplazamiento: Estructura censal

Los principales resultados derivados de la política óptima de reemplazamiento que se analizaron fueron la estructura censal de las cinco granjas simuladas con los mismos parámetros presentados en la Tabla 2, pero con la prolificidad estimada de la Tabla 3 derivadas de P1, P2, P3, P4 y P5 respectivamente (Figura 3) y un conjunto de índices técnicos y económicos (Tabla 4).

La estructura censal es importante ya que es sabido que las cerdas menos productivas son las primerizas y las más viejas. Dijkhuizen et al. (1986) y Stein et al. (1990), ya observaron que la mayor presencia en el rebaño de hembras jóvenes induce menores niveles de producción y un incremento de los días no productivos de la cerda. En la Figura 3 se aprecia como en el porcentaje de cerdas de primer parto de P4 y P5 tienen un valor bajo y muy similar. Sin embargo, la edad máxima de la población P4 es de 9 partos mientras que la

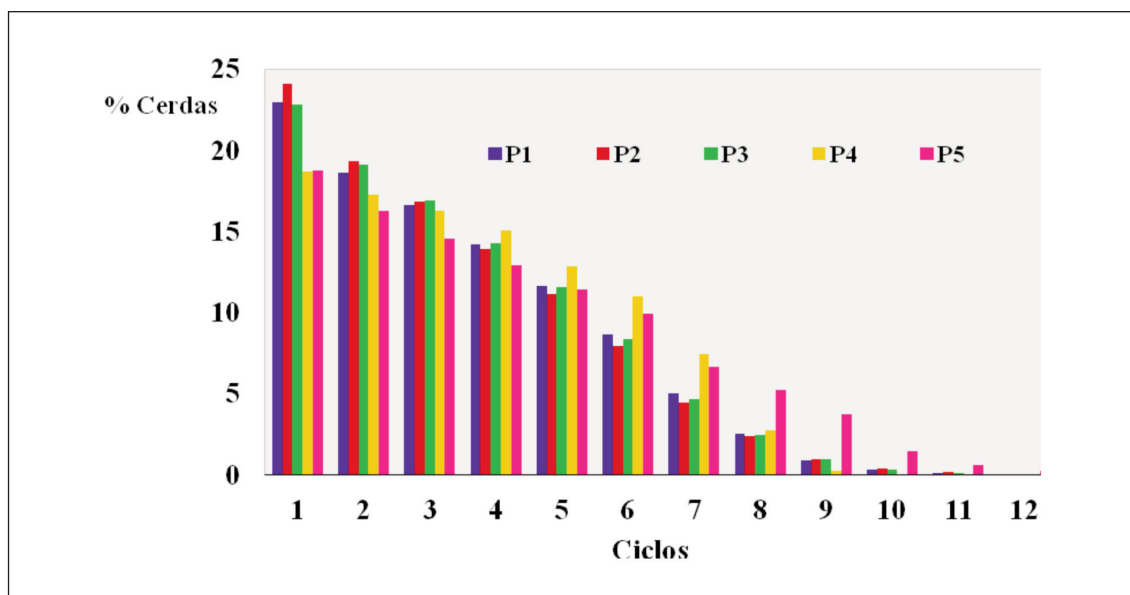


Figura 3. Estructura censal de las cinco granjas simuladas.
Figure 3. Herd structure of five simulated farms.

longevidad máxima de P5 es de 12 partos. En cambio para P1, P2 y P3 el número máximo de partos se sitúa en 10 y la distribución de cerdas por orden de parto presenta pequeñas variaciones entre dichas poblaciones. Estos resultados contrastan con reglas generales como las propuestas por Huirne et al. (1988), quienes plantean que la vida económica má-

xima de las cerdas resulta ser de 10 partos. Otros estudios más recientes afirman que en granjas de alta producción (como sería el caso de la P5), rara vez se permite que las cerdas permanezcan en la granja después de ocho ciclos y en general las cerdas se eliminan después de seis camadas (Waddell, 2010). Cabe recordar que los datos presentados en

Tabla 4. Rendimiento técnico y económico estimado en las cinco poblaciones simuladas
 Table 4. Technical and economical indexes estimated in the five populations simulated

Índices	P1	P2	P3	P4	P5
Censo					
Cerdas primera cubrición (%)	22,96 (±0,85) ^a	24,11 (±0,83) ^a	22,83 (±0,53) ^a	18,71 (±0,68) ^b	18,74 (±1,02) ^b
Cerdas entre 2º-7º parto (%)	74,88 (±0,90) ^b	73,67 (±0,82) ^{bc}	74,98 (±0,56) ^b	79,97 (±0,83) ^a	71,76 (±1,20) ^c
Tiempo de estancia (años)	1,76 (±0,07) ^b	1,68 (±0,06) ^b	1,77 (±0,04) ^b	2,19 (±0,06) ^a	2,2 (±0,12) ^a
Reposición al año (%)	57,14 (±2,1) ^a	59,98 (±2,1) ^a	56,8 (±1,3) ^a	46,58 (±1,7) ^b	46,57 (±2,5) ^b
Ritmo					
Partos (cerda en producción y año)	2,49 (±0,0003) ^a	2,49 (±0,0003) ^a	2,49 (±0,0003) ^a	2,49 (±0,0004) ^a	2,48 (±0,0007) ^b
Intervalo entre partos (días)	146,7 (±0,02) ^a	146,7 (±0,02) ^a	146,7 (±0,02) ^a	146,7 (±0,02) ^a	146,9 (±0,04) ^b
Productividad					
Destetados (cerda de baja)	46,67 (±1,68) ^b	48,03 (±2,04) ^b	52,08 (±1,69) ^b	74,44 (±2,57) ^a	51,2 (±2,78) ^b
Destetados (cerda y año)	26,47 (±0,38) ^c	28,58 (±0,49) ^b	29,39 (±0,35) ^b	33,9 (±0,35) ^a	23,21 (±0,09) ^d
Tamaño de la camada al destete (n)	10,64 (±0,15) ^c	11,49 (±0,2) ^b	11,81 (±0,14) ^b	13,62 (±0,14) ^a	9,34 (±0,04) ^d
Camadas por cerda de baja (n)	4,39 (±0,16) ^b	4,18 (±0,14) ^b	4,4 (±0,10) ^b	5,45 (±0,16) ^a	5,48 (±0,30) ^a
Ingresos					
Netos (€/ por cerda y año)	255 (±12,2) ^c	322 (±16,5) ^b	352 (±12,5) ^b	513 (±12,5) ^a	155 (±3,7) ^d

En cada fila, letras diferentes reflejan diferencias entre poblaciones con un p -valor $\leq 0,05$.

la Figura 3 corresponden a explotaciones con un mismo ritmo reproductivo donde el único parámetro que los diferencia es la curva de prolificidad. De esta forma se contradice la teoría sobre la existencia de una estructura ideal única para una población de cerdas reproductoras (o de un número de ciclos reproductivos máximo único para todas las explotaciones), demostrándose que la estructura óptima de una población depende del ritmo reproductivo, pero también de la productividad de los animales (Rodríguez *et al.*, 2012).

Optimización de la política de reemplazamiento: índices técnicos y económicos

Para comprender mejor el impacto de la prolificidad sobre la política óptima de reemplazamiento se calcularon algunos índices técnicos equivalentes a los propuestos por Kristensen y Søllested (2004a). Los índices técnicos: destetados por cerda de baja, destetados por cerda y año y tamaño de la camada al destete, que se presentan en la Tabla 4 ponen de manifiesto diferencias ($P < 0,05$) notables entre la productividad de P4 y P5 que corresponden a la mayor y menor prolificidad, respectivamente. En cambio, esos mismos índices son parecidos para P2 y P3 siendo para P1 menores. Los destetados por cerda de baja son iguales en todas las poblaciones, excepto para P4 donde es superior ($P < 0,05$) debido a su mayor prolificidad. Los ingresos netos esperados por cerda y año para cada población se corresponde con el nivel de prolificidad de cada una de ellas, observándose una correlación directa, sin embargo entre P2 y P3 no se aprecian diferencias en este concepto.

En los índices relacionados con el censo y en el ritmo reproductivo no se encuentran diferencias entre las tres poblaciones españolas (P1, P2 y P3). En cuanto a los índices relacionados con el ritmo reproductivo, únicamente P5 muestra diferencias ($P < 0,05$) con el resto

de poblaciones debido a la mayor longevidad de las cerdas que redundan en un menor número de partos por cerda y año.

En cuanto a los índices relativos al censo de P4 y P5, éstos son iguales excepto en el porcentaje de cerdas de 2°-7° parto. Es P4 quien concentra más animales en esa franja y P5, con una longevidad máxima mayor, presenta el valor menor para ese índice (Tabla 4) siendo el impacto de la curva de la prolificidad la única explicación del comportamiento. Estos resultados coinciden con las consideraciones de Acero (2011) y Babot y Quintanilla (2008), quienes plantean que las granjas productivas mantienen un 75% del censo entre los ciclos segundo y séptimo, es decir, evitan tener una mayor cantidad de cerdas primerizas y viejas que producen menores tamaños de camadas. Además, las cerdas primerizas tienen el intervalo destete-celo más largo que el resto de cerdas, aumentando los días improductivos lo que significa más pérdidas económicas por aumento de los gastos por cerda y año (Babot y Quintanilla, 2008). Kotsu (2005) observó que en poblaciones donde hay un mayor número de cerdas entre 2° y 6° parto hay más lechones destetados por cerda y año, más camadas por cerda y año, menos días improductivos y más partos por cerda y año.

En todas las poblaciones, el tiempo de estancia presenta un promedio de alrededor dos años en la explotación, por debajo de seis camadas (Tabla 4). Hay diferencias ($P < 0,05$) entre poblaciones, siendo P4 y P5 las que mantienen en promedio más tiempo las cerdas en el rebaño, en coherencia con el número de camadas por cerda de baja y con una menor reposición. Estos resultados sugieren que el tener bajas tasas de reposición puede ser ventajoso en rebaños con potenciales prolíficos muy altos pero también en rebaños con bajo potencial prolífico que requieren un mayor periodo de amortización de sus animales.

Conclusiones

La curva de prolificidad estimada de diferentes explotaciones porcinas intensivas de diferentes orígenes genéticos ha permitido comprender mejor algunos parámetros técnicos en relación a la prolificidad. Así, un tamaño de camada de primer parto elevado y un tamaño de camada máximo también elevado son característicos de las poblaciones más prolíficas respecto a otras poblaciones menos productivas. Poblaciones menos prolíficas, además de presentar un tamaño de camada inferior en el primer parto, también alcanzan un tamaño de camada máximo inferior y más tardío en la vida productiva de los animales. En cambio, no se han observado diferencias apreciables en la tendencia con la que el tamaño de camada desciende en etapas maduras de la cerda reproductora.

En cuanto al impacto de la prolificidad en la política óptima de reemplazo de reproductoras porcinas, los resultados permiten extraer varias conclusiones: a) la prolificidad afecta a la estructura ideal de la población, en general, una prolificidad elevada está asociada a un porcentaje mayor de cerdas en las edades más productivas (de segundo a séptimo parto) que también influye en la edad productiva máxima; b) una prolificidad elevada va asociada a un acortamiento de la vida productiva máxima de las reproductoras, mientras que una prolificidad baja incide en un alargamiento de la vida productiva de las reproductoras que requieren más tiempo para amortizarse; c) los parámetros productivos y reproductivos de cada explotación condicionan su manejo óptimo, en particular el manejo del reemplazo depende del ritmo reproductivo, pero también de la productividad de los animales. Así, la reposición anual en rebaños con elevada y baja prolificidad puede ser igual, su porcentaje de cerdas de primera cubrición igual, el número de partos por cerda y año igual y su intervalo entre partos

igual, pero la productividad por parto y anual bien distintas, acorde con su prolificidad. De la misma forma que en este trabajo se ha demostrado la no existencia de una estructura ideal universal de cerdas reproductoras para todas las explotaciones, también se ha demostrado que no puede existir una política óptima de manejo única para cualquier granja. También se ha confirmado que los ingresos netos de los rebaños dependen fundamentalmente de los lechones destetados por cerda y año más que de la longevidad de las cerdas, lo que significa que altas tasas de reposición serían compensadas económicamente por la tasa de lechones destetados.

Agradecimientos

El presente trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto de investigación AGL2010-20820 financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación. Los autores también quieren manifestar su agradecimiento al Profesor Anders R. Kristensen de la Universidad de Copenhague tanto por su apoyo en el uso del software MLHMP como a sus comentarios en versiones preliminares de este artículo.

Bibliografía

- Acero P (2011). Planificación y manejo de la explotación de ganado porcino. Tomo VI. Edición: Consejería de Agricultura y Ganadería de Castilla y León. Valladolid. 110 p.
- Babot D, Quintanilla R (2008). Decisiones de manejo en granjas y su influencia sobre la productividad: edad al primer parto, duración de la lactación y eliminación-renovación de animales. La gestión técnica de explotaciones porcinas en España. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 87-108.
- Barbosa L, Lopes P, Regazzi A (2008). Estimación de parâmetros genéticos em tamanho de leitegada de suínos utilizando análises de características múltiplas. Uma revisão. Revista Brasileira de Zootecnia 37: 1947-1952.
- Bono C, Cornou C, Kristensen A (2012). Dynamic production monitoring in pig herds I: Modeling and monitoring litter size at herd and sow level. *Livestock Science* 149: 289-300.
- Carvalho L, Sousa K, Bastos F (2005). Efeito da ordem de parto sobre a prolificidade da fêmea suína. In: Congresso Brasileiro dos Veterinários Especialistas em Suínos. Anais. Fortaleza. Ceará 214-215.
- Crump R, Haley C, Thompson R (1997). Individual animal model estimates of genetic parameters for reproduction traits of Landrace pigs performance tested in a commercial nucleus herd. *Journal of Animal Science* 65: 285-290.
- Dagorn J, Anmaitre A (1979). Sow culling: reasons for and effect on productivity. A review. *Livestock Production Science* 6: 167-177.
- Daza A, Gutiérrez M (1993). Efecto de la estación y orden de parto sobre el tamaño de camada y mortalidad de lechones durante la lactancia. *Archivos de Zootecnia* 42: 339-346.
- Dewey C, Martin S, Friendship R, Kennedy B, Wilson M (1995). Associations between litter size and specific sow-level management factors in Ontario swine. *Preventive Veterinary Medicine* 23: 101-110.
- Dijkhuizen A, Morris R, Morrow M (1986). Economic optimization of culling strategies in swine breeding herds, using the "Porkchop" computer program. *Preventive Veterinary Medicine* 4: 341-353.
- Hanenberg E, Knol E, Merks J (2001). Estimates of genetic parameters for reproduction traits at different parities in Dutch Landrace pigs. *Livestock Production Science* 69: 179-186.
- Huirne R, Hendriks T, Dijkhuizen A, Giesen G (1988). The economic optimisation of sow replacement decisions by stochastic dynamic programming. *Journal of Agricultural Economics* 39: 426-438.

- Irgang R, Favero J, Kennedy B (1994). Genetic parameters for litter size of different parities in Duroc, Landrace, and Large White sows. *Journal of Animal Science* 72: 2237-2246.
- Jørgensen E (1992). Sow replacement: reduction of state space in dynamic programming models and evaluation of benefit from using the model. *Dina Research Report* 6: 1-21.
- Koketsu Y (2005). Within-farm variability in age structure of breeding-female pigs and reproductive performance on commercial swine breeding farms. *Theriogenology* 63: 1256-1265.
- Kristensen AR (2003). A general software system for Markov decision processes in herd management applications. *Computers and Electronics in Agriculture* 38, 199-215.
- Kristensen AR, Jørgensen E (2000). Multi-level hierarchic Markov processes as a framework for herd management support. *Annals of Operations Research* 94, 69-89.
- Kristensen A, Søllested T (2004a). A sow replacement model using Bayesian updating in a three-level hierarchic Markov process I. *Biological model. Livestock Production Science* 87: 13-24.
- Kristensen A, Søllested T, (2004b). A sow replacement model using Bayesian updating in a three-level hierarchic Markov process: II. Optimization model. *Livestock Production Science* 87: 25-36.
- Lourenço F, Dionello N, Medeiros G (2008). Estudos genéticos sobre a leitegada de suínos da raça Large White criados no Rio Grande do Sul. Uma revisão. *Revista Brasileira de Zootecnia* 37: 1959-1964.
- Martínez-Giner M, Pena N, Casellas J, Balcells I, Fernández A (2008). El tamaño de camada es un carácter de gran importancia económica en porcino. Una revisión. *Información Técnica Económica Agraria* 104: 89-93.
- Moeller SJ, Goodwin RN, Johnson RK, Marbry JW, Baas TJ, Robison OW (2004). The National Pork Producer Council Maternal Line Genetic Evaluation Program: A comparison of six maternal genetic lines for female productivity measures over four parities. *Journal of Animal Science* 82: 41-53.
- Nocera P, Fedalto L (2002). A influência de fatores ambientais e de inseminação artificial sobre as características produtivas de suínos. Uma revisão. *Archivos de medicina veterinaria* 7: 159-172.
- Noguera J, Varona L, Babot D, Estany J (2002a). Multivariate analysis of litter size for multiple parities with production traits in pigs: II. Response to selection for litter size and correlated response to production traits. *Journal of Animal Science* 80: 2548-2555.
- Noguera J, Varona L, Babot D, Estany J (2002b). Multivariate analysis of litter size for multiple parities with production traits in pigs: I. Bayesian variance component estimation. *Journal of Animal Science* 80: 2540-2547.
- Petry D, Holl J, Johnson R (2004). Responses to 19 generations of litter size selection in the NE Index line. II. Growth and carcass responses estimated in pure line and crossbred litters. *Journal of Animal Science* 82: 1895-1902.
- Pinheiro M, Galvão R, Bezerra N, Espíndola G (2000). Características reprodutivas de suínos puros na região semi-árida do Rio Grande do Norte. I Tamanho da leitegada. Uma revisão. *Revista Caatinga*, 13: 19-26.
- Plà L (2007). Review of mathematical models for sow herd Management. *Livestock Production Science* 106: 107-119.
- Plà L, Pomar J (2008). Sistemas de ayuda a la toma de decisiones. La gestión técnica de explotaciones porcinas en España. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 21-30 p.
- Quintanilla R, Babot D (2008). Gestión de la producción y de la empresa porcina: parámetros implicados en el rendimiento técnico de las explotaciones porcinas. La gestión técnica de explotaciones porcinas en España. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 31-55 p.
- Ribeiro J, Carvalho L, Sousa K, Nepomuceno R (2008). Prolificidade de fêmeas suínas nascidas de fortaleza, Ceará, Brasil. Uma revisão. *Archivos de Zootecnia* 57: 537-540.
- Roehe R, Kennedy B (1995). Estimation of genetic parameters for litter size in Canadian Yorkshire

- and Landrace swine with each parity of farrowing treated as a different trait. *Journal of Animal Science* 73: 2959-2970.
- Rodriguez S, Plà LM, Albornoz V (2012). Modelling tactical planning decisions through a linear optimization model in sow farms. *Livestock Science* 143: 162-171.
- Rydhmer L, Lundeheim N, Johansson K (1995). Genetic parameters for reproduction traits in sows and relations to performance test measurements. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 112: 33-42.
- See M, Mabry J, Bertrand J (1993). Restricted maximum likelihood estimation of variance components from field data for number of pigs born alive. *Journal of Animal Science* 71: 2905-2909.
- Smith C, Dickerson G, Tess M (1983). Expected relative responses to selection for alternative measures of life cycle economic efficiency of pork production. *Journal of Animal Science* 56: 1306-1314.
- Sørensen D, Vernersen A, Andersen S (2000). Bayesian analysis of response to selection: a case study using litter size in Danish Yorkshire pigs. *Genetics* 156: 283-295.
- Southwood O, Kennedy B (1990). Estimation of direct and maternal genetic variance for litter size in Canadian Yorkshire and Landrace swine using an animal model. *Journal of Animal Science* 68: 1841-1847.
- Stein T, Dijkhuizen A, D'Allaire S, Morris R (1990). Sow culling and mortality in commercial swine breeding herds. *Preventive Veterinary Medicine* 9: 85-94.
- Toft N, Jørgensen E (2002). Estimation of farm specific parameters in a longitudinal model for litter size with variance components and random dropout. *Livestock Production Science* 77: 175-185 p.
- Waddell J (2010). Achieving 30 Pigs/Sow/Year Key differences exist in high producing farms. Presentation by Dr. Waddell at the 2010 Banff Pork Seminar.
- (Aceptado para publicación el 6 de enero de 2015)