



Universitat de Lleida

Modelización del sistema productivo porcino y evaluación de los parámetros técnicos más significativos

Yulien Fernández Romay

Dipòsit Legal: L.973-2013

<http://hdl.handle.net/10803/120476>

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.

UNIVERSIDAD DE LLEIDA

Departamento de Producción Animal



**MODELIZACIÓN DEL SISTEMA PRODUCTIVO PORCINO Y
EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS MÁS
SIGNIFICATIVOS**

**MODELITZACIÓ DEL SISTEMA PRODUCTIU PORCÍ I AVALUACIÓ
DELS PARÀMETRES TÈCNICS MÉS SIGNIFICATIUS**

TESIS DOCTORAL

Yulien Fernández Romay

**Directores: Ph.D. Daniel Babot Gaspa
Ph.D. Lluís Miquel Plà Aragones**

Lleida 2013

Título: ***Modelización del sistema productivo porcino y evaluación de los parámetros técnicos más significativos***

Autora: MsC. Yulien Fernández Romay

Directores: Ph.D. Daniel Babot Gaspa

Ph.D. Lluís Miquel Plà Aragones

Presentación realizada: mayo 2013

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria de Lleida

Av. Alcalde Rovira Roure, 191

25198 Lleida, España

AGRADECIMIENTOS

Doy Gracias a Dios por haber podido concluir esta tesis.

Es difícil determinar por quién empezar a agradecer, son muchas las personas cuyo esfuerzo y sacrificio es digno de mencionar, con el único objetivo de que esta Tesis sea una realidad, las palabras no serán suficientes para expresar mi agradecimiento, a pesar de ello quiero agradecer a toda mi familia y en primer lugar mi pequeña hija, que con su amor me ha dado fuerzas para seguir adelante y mi madre que ha sido mi apoyo incondicional en todos los años dedicados a mis estudios, ellas serán las primeras personas que deseo mencionar. A mi hermano, mi abuela y mis tíos; cada uno, me brindo toda la ayuda que necesite en su justo momento.

Quiero agradecer especialmente a mis tutores, sin el apoyo de los cuales esta Tesis no existiría, el DrC. Daniel Babot y DrC. Lluís Miquel Plà por su trato y apoyo inestimable.

Además deseo agradecer al DrC. Anders R. Kristensen, así como un especial agradecimiento a quién además ha demostrado ser un amigo incondicional, el DrC. Julio Nolberto Pérez.

A todas las personas que han participado en la elaboración de los artículos de esta Tesis, por su colaboración y dedicación, los profesores Yury Freddy Peña, Marco Montufar, Alcibiades Morales y Oscar Barzaga, al profesor Jordi Tico, que con su apoyo ha colaborado de forma significativa, al DrC. Esteban que me ayudo a ver el camino en etapas iniciales, a los compañeros y especialmente a la rectora DrC. Marcia Esther Noda, de la Universidad de Holguín, que colaboraron en varias tareas, a los que tributaron información, sin la cual no hubiera sido posible desarrollar esta investigación, los directivos de la Empresa Porcina de Holguín y del Ministerio de la Agricultura, así como colaboradores del Instituto de Investigaciones Porcinas de Cuba.

No quiero olvidar a otros colaboradores como Raúl, Ana, Raiker y Jorge por sus sabios consejos, a Ofelia, Dixan, Luis, Belén y Niuvan que contribuyeron a concluir felizmente esta tesis y a todos mis amigos, que nombrarlos sería imposible por ser tantos y todos muy importantes.

Por último y no por ello menos importante, al contrario, fue la persona que más me inculco el amor por estudiar y superarme quiero dedicar esta tesis a mi Padre.

La línea de investigación de esta tesis ha dado origen a los siguientes artículos:

Artículos específicos de la tesis:

- Fernández, Y.; Morales, A. y Babot, D. 2013. Factores que influyen la productividad numérica de reproductoras porcinas. Sometido a la Revista Computadorizada de Producción Porcina.
- Fernández, Y.; Plà, L.M.; Peña, Y.F. Fernández, A. Y Babot, D. 2013. Meta-análisis de la influencia de diferentes indicadores reproductivos sobre la productividad numérica de las cerdas. Sometido a la Revista Cubana de Ciencia Agrícola.
- Fernández, Y.; Kristensen, A.R.; Bono, C.; Cornou, C.; Plà, L.M. y Babot, D. 2013. Impacto de la prolificidad en la política de reemplazamiento. Sometido a la Revista, Información Técnica Económica Agraria (ITEA).
En conformidad con los directores y después de consultar al dr Kristen se propone presentarla a la revista livestock lo cual se hará en poco
- Fernández, Y.; Babot, D. y Plà, L.M. 2013. A simulation model for piglet production. Submitted to Simulation Modelling Practice and Theory.
Versión en inglés se envía de forma inmediata
- Fernández, Y.; Babot, D. Y Plà, L.M. 2013. Evaluación de estrategias de manejo para el reemplazo de reproductoras porcinas en granjas cubanas a través de la simulación. Submitted to Livestock Science.
Versión en Inglés en revisión para la revista prevista para enviar de forma inmediata a la revista Livestock Science.

Artículos relacionados con la línea de investigación:

- Fernández, Yulien; Montufar, M. A. y Plá L.M. 2012. Modelo de simulación para la evaluación de políticas de reemplazo en granjas de explotación porcina. CD-ROOM ISBN 978-959-7208-12-9 Memorias del V Seminario Internacional de Porcicultura Trópic. pp 789.
<http://www.iip.co.cu/Eventos/PT2012/documentos.pdf>
- Plá LM. y Ezcurra X Babot, D; Fernández, Yulien Fernández, A. Morales, A. 2010. Modelización en Sistemas de Producción Porcina. CD-ROOM ISBN-978-959-7208-07-5. 2010. pp 97.
<http://www.iip.co.cu/Eventos/PT2010/documentos.pdf>

- Plà, L.M.; Flores, Virginia. y Rodríguez, Sara. Fernández Yulien. 2010. Un Modelo de Simulación para Sistemas Intensivos de Producción de Lechones. CD-ROOM ISBN-978-959-7208-07-5. pp 96.
<http://www.iip.co.cu/Eventos/PT2010/documentos.pdf>
- Fernández, Yulien; Peña, Y.; Morales, A. y Fernández, A. 2010. Análisis teórico de la influencia de los indicadores reproductivos en la productividad numérica en granjas porcinas. CD-ROOM ISBN-978-959-7208-07-5.
- Fernández, Yulien.; Burgoa, M. y Morales, A. 2009. Manejo de la reproducción en granjas de reproductoras porcina. CD-ROOM ISBN- 978-959-7198-03-01.
- Morales A.; Fernández, Yulien.; Peña, Y. y Camejo, I. 2009. Manejo y alimentación en una unidad porcina de la provincia Holguín. CD-ROOM ISBN-978-959-7198-03-01.

Participaciones en eventos y conferencias:

- V Seminario Internacional de Porcicultura Tropical 2012. Cuba, Mayo 2012.
- IV Seminario Internacional de Porcicultura Tropical 2010. Cuba, Mayo 2010.
- EURO Summer Institute 2009 Universidad de Lleida, España. Julio 2009.
- Primer Taller Trilateral UHo-UdL-IIP sobre Gestión de la Producción Porcina. Universidad de Holguín. Cuba, Noviembre 2009.
- Taller Internacional sobre Investigación Operacional para la mejora de la Producción Porcina. Universidad de Holguín. Cuba, Marzo 2009.
- Taller Territorial de Microbiología de las Provincias Orientales. Holguín. Cuba, Febrero 2009.
- IV Conferencia Científica Internacional de la Universidad de Holguín. Cuba, Abril 2009.

RESUMEN

Dos modelos se usaron en este estudio. El primero optimiza la política de reemplazamiento y el segundo simula una explotación de cerdas, se adaptaron y crearon para estimar y comparar índices técnicos y económicos de granjas de reproductoras porcinas. El primer modelo optimiza los índices técnicos y económicos de las granjas a través de la optimización de la prolificidad como el índice de mayor importancia en la productividad numérica de las cerdas, el segundo modelo se diseñó y empleo para simular de forma global el rendimiento de una granja. Para la optimización de los índices técnicos y económicos se estimaron las curvas de prolificidad de cinco poblaciones pertenecientes a cinco orígenes genéticos diferentes y se obtuvieron datos de 53 granjas, 24 españolas, 19 danesas y 10 cubanas, las curvas de prolificidad por orden de parto fueron obtenidas a partir del cálculo de los parámetros estimados por el modelo. Los parámetros son obtenidos del registro de los diferentes eventos de las cerdas e incluye los siguientes rasgos: identificación de la granja, identificación de la cerda, número de partos y número de lechones nacidos vivos, los resultados de la optimización de los índices técnicos y económicos han puesto de manifiesto un mejor rendimiento técnico para las granjas procedentes de Dinamarca con un nivel de significación para ($\alpha < 0.05$), así como demostraron que altas tasas de reposición serían compensadas económicamente por la tasa de lechones destetados. El modelo de simulación de eventos discretos, fue adaptado para contemplar un manejo por lotes y toma en consideración las tareas cotidianas de las granjas. La contribución principal del modelo es la flexibilidad en la organización de la producción que va desde una simple granja de cerdas hasta un grupo de ellas, como en realidad se lleva a cabo en la práctica. Estas características permiten que el modelo determine la diferencia con respecto a otros enfoques y permita comparar diferentes estrategias de manejo reproductivo y sistemas de producción de una manera más realista. Fue empleado para simular una granja cubana y proponer una estrategia de manejo que mejore los resultados productivos de la misma.

ABSTRACT

Two models were used for this study. The first model optimizes replacement policy and the second model simulates a farms of sows and were adapted and created to estimate and compares technical and economic indices on pig breeding farms. The first model optimizes technical and economic indices of farms through optimization prolificacy as the most important index in the numerical productivity of sows, the second model was designed to simulate and employment globally farm performance. For optimization of the technical and economic indices were estimated curves prolificacy of five populations from five different genetic origins and obtained data from 53 farms, 24 Spanish, 19 Danish and 10 Cuban, prolificacy curves in order of birth were obtained from the calculation of the parameters estimated by the model. The parameters are obtained from the register of the different events of the bristles and includes the following features: farm identification, identification of the sow, parity and number of piglets born alive, the results of the optimization of the technical and economic indices have shown a better technical performance for farms from Denmark with a significance level ($\alpha < 0.05$), and showed that high replacement rates would be compensated financially by the rate of piglets weaned. The model of discrete event simulation, was adapted to contemplate a batch management and takes into account the daily tasks of the farms. The main contribution of the model is the flexibility in the organization of production ranging from simple sow farm to a group of them, as actually is done in practice. These features allow the model to determine the difference from other approaches and allow compare different reproductive management strategies and production systems more realistically. Was used to simulate a Cuban farm and propose a management strategy to improve the productive results of it.

RESUM

Dos models es van usar en aquest estudi. El primer optimitzar la política de reemplaçament i el segon simula una explotació de truges, es van adaptar i van crear per estimar i comparar índexs tècnics i econòmics de granges de reproductores porcines. El primer model optimitza els índexs tècnics i econòmics de les granges a través de l'optimització de la prolificitat com l'índex de major importància en la productivitat numèrica de les truges, el segon model es va dissenyar i ocupació per simular de manera global el rendiment d'una granja. Per a la optimització dels índexs tècnics i econòmics es van estimar les corbes de prolificitat de cinc poblacions pertanyents a cinc orígens genètics diferents i es van obtenir dades de 53 granges, 24 espanyoles, 19 daneses i 10 cubanes, les corbes de prolificitat per ordre de part van ser obtingudes a partir del càlcul dels paràmetres estimats pel model. Els paràmetres són obtinguts del registre dels diferents esdeveniments de les truges i inclou els següents trets: identificació de la granja, identificació de la truja, nombre de parts i nombre de garrins nascuts vius, els resultats de l'optimització dels índexs tècnics i econòmics han posat de manifest un millor rendiment tècnic per les granges procedents de Dinamarca amb un nivell de significació per a ($\alpha < 0.05$), així com demostrar que altes taxes de reposició serien compensades econòmicament per la taxa de garrins deslletats. El model de simulació d'esdeveniments discrets, va ser adaptat per contemplar un maneig per lots i pren en consideració les tasques quotidianes de les granges. La contribució principal del model és la flexibilitat en l'organització de la producció que va des d'una simple granja de truges fins a un grup d'elles, com en realitat es porta a terme a la pràctica. Aquestes característiques permeten que el model determini la diferència respecte a altres enfocaments i compareu diferents estratègies de maneig reproductiu i sistemes de producció d'una manera més realista. Va ser emprat per simular una granja cubana i proposar una estratègia de maneig que millori els resultats productius de la mateixa.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
RESUM.....	iii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 Antecedentes	3
1.2 Problema	6
1.3 Hipótesis	7
1.4 Objetivos.....	7
1.5 Referencias	9
CAPÍTULO 2. FACTORES QUE INFLUYEN LA PRODUCTIVIDAD	
NUMÉRICA DE REPRODUCTORAS PORCINAS.....	13
Resumen.....	15
Abstract	15
2.1 Introducción.....	16
2.2 La productividad numérica y prolificidad en reproductoras porcinas.....	17
2.2.1 Factores que caracterizan la productividad numérica.	17
2.2.1.1 Prolificidad.....	17
2.2.1.2 Mortalidad.....	18
2.2.2 Factores inherentes al desarrollo del animal.....	18
2.2.2.1 Edad a la primera cubrición.	18
2.2.2.2 Raza.....	20
2.2.2.3 Longevidad.....	21
2.2.3 Factores relacionados con el ciclo anterior.	22
2.2.3.1 Intervalo entre partos.....	22
2.2.3.2 Intervalo destete primera cubrición.....	22
2.2.3.4 Intervalo destete cubrición fértil.	23
2.2.3.5 Duración de la lactación.....	24
2.2.4 Factores relacionados con el manejo reproductivo.	25
2.2.4.1 Alimentación.....	25
2.2.4.2 Clima.....	26
2.3 Teoría de la toma de decisiones.	27

2.4 Conclusiones.....	28
2.5 Referencias	30
CAPÍTULO 3. META-ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE DIFERENTES INDICADORES REPRODUCTIVOS SOBRE LA PRODUCTIVIDAD NUMÉRICA DE LAS CERDAS.....	41
Resumen.....	43
Abstract.....	43
3.1 Introducción.....	44
3.2 Materiales y métodos.....	45
3.2.1 Identificación de la literatura y metodología para la búsqueda bibliográfica.	45
3.3 Resultados y discusión	49
3.4 Conclusiones.....	53
3.5 Referencias	54
CAPÍTULO 4. IMPACTO DE LA PROLIFICIDAD EN LA POLÍTICA DE REEMPLAZAMIENTO.....	57
Resumen.....	59
Abstract.....	59
4.1 Introducción	60
4.2 Materiales y métodos.....	62
4.2.1 Estimación y comparación de las curvas de prolificidad	62
4.2.2 Impacto de la prolificidad en la política de reemplazamiento	65
4.3 Resultados y Discusión	65
4.3.1 Optimización de la política de reemplazamiento: Índices técnicos y económicos.....	70
4.4 Conclusiones	75
4.5 Referencias	76
4.6 Anexos.....	81
CHAPTER 5. A SIMULATION MODEL FOR PIGLET PRODUCTION.....	87
Abstract.....	89
5.1 Introduction.....	89
5.2 The piglet production system.....	91
5.3 Model formulation.	92

5.4	Model implementation.....	94
5.5	Verification.....	96
5.6	Case study.....	98
5.6.1	Case parameters.....	98
5.6.2	Result and discussion of the case study.....	99
5.7	Conclusion.....	104
5.8	References.....	106
5.9	Appendix.....	109
CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANEJO PARA EL REEMPLAZO DE REPRODUCTORAS PORCINAS EN GRANJAS CUBANAS A TRAVÉS DE LA SIMULACIÓN.....		113
	Resumen.....	115
	Abstract.....	115
6.1	Introducción	116
6.2	Materiales y métodos.....	118
6.3	Resultados y discusión.....	122
6.3.1	Rendimiento económico.....	126
6.4	Conclusiones.....	127
6.5	Referencias.....	129
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES GENERALES Y PERSPECTIVA.....		133
7.1	Conclusiones generales.....	135
7.2	Perspectiva.....	137

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 3

Tabla 1: Relación de los autores analizados según el factor al que hacían referencia.....	47
Tabla 2: Codificación de la influencia de los factores en la productividad numérica.....	48
Tabla 3: Porcentajes de aparición de las citas relacionados con la productividad numérica.....	49
Tabla 4: Valores de probabilidad obtenidos de la Prueba de corridas.....	50
Tabla 5: Análisis de varianza para los conglomerados.....	52

CAPÍTULO 4

Tabla 1: Muestra de estudio.....	62
Tabla 2: Parámetros estimados para los cuatro tipos de poblaciones.....	67
Tabla 3: Rendimiento técnico y económico estimado en las cuatro poblaciones estudiadas.....	74
Tabla 4: Parámetros constantes del modelo.....	83

CHAPTER 5

Table 1: Herd Distribution over Main States (Herd Size: 300, Time Simulated: 10000 Days).....	97
Table 2: Herd Distribution by Reproductive Cycle (Herd Size:.300, Time Simulated: 10000 Days).....	97
Table 3: Comparison of 10 simulations evaluating the effectiveness of the first mating in the past 3 years.....	101
Table 4: Time Intervals.....	109
Table 5: Transition Probabilities.....	109
Table 6: Time Intervals.....	110
Table 7: Transition Probabilities.....	110

CAPÍTULO 6

Tabla 1: Parámetros asignados al modelo en el caso A.....	120
Tabla 2: Parámetros modificados al modelo en el caso B.....	121
Tabla 3: Comparación de la ocupación de la granja por estados y por día.....	122
Tabla 4: Rendimiento técnico estimado	126
Tabla 5. Parámetros modificados para estimar el rendimiento económico y promedio del beneficio diario de cada simulación.....	127

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 3

Figura 1: Dendogramas de las observaciones (A) y las variables (B) que influyen en la productividad numérica de las cerdas.....	51
---	----

CAPÍTULO 4

Figura 1: Curvas de prolificidad de las cinco poblaciones y sus promedios.....	69
Figura 2: Estructura censal de las poblaciones.....	70
Figura 3: Gráfico de probabilidad de normal parámetro $\theta 1$	81
Figura 4: Gráfico de residuos contra valores ajustados parámetros $\theta 1$	81
Figura 5: Gráfico de probabilidad normal parámetro $\theta 2$	81
Figura 6: Gráfico de residuos contra valores ajustados parámetro $\theta 2$	81
Figura 7: Gráfico de probabilidad normal parámetro $\theta 3$	82
Figura 8: Gráfico de residuos contra valores ajustados parámetro $\theta 3$	82
Figura 9: Gráfico de probabilidad normal parámetro $\theta 4$	82
Figura 10: Gráfico de residuos contra valores ajustados parámetro $\theta 4$	82

CHAPTER 5

Figure 1: General Model Structure.....	95
Figure 2: Contents of the Farm Model.....	96
Figure 3: Sows by state A- Total and B- Proportion.....	100
Figure 4: Ratio of A- number of farrowing versus litters weaned and B- piglets born alive versus weaned	102
Figure 5: Benefits for weaned piglets.....	104

CAPÍTULO 6

Figura 1: Distribución del rebaño según estado y caso	123
Figura 2: Estructura censal de los dos casos.....	124

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Antecedentes

Producir carne de cerdo y maximizar los beneficios, es el propósito de los sistemas de producción porcino, a lo cual se han dedicado innumerables investigaciones a nivel mundial, entre las que destacan las relacionadas con la selección de las reproductoras por el tamaño de la camada al nacimiento, (Forni, *et al.* 2010; Berard, *et al.* 2008 y Silva, *et al.* 2007), la longevidad, (Babot, *et al.* 2010) o la duración de la lactación (Babot, *et al.* 2003). El proceso de producción porcina está constituido por un número de etapas (reproducción, transición y ceba) interconectadas entre sí, cada una juega un determinado rol en la cadena productiva. En función de lo anterior la producción se puede realizar en varias granjas, que se especializan en determinada etapa de la cadena de producción o en una granja de ciclo completo.

Estudios del sistema de producción porcino coinciden en la importancia de una gestión efectiva de cada una de las etapas del ciclo productivo, como premisa para una efectividad integral del proceso, en función de ello se han identificado varios factores que han merecido una atención especial (Babot, *et al.* 2001). Una etapa crítica y posiblemente la más importante del proceso, es la obtención de los lechones destetados, que se desarrolla en las granjas de reproductoras, la baja heredabilidad para este factor complica mucho la selección de las reproductoras en función de él (Knol, *et al.* 2002). Es conocido que la cantidad de lechones destetados, depende de varios factores, siendo, según el criterio de algunos autores, la prolificidad unida a la supervivencia, en cada fase de la cadena productiva, las que determinaran los cerdos que llegaran al sacrificio, (Llanes, *et al.* 2007 y Pallás, 2008).

Aunque la prolificidad es el índice técnico más importante para determinar el momento óptimo de reemplazar una reproductora, la decisión de desechar a una cerda no se puede hacer sólo por su prolificidad en un momento dado de su vida productiva, una buena reproductora puede tener una camada pequeña en su 3er o 4to parto y no por ello debe ser desecheda. Una mala camada puede ser provocada por problemas de salud, de manejo o del semen, por ello es necesario contar en primer lugar con un sistema de información que ofrezca todos los datos posibles, de las variables pertinentes al problema, desde su comienzo como reproductora y en segundo término, con una

herramienta que permita hacer un análisis rápido y brinde la información de forma simple y comprensible al ganadero, permitiendo así ayudar en la toma de decisiones, un estudio sobre este tema fue hecho por Pomar, (2001).

Al profundizar en los estudios y experiencias de producción porcina, (Babot, *et al.* 2001 y Santamaría, 2009) se constata que una vez obtenidos los datos y elaborados los índices de gestión técnico-económica de una explotación y/o del grupo de explotaciones que realizan la misma actividad, es posible evaluar la capacidad de mejora de los mismos, así como comparar con la media de una zona o con los de las explotaciones que han obtenido los mejores resultados económicos (benchmarking). Estudiando los diferentes índices técnicos en cada una de las explotaciones con otras referencias externas, el ganadero, con el asesoramiento adecuado, puede detectar los puntos de mejora sobre los que es necesario actuar, planteando objetivos concretos y estrategias para conseguirlo.

A simple vista la tarea de gestionar los índices técnicos-económicos parece sencilla y se reduce a captar información procesarla y gestionar la granja en función de ella, sin embargo la práctica internacional muestra que la solución de estos problemas, conlleva a la captura y tratamiento de un volumen considerado de información asociados a múltiples variables de naturaleza aleatoria, para lo cual no están suficientemente desarrolladas, en el orden científico y metodológico, todas las herramientas pertinentes, (Plà, 2007).

La mayor parte de los problemas de decisión en el campo de la producción porcina son dinámicos por naturaleza y por lo tanto deben ser revaluados en el tiempo, en función del estado de algunas de las variables subyacentes fundamentales, (Plà, 2001). En el caso que nos ocupa, algunos ejemplos de análisis de prolificidad, a partir de decisiones secuenciales en la producción animal, que incluyen el reemplazo de las cerdas fueron presentados por Kristensen and Søllestad (2004a,b). En ambos estudios el modelo empleado para la solución de estos problemas tomo como fundamento teórico las cadenas de Markov (Kijima, 1997 y Wayne, 1994), consideradas en la teoría de la probabilidad, un tipo especial de proceso estocástico discreto en el que la probabilidad de que ocurra un evento depende del evento inmediatamente anterior. Los procesos de

decisión Markovianos, han sido ampliamente utilizados para modelar ambientes estocásticos, debido a su tratabilidad analítica. En la literatura existen abundantes ejemplos de aplicaciones en las últimas décadas, tales son los casos de Stott, *et al.* (2005), Yalcin y Stott (2000), Houben, *et al.* (1994) y Lien, *et al.* (2003) entre otros.

El emplear las cadenas de Markov para la creación de modelos matemáticos y de simulación en la producción porcina parece ser una vía adecuada. Lo cual se fundamenta en la propiedad que tienen, según la cual la probabilidad de que un sistema evolucione a otro estado, depende sólo del estado en el que se encuentra y no de cualquier estado previo por el que haya transitado (Hillier y Lieberman, 2012) es decir, si se conoce la historia del sistema hasta su instante actual, su estado presente resume toda la información relevante para describir en probabilidad, su estado futuro, lo que las convierte en herramientas de mucha utilidad para modelar los sistemas productivos en general y porcinos en particular.

Múltiples autores han diseñados modelos con diferentes fines dentro de la producción porcina, como: Allen and Stewart, (1983); Tess, *et al.* (1983); Dijkhuizen, *et al.* (1986); Marsh, (1986); Pettigrew, *et al.* (1986); Signh, (1986); de Roo, (1987); Pomar, *et al.* (1991); Jalving, *et al.* (1992); Huirne, *et al.* (1993); Plà, *et al.* (1998); Toft y Jørgensen, (2002); Plà, *et al.* (2003) y Kristensen and Søllestad, (2004); todos citados por Plà, (2007), más recientemente se han utilizado y adaptados algunos de estos modelos, como las investigaciones desarrolladas por Rodríguez, *et al.* (2012) y Bono, *et al.* (2012) que analizan estrategias de reemplazo, para incrementar los beneficios, teniendo en cuenta la productividad por orden de parto, así Gourdine, *et al.* (2012) utilizaron la simulación estocástica para calcular el progreso genético y la tasa de consanguinidad en cerdos y Ros-Freixedes *et al.* (2012) que predijeron la respuesta a la selección, de una línea Duroc, utilizada principalmente para la producción de jamones de alta calidad, a través de una simulación determinista.

1.2 Problema

En muchas granjas encontramos índices bajos de prolificidad, ocasionado entre otros problemas, por una inadecuada gestión de la información que se puede obtener de las reproductoras, lo que limita la toma de decisiones efectivas, siendo una de las causas principales, entre otras razones, del insuficiente desarrollo alcanzado en el orden científico y metodológico, de las herramientas necesarias para ejecutarlo en la práctica cotidiana de la gestión porcina.

Cada granja tiene sus propias características y la decisión de reemplazar a una reproductora no debe hacerse de forma subjetiva, por simple consideración de los dueños, sin el uso de indicadores cuali-cuantitativos que obedezcan a la naturaleza concreta de cada granja y del animal en particular. Las reproductoras deben ser explotadas como tal hasta que son rentables dentro de la producción, pero para ello es necesario determinar de forma precisa el momento que dejan de serlo, lo que permite establecer una política de reemplazo para cada granja, según sus condiciones específicas de producción.

Para establecer una política de reemplazo de reproductoras es necesario tener en cuenta todos los factores que influyen en el rendimiento técnico y económico, (Babot, *et al.* 2001), pero de manera especial, la prolificidad. El obtener prolificidades altas depende, como eslabón primario, del potencial genético de las reproductoras, y a partir de ello, la gestión efectiva, que permita sacar el máximo provecho a las reproductoras sin incurrir en pérdidas económicas.

En el ámbito de la producción porcina, existe un papel creciente en el perfeccionamiento de los métodos de gestión, para ello es importante contar con la mayor cantidad de datos posibles al problema en cuestión. La producción porcina es una actividad capaz de generar una enorme cantidad de información, siendo frecuente que la recogida de esta no termine generando información que pueda ser aprovechada adecuadamente (Piñeiro, 2006).

Otra problemática a la que se enfrentan muchos productores es que la mayoría de los modelos matemáticos, creados para los diferentes aspectos de la producción porcina, que soportan las herramientas de uso cotidiano para el tratamiento de la información en las granjas, son diseñados para países desarrollados, donde aspectos como la alimentación y la obtención de reproductoras de reemplazo no es un problema. La situación no se presenta igual donde las condiciones de producción son especialmente difíciles y problemas como la falta de animales de reemplazo y desequilibrios en la alimentación por falta de materias primas, para la elaboración de los piensos, adecuadamente formulados, es parte de la rutina diaria, por lo que optimizar la vida útil de las reproductoras, en estas condiciones, es una tarea ardua y compleja, que requiere de modelos de simulación y optimización, de fácil adecuación a estas condiciones particulares y que ayuden a la toma de decisiones. Por lo tanto desarrollar tales aplicaciones para granjas bajo estos regímenes de explotación es una prioridad económica de primer orden y constituye un problema científico de particular relevancia, en la dirección de determinar el momento preciso de reemplazar a una reproductora y dotar a los productores de las herramientas pertinentes para la gestión integral de las granjas.

1.3 Hipótesis

Utilizar modelos matemáticos, tanto de optimización como de simulación, para llevar acabo el análisis y la predicción del comportamiento de los índices técnicos, en granjas de reproductoras porcinas, es una necesidad para los productores competitivos, en especial para aquellos donde las condiciones de producción son complejas y los modelos actuales no se adecuan, en consecuencia un modelo que permita analizar, comparar y predecir el comportamiento de la productividad numérica, es una herramienta de gran valor practica y de importantes consecuencias económicas.

1.4 Objetivos

Este trabajo tiene como objetivo modelar los sistemas productivos porcinos a través de la optimización y simulación de granjas de reproductoras y analizar el comportamiento de los índices técnicos más significativos en diferentes sistemas de manejo.

Objetivos específicos:

- Realizar la revisión de los estudios más actualizados en el mundo, relacionados con la productividad numérica de reproductoras porcinas y de la prolificidad, como el factor que mayor influencia, tiene en la productividad numérica.
- Determinar, a través del meta-análisis de la literatura, el nivel de importancia que tienen los diferentes factores que intervienen en la productividad numérica de las cerdas y su jerarquía.
- Estimar y comparar curvas de prolificidad en rebaños españoles, daneses y cubanos, procedentes de diferentes orígenes genéticos y evaluar el impacto de la prolificidad en la política de reemplazamiento.
- Presentar un modelo de simulación capaz de representar desde una granja de cerdas simple hasta un sistema de multisitios.
- Proponer una estrategia de manejo que maximice la vida productiva de las cerdas, garantizando el mejor desempeño productivo y económico, de granjas cubanas, a través de un modelo de simulación.

1.5 Referencias

- Babot, D.; Soldevila, C.; Abella, S.; García, E.; Ezcurra, X. y Plà, L.M. 2010. Gestión técnica y económica de explotaciones porcinas: España y Catalunya en el contexto de Europa Memorias del X Congreso Nacional de Producción Porcina, Mendoza, Argentina.
- Berard, J.; Kreuzer, M. y Bee, G. 2008. Effect of litter size and birth weight on growth, carcass and pork quality, and their relationship to postmortem proteolysis. *Journal of Animal Science*. 86(9): 2357-2368.
- Bono, C.; Cornou, C. y Kristensen, A.R. 2012. Dynamic production monitoring in pig herds I: Modeling and monitoring litter size at herd and sow level. *Livestock Science*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2012.07.023>
- Damgaard, L.H.; Rydhmer, L.; Løvendahl, P. and Grandinson. K. 2003. Genetic parameters for within-litter variation in piglets birth weight and change in within-litter variation during suckling. *Journal of Animal Science*. 81(3): 604-610.
- Forni S.; Aguilar, I.; Misztal, I. and Deeb, N. 2010. Genomic Relationships and Biases in the Evaluation of Sow Litter Size. 9th World Con-gress on Genetics Applied to Livestock Production. Leipzig, Germany. Proceedings. 266.
- Hillier, F. y Lieberman, G. 2012. Investigación de Operaciones. Inv. Operaciones. 7ma. Edición.
- Houben, E.H.P.; Huirne, R.B.M; Dijkhuizen, A.A. and Kristensen, A.R. 1994. Optimal replacement of mastitis cows determined by a hierarchic Markov process. *Journal of Dairy Science*. 77: 2975–2993,
- Knol, E.F.; Leenhouwers, J.I. and van der Lende, T. 2002. Genetic aspects of piglet survival. *Livestock Production Science* 78: 47-55
- Lien, G.; Kristensen, A.R.; Hegrenes, A. and Hardaker, J.B. 2003. Optimal length of leys in an area with winter damage problems. *Grass and Forage Science*. 58(2): 168–177.
- Llanes, J.E.; Alzina, A.L.; Correa, J.C.; Álvarez, M.J. y Góngora, C.G. 2007. Porcentaje de gestación y prolificidad de cerdas en el trópico utilizando las técnicas de inseminación artificial convencional e intrauterina. *Livestock Research for Rural Development*. 19 (10).

- Pallás, A.R. 2008. Factores que afectan la fertilidad y prolificidad en el ganado porcino. *Taurus*, Bs. As. 10(39):26-38.
- Piñeiro, C. 2006. Gestión de la información en Producción Porcina. Vº Congreso de Producción Porcina del Mercosur, Río Cuarto. www.produccion-animal.com.ar.
- Pomar, J.G. 2001. Aplicación de los sistemas basados en conocimiento en el análisis de datos y ayuda a la toma de decisiones. In Babot, D. (Ed.) *Gestión en empresas de producción porcina. Análisis, diagnóstico y toma de decisiones*. Universitat de Lleida. 187. ISBN: 84-8409-108-2.
- Rehfeldt, C.; Hartung, M. y Kuhn, G. y García, T. 2011. El peso al nacimiento de los cerdos influye en la calidad de la canal y la carne. *Albéitar. Los porcicultores y su entorno*. 4.79:8-15.
- Santamaría, C. 2009. Gestión técnico-económica. Herramienta necesaria para la toma de decisiones en explotaciones ganaderas. Navarra Agraria. <http://www.navarraagraria.com/n173/argestio.pdf>
- Silva, P.G.; Cavalcante, N.A.; Ribeiro, M.N.; Lui, J.F.; Vinagre, O.T.; Vingge, A.C.; Marata, L.S. y Martins, T.D. 2007. Influencia dos factores ambientais sobre o tamanho da leitegada ao nascer e taxa de mortalidade a desmama de leitões no brejo Paraibano. *Ciencia Animal Brasileira*, 8:1-6.
- Wayne, W.L. 1994. *Investigación de Operaciones*. Grupo Editorial Iberoamérica S. A. de C. V. México. ISBN 970-625-029-8.
- Gourdine, J.L.; Sørensen, A.C. and Rydhmer, L. 2012. There is room for selection in a small local pig breed when using optimum contribution selection: A simulation study. *Journal of Animal Science*. 90(1): 76-84.
- Kijima, M. 1997. *Markov Processes for Stochastic Modeling* (1st edición). Cambridge: Chapman & Hall. ISBN 0 412 60660 7.
- Yalcin, C. and Stott, A.W. 2000. Dynamic programming to investigate financial impacts of mastitis control decisions in milk production systems. *Journal of Dairy Research*, 67 (4):515–528.
- Plà, L.M. 2001. Aplicación de modelos de simulación en la toma de decisiones. In Babot, D. (Ed.) *Gestión en empresas de producción porcina. Análisis, diagnóstico y toma de decisiones*. Universitat de Lleida. ISBN: 84-8409-108-2.

- Babot, D.; Vidal, M.; Gosálvez, L. y Noguera, J. 2003. Evolución comparada de la productividad de las explotaciones porcinas en España, Francia y Holanda (1990-2000). *Anaporc*, 230. pp 68-83.
- Kristensen, A.R. and Søllested, T.A. 2004a. A sow replacement model using Bayesian updating in a three-level hierarchic Markov process I. Biological model. *Livestock Production Science*, 87(1):13–24.
- Kristensen, A.R. and Søllested, T.A., 2004b. A sow replacement model using Bayesian updating in a three-level hierarchic Markov process II. Optimization model. *Livestock Production Sciences*. 87, 25–36.
- Stott, A.W.; Jones, G.M.; Humphry, R.W. and Gunn. G.J. 2005. Financial incentive to control paratuberculosis (Johne's disease) on dairy farms in the United Kingdom. *Veterinary Record*, 156(26):825–831,
- Plà, L.M. 2007. Review of mathematical models for sow herd Management. *Livestock Production Sciences*. 106: 107-119.
- Rodríguez, S.; Plà, L.M. y Albornoz, V.M. 2012. Modeling tactical planning decisions through a linear optimization model in sow farms. *Livestock Science* 143. 162–171.
- Ros-Freixedes, R.; Reixach, J.; Tor, M. and Estany, J. 2012. Expected genetic response for oleic acid content in pork. *Journal of Animal Science*. 90 (12): 4230-4238.

CAPÍTULO 2

FACTORES QUE INFLUYEN LA PRODUCTIVIDAD NUMÉRICA DE REPRODUCTORAS PORCINAS

Resumen

En el siguiente trabajo se realizó una revisión actualizada de los estudios realizados para definir la influencia que tiene cada indicador reproductivo, en la productividad numérica por cerda y año, como el índice que determina el rendimiento productivo de las granjas, y por la importancia que tienen las decisiones de los productores sobre el mismo. Así como analizar lo planteado por diferentes estudios realizados y publicados, con el objetivo de disponer de una base teórica sobre las investigaciones más actualizadas sobre el tema. Para la mejor comprensión, los factores son agrupados en los que caracterizan la productividad, los inherentes al desarrollo del animal, los relacionados con el ciclo anterior y los relacionados con el manejo reproductivo. El principal factor que influye en la productividad numérica es la prolificidad, interrelacionada con la longevidad, siguiéndole la mortalidad. La complejidad de las interacciones entre los factores es una realidad a la que los productores deben enfrentarse en las granjas de cerdas, por lo que los sistemas de ayuda a la toma de decisiones son herramientas eficaces para el pronóstico a corto, mediano y largo plazo.

Abstract

In this paper, we conducted an updated review of studies to define the influence of each indicator reproductive in the numerical productivity per sow per year, as the index that determines the production performance of the farms, and the importance growers' decisions on it. As well as analyze the issues raised by various studies and published, with the objective to have a theoretical basis on the latest research on the subject. To better understand the factors are grouped in characterizing productivity, inherent in the development of the animal, the previous cycle related and related to reproductive management. The main factor which influences the numerical productivity is the prolificacy, interrelated with longevity, mortality following him. The complexity of the interactions between the factors is a reality that must be faced growers on farms sow, so systems to aid decision making are effective tools for prediction the short, medium and long term.

2.1 Introducción

La productividad numérica de las cerdas está influenciada por gran número de factores, a los que se les asigna mayor o menor importancia en dependencia de los intereses de cada país o de cada región, en esta revisión bibliográfica se agruparan estos factores en aquellos que caracterizan la productividad, (prolificidad y mortalidad); los inherentes al desarrollo del animal, (edad a la primera cubrición; razas; longevidad); los relacionados con el ciclo anterior (intervalo entre partos, intervalo destete primera cubrición, intervalo destete cubrición fértil, y duración de la lactación) y los relacionados con el manejo reproductivo (alimentación y clima).

En la literatura encontrada, muchos autores se refieren a la relación que existe entre ellos, sin embargo la mayoría coincide en que su influencia en la productividad numérica y aún más específicamente en la prolificidad por ciclo, determina los rendimientos productivos y económicos en las granjas de reproductoras, (Quintanilla y Babot, 2008; Ribeiro, *et al.* 2008 y Nocera y Fedalto, 2002), además estos estudios coinciden en que la prolificidad de las cerdas va en aumento a partir del primer ciclo, hasta alcanzar su pico máximo entre el tercero y el sexto, donde la mayoría de las reproductoras experimentan una tendencia al descenso, la tasa de nacidos muertos también aumenta con cada ciclo, sobre todo a partir del quinto o el sexto, ambas tasas determinan la productividad numérica de las cerdas.

El presente estudio motiva una interrogante, ¿Para qué sirve conocer la relación de estos factores con la productividad de las cerdas? La respuesta es muy sencilla, para ayudarnos en la toma de decisiones sobre aspectos de manejo. Para tomar decisiones de manejo que definirán los rendimientos productivos es necesario, primeramente, analizar la situación actual que tiene la granja, este análisis permitirá llegar a un diagnóstico de los problemas existentes y ayudar a decidir las estrategias a implementar, aspectos como la edad al desecho y la estructura de los rebaños, son controlados por el hombre y las decisiones son compleja, debido a ello, el objetivo de esta recopilación de citas bibliográficas es disponer de una base teórica que describa los estudios más actualizados sobre la influencia de los factores reproductivos en la productividad numérica de las cerdas y más específicamente la relación de la prolificidad por orden de parto.

2.2 La productividad numérica y prolificidad en reproductoras porcinas.

En una granja de cerdas el indicador fundamental de eficiencia técnica es la productividad numérica. Daza, (1995), la define como el número medio de lechones destetados por cerda y año de vida reproductiva o por año, además plantea que la prolificidad es la principal componente de la productividad numérica.

2.2.1 Factores que caracterizan la productividad numérica.

2.2.1.1 Prolificidad.

El principal factor que mayor influencia tiene en la producción total de lechones por cerda es la prolificidad, definida como los nacidos vivos por camadas, (Marco y Collell, 2009).

La prolificidad es uno de los atributos esenciales que colocan a la especie porcina como una de las más importantes proveedoras de proteína de alta calidad para consumo humano, (Ortega y Diéguez, 2006). Muchos de los factores que intervienen en la productividad numérica también tienen su influencia en la prolificidad, en algunos casos la influencia es de forma indirecta. Es bien conocido que el tamaño de camada al destete (productividad numérica) está altamente correlacionado con el número de lechones nacidos vivos, (English, *et al.* 1985 y Dial, *et al.* 1992).

Babot, *et al.* (2010), plantea que la productividad numérica es una variable determinada principalmente por dos factores productivos: la prolificidad y el ritmo reproductivo de la cerda. En un estudio realizado por Castro, (1996), determinó que el número de lechones destetados estuvo afectado por la granja, la estación, la interacción granja por estación del año, así como también, el número de parto y el número de lechones nacidos vivos. Uno de los factores que está muy ligado al número de cerditos destetados, es el número de los que nacen vivos, ya que el número de estos últimos y su supervivencia durante la lactación determinará el tamaño de camada al destete.

Es muy posible que los efectos de granja sobre el número de lechones destetados, estuvieran determinados por los riesgos propios de las áreas de la maternidad y al período de permanencia en ellas (English, *et al.* 1985; Dial, *et al.* 1992 y Furhman, 1996). Otro aspecto que está muy bien estudiado es la relación de la prolificidad con el orden de parto, Irgang, *et al.* (1994); Nocera y Fedalto, (2002); Jørgensen, (1992); Ribeiro, *et al.* (2008) y Pinheiro, *et al.* (2000), plantean que existe una tendencia general al aumento de esta en los cinco primeros partos para luego disminuir.

Quintanilla y Babot, (2008), obtuvieron un aumento del número de nacidos vivos hasta el quinto parto y plantean que este perfil de evolución de la prolificidad es muy similar entre animales que difieren notablemente en su prolificidad al primer parto.

2.2.1.2 Mortalidad.

Después de la prolificidad expresada en términos de lechones nacidos vivos, la tasa de mortalidad de lechones durante la lactancia es la variable que tiene más influencia sobre la productividad numérica de la cerda. Su cuantía es muy variable según explotación, oscilando frecuentemente entre el 15 y 25%. El estudio de la mortalidad de lechones es muy complejo ya que influyen factores ligados a la cerda, la camada, al lechón, al alojamiento y al manejo. Se admite que la tasa de mortalidad aumenta con el orden de camada, la prolificidad y el peso de la cerda y disminuye en cerdas de buen instinto maternal y capacidad lecher, (Daza, 1995).

2.2.2 Factores inherentes al desarrollo del animal.

2.2.2.1 Edad a la primera cubrición.

Otro aspecto importante es la edad a la primera cubrición, una de las bases para mantener una prolificidad alta durante la vida productiva de la cerda es determinar el momento de cubrición de las nulíparas permitiendo un desarrollo correcto del aparato genital, clave para una respuesta óptima de los parámetros reproductivos y particularmente de la prolificidad al primer parto, (Martín, *et al.* 2000).

En líneas genéticas actuales con gran potencial de deposición proteica, el crecimiento materno perdura como mínimo hasta el cuarto parto, por tanto, las necesidades nutricionales para mantenimiento, reproducción y crecimiento de la cerda primeriza son elevadas. Dada la limitada capacidad de consumo en estos animales, la condición corporal en la primera cubrición es esencial para satisfacer dichas necesidades. Las cerdas pueden llegar a la pubertad con edades tempranas sin alcanzar la óptima condición corporal, siendo necesaria una excesiva movilización de tejidos maternos durante la primera lactación, (MLC, 1997). Cubriciones a edades más avanzadas, está asociada a un mayor tamaño de la primera camada y también con la probable influencia sobre la segunda camada. El retraso a la primera cubrición supone costes mayores y la conclusión a partir de estudios realizados, fue que el beneficio obtenido a partir del aumento en el tamaño de la camada y reducción del intervalo entre partos es mayor que el costo del retraso, (Basso, 2002). La combinación de edad, peso y relación grasa-magro, es el parámetro más adecuado para decidir el momento óptimo de la cubrición, (Kirkwood y Aherne, 1985).

Para la edad a la primera cubrición, Rydhmer, (1995) obtiene un valor medio de $374 \pm 34,7$ días y Daza, *et al.* (1988, 1989) encuentran valores entre 289 y 354 días. La edad a la primera cubrición está estrechamente relacionada con la edad al primer parto, ya que esta última depende directamente de la edad a la primera cubrición y la duración de la gestación, conocida por su poca variación, por lo que estudiaremos estos dos factores como uno solo. Existen muchos trabajos que determinan la influencia de la edad al primer parto sobre la prolificidad fundamentalmente de la primera camada, así Lynch, *et al.* (1994) obtienen un incremento al primer parto o de 0,9 lechones ($p > 0,05$) favorable a las cerdas con edad al primer parto superior a 335 días frente a partos con menos de 315 días de edad. Xue, *et al.* (1996) presentan un incremento de 0.011 nacidos totales y 0,014 nacidos vivos por cada día de incremento de edad al primer parto. Babot, (1997) encuentra valores algo inferiores entre 0,003 y 0,007 nacidos vivos por día, en razas Landrace y Large White españolas. Algunos autores presentan además una repercusión positiva y significativa entre la edad al primer parto sobre el rendimiento en el resto de los partos, (Noguera y Gueblez, 1984 y Tummaruk, *et al.* 2007). En este contexto Xue, *et al.* (1996) sitúan el óptimo para la edad a la primera cubrición entre

210 y 250 días y Schukken, *et al.* (1994) proponen el intervalo entre los 210 y los 220 días lo que conducirá a una edad al primer parto de entre 324 y 334 días.

2.2.2.2 Raza.

La raza es otro factor determinante, la utilización de cerdos con alto potencial genético les permite un aumento en la producción y la calidad ya que logran beneficios tales como: mayor tamaño de la camada, mayor crecimiento diario y mayor deposición de carne, (Campabadal, 2001). La selección de un individuo debe realizarse en función de sus parámetros productivos; estos parámetros productivos son el resultado de mejoras genéticas y de una adecuada selección. Como en las otras especies la mayor atención, en la selección para el mejoramiento de las pjaras, se debe poner en los caracteres de importancia económica que tengan heredabilidades media y/o altas y plantean que para los cerdos no solo se pone atención en seleccionar la conformación y las características de la canal, también se selecciona por el tamaño de la camada que nace viva, entre otros aspectos, a pesar de afirmar que la heredabilidad para la prolificidad es baja, (Buxadé y Pérez, 1995).

Àvalos y Smith, (1987), realizaron una investigación sobre el fondo genético de la prolificidad y sus posibilidades de mejoramiento genético, incluyendo desde las de tipo cuantitativo hasta las del orden genómico, concluyendo que aunque la varianza genética aditiva para la prolificidad sea baja, el progreso por selección resulta, para la varianza genética aditiva para la prolificidad, en incrementos pequeños, éstos son multiplicativos a través de generaciones sucesivas. Esto ha sido corroborado mediante experimentos donde se consiguen ganancias hasta del 20% y 1.37 lechones.

Otros estudios han encontrado tendencias crecientes de los valores de heredabilidad hasta el cuarto y el sexto partos por Roehe y Kennedy, (1995) y Noguera, *et al.* (2002b), respectivamente. Un incremento ligero de los valores de heredabilidad hasta el sexto parto ha sido también descrito por Hanenberg, *et al.* (2001). Los índices más altos de mejora genética del tamaño de camada se puede lograr con la selección sobre la base de un índice de selección familiar junto con la selección intensa en una población grande, (Noguera, *et al.* 2002b). Las respuestas a la selección fueron heterogéneas entre las

paridades, en línea con la heterogeneidad observada de heredabilidades y correlaciones genéticas entre las paridades, (Noguera, *et al.* 2002a). El componente principal de la respuesta observada para la selección por tamaño de camada, podría ser un aumento en la tasa de ovulación, (Lamberson, *et al.* 1991).

Sorensen, *et al.* (2000), reportaron una respuesta directa a la selección genética de 0,43 lechones para el total de nacidos, en un experimento de selección a gran escala. El criterio de selección fue el promedio de los valores genéticos predichos del padre y la madre de la camada.

2.2.2.3 Longevidad.

Al mismo tiempo la longevidad de la cerda puede considerarse como determinante en la productividad numérica, aclaremos que la longevidad se considera desde la entrada a la granja hasta la muerte/eutanasia o descarte. Una medida comúnmente utilizada en la industria porcina es la tasa de muerte, descarte o ambas, ya sea anual o específica por paridad, (Stein, *et al.* 1990; Lucia, *et al.* 1995; Deen y Xue, 1999 y Koketzu, 2000). Las tasas de muerte o eutanasia y/o descarte de madres pueden llegar a ser muy altas por ejemplo en algunos países pueden llegar a ser entre el 40% y el 55%, (D'Allaire, *et al.* 1987; Svendsen, *et al.* 1975; Dagorn y Aumaitre, 1979; Kroes y Van Male, 1979 y Lucia, 1997). Estas altas tasas pueden llegar a afectar la productividad, debido a una mayor presencia en las granjas de hembras jóvenes, resultando en menores niveles de producción y un incremento de los días no productivos de la cerda, (Dijkhuizen, *et al.* 1986 y Stein, *et al.* 1990).

Edwards, (1997), realizó un trabajo sobre el efecto del tamaño de la camada en el primer parto sobre la productividad media de la cerda por orden de parto, se observa como de acuerdo al número de nacidos vivos en el primer parto, evoluciona la productividad de la cerda en partos sucesivos. Las cerdas con una media de 12 lechones nacidos vivos en el primer parto tienen de media en los partos sucesivos 11,5 mientras que las cerdas con 9 lechones en el primer parto evolucionan a 10,5-11, comenzando a descender a partir del parto 7-8 parto. Carvalho, *et al.* (2005a), observó un aumento en el número de lechones nacidos totales hasta el 5to parto.

2.2.3 Factores relacionados con el ciclo anterior.

2.2.3.1 Intervalo entre partos.

Los factores relacionados con el ciclo anterior tienen un papel importante en la productividad, entre estos factores está el intervalo entre partos, en condiciones normales el intervalo entre partos puede situarse entre 145 y 155 días, lo que permite obtener entre 2,35 y 2,52 partos por cerda y año, (Babot, *et al.* 2001). La diferencia de 0,17 partos por cerda y año puede representar (en camadas con medias de 10 lechones nacidos vivos) 1,7 lechones menos de productividad por cerda y año.

Los dos parámetros que tienen una mayor influencia sobre el intervalo entre partos son la duración de la lactación y el intervalo destete-cubrición fértil, debido a que el otro periodo que influye en este factor es la duración de la gestación, con una media de 114 días, que por su alto determinismo genético, tiene muy poca variabilidad. Un error que suele encontrarse en los registros de las granjas en cuanto al cálculo del intervalo entre partos es la no inclusión de los días desde la entrada en la granja de una primeriza hasta la primera cubrición fértil, también los abortos así como el número de repeticiones, pueden distorsionar la validez de los registros de este intervalo, (Babot, *et al.* 2001).

2.2.3.2 Intervalo destete primera cubrición.

Sobre la influencia del intervalo destete primera cubrición en la prolificidad, Vesseur, *et al.* (1994) y Aumaitre, (2000), plantean que cuando el mismo se prolonga luego del destete de la primera camada se observa una menor tasa de parición y un menor tamaño de la siguiente camada, se ha encontrado que éste varía de acuerdo con la granja, el mes del año y el número de parto (Xue, *et al.* 1993), en lo que respecta a las cerdas destetadas después de dos semanas, el intervalo destete estro es afectado más profundamente por la intensidad del amamantamiento de la camada, la nutrición, el número de parto y la estación del año, (Koketsu, 1994 y Britt, 1996).

También Humpolicek, (2012), plantea que las cerdas que vuelven al estro 6 o más días después del destete tienen una fecundidad más baja que los que regresan 4 o 5 días después del destete. Sin embargo. Patterson, *et al.* (2008), realizó un experimento en el

que con la aplicación de un progestágeno sintético, retrasaban la presentación del celo post destete de una media sin tratamiento de 5,1 días a una media entre 6,8 y 7,3 días y lograban así un incremento en el tamaño de la próxima camada, en las cerdas de más de 6 partos, lo que no queda definido claramente es si este procedimiento es económicamente ventajoso teniendo en cuenta que incrementa los días improductivos de las cerdas.

En otros estudios se ha relacionado el tamaño de la camada y el intervalo destete primera cubrición con el momento de la inseminación. Soede *et al.* (1995), plantean que el tamaño de la camada está condicionada por la detección del momento óptimo para realizar la inseminación, que se obtiene al inseminar 24 h antes de la ovulación. El potencial de selección para el intervalo destete primera cubrición se ha complicado por la baja heredabilidad encontrada por Sterning, *et al.* (1998), que encontró una heredabilidad correspondiente a 0,24. La heredabilidad baja para el intervalo destete primera cubrición también fue estimada por Rydhmer, (2000). Sin embargo, Holm *et al.* (2004), muestran que la varianza genética para el intervalo destete primera cubrición, después de la primera camada existe y la selección para esta característica es por lo tanto posible.

2.2.3.4 Intervalo destete cubrición fértil.

El intervalo destete cubrición fértil es otro de los factores que más inciden en la productividad numérica y está ligado al orden de parto y al tamaño de la camada amamantada previamente. Carvalho, *et al.* (2005c), encontró que las cerdas con intervalos destete cubrición fértil mayores de 12 días tenían más lechones en el ciclo posterior. Gaustad-Aas, *et al.* (2004), observaron menor desempeño reproductivo en las hembras con lactancias cortas y Carvalho, *et al.* (2005b), registró el mayor promedio en el número de lechones nacidos en lactancias de 19 a 22 días. El efecto medio de intervalo destete cubrición fértil sobre el número de nacidos vivos presentó un efecto significativo ($p < 0,01$) en las razas Landrace y Large White. En estas dos poblaciones el coeficiente de regresión lineal asociado a esta variable osciló entre 0,006 y 0,007 lechones nacidos vivos por día.

En las poblaciones comerciales (Tabla 7) el rango de variación del efecto intervalo destete cubrición fértil fue mayor, con valores situados entre 0,002 y 0,011 lechones por cada día de incremento del intervalo, (Babot, *et al.* 2000).

2.2.3.5 Duración de la lactación.

La influencia de la duración de la lactación en la prolificidad está muy discutida en las investigaciones, Vidal, *et al.* (2001), obtienen un aumento de los nacidos vivos al aumentar la duración de lactación, existiendo diferencias significativas ($p < 0,01$) entre los sistemas de manejo semanal, estos resultados son similares a los obtenidos por Le Cozler, *et al.* (1997), con la excepción de que estos autores no encuentran diferencias entre lactaciones de 4 y 5 semanas. En cambio, Koketsu y Dial, (1997), sólo encuentran diferencias entre lactaciones de 14 y 28 días y no para las situaciones intermedias, sin embargo Van der Hayde, (1992), no encontró diferencias en el número de lechones nacidos vivos con lactancias diferentes.

Los resultados obtenidos por Le Cozler, *et al.* (1997, 1998) y Babot, *et al.* (2003), indican que las diferencias existentes en la duración de la lactación no deben influir de forma significativa y por tanto no determinan diferencias importantes en los partos por cerda productiva y año. Muchos sistemas intensivos de producción porcina han adoptado una serie de estrategias para aumentar su rentabilidad, dentro de éstas, se encuentra el destete temprano segregado cuyo propósito es mantener piaras con alto nivel de salud, (Alexander y Harris, 1992) y el consiguiente aumento de la productividad, (Patience, *et al.* 2000 y Main, *et al.* 2003), al respecto, existen evidencias experimentales, (Varley, 1982 y Varley y Atkinson, 1985) y de campo, (Dritz, *et al.* 1994), de que períodos de lactancia menores a 21 días ocasionan un detrimento en el comportamiento reproductivo. No obstante, con la introducción de nuevos genotipos parece ser que los efectos negativos del destete temprano son menos drásticos, (Becerril, *et al.* 1996). Se ha documentado que algunas líneas toleran mejor que otras la reducción de la duración de la lactación, (Bustos, 1997).

Poleze, *et al.* (2004), afirman que la duración de la lactancia tiene un efecto significativo en el tamaño de la siguiente camada y que por lo tanto existe la necesidad de respetar un periodo mínimo después del parto para restaurar el útero y para estabilizar el sistema hipotálamo-hipófisis-ovario.

2.2.4 Factores relacionados con el manejo reproductivo.

2.2.4.1 Alimentación.

Un déficit nutricional puede afectar los parámetros reproductivos de las reproductoras de diferentes formas: retraso de la pubertad, incremento del intervalo destete celo, descenso de la tasa de ovulación y reducción o aumento de la tasa de supervivencia embrionaria por un déficit nutricional previo o posterior a la ovulación, respectivamente, (Dourmad, *et al.* 1994). Un alto consumo de energía durante los primeros días después de la fertilización e inicio de la preñez podría reducir la supervivencia de embriones entre el 5 y el 15%, (Aherne y Willians, 1992). Por lo que debemos suministrar al menos dos piensos diferentes: gestación y lactación, (Major, 1993; Mullan y Close, 1993 y King, 1993).

Mateos y Piquer (1994), plantean que el objetivo del pienso de gestación es producir el mayor número de lechones viables, aumentar la tasa de ovulación y disminuir la mortalidad embrionaria. Butler, (2000), observó diferentes respuestas en el comportamiento reproductivo, dependiendo de la condición corporal al momento del parto y de su variación posparto. En animales con deficiente estado corporal o balance energético negativo, los niveles de leptina circulante en sangre disminuyen y producen un efecto estimulador de la secreción del neuropéptido, (Iain y Henry, 1999). Este mensajero químico produce una retroalimentación negativa sobre las neuronas hipotalámicas que estimula la secreción de la hormona liberadora de la gonadotropina (GnRH), disminuyendo en consecuencia, la secreción de la hormona luteinizante (LH), este juego hormonal afecta el desarrollo de los folículos en el estadio preantral, los cuales no evolucionan y terminan en atresia. Buttler, (2000) y Bach, (2001), coinciden con que el restablecimiento de la actividad ovárica ocurre cuando se produce el cambio a balance energético positivo en el balance energético, lo que trae como consecuencia

una elevación de los niveles de insulina, IGF-1, leptina y LH, estradiol (E2) y la producción de folículos dominantes destinados a la ovulación, (Morrison, *et al.* 2001).

Las cerdas en gestación tienen unas necesidades proteicas muy reducidas, niveles inferiores al 8% permiten llevar gestaciones a término con sólo una ligera disminución del tamaño de la camada, (NRC, 1988), los problemas que esto podría ocasionar se manifiestan de forma más acusada en gestaciones sucesivas, (Flores, 1993). Las vitaminas y los minerales influyen en la reproducción, en un estudio coordinado de varias universidades americanas, Cromwell, *et al.* (1989), demostraron que niveles de sal inferiores a 0,50% reducían el tamaño de los lechones al nacimiento e incluso podrían reducir el tamaño de las camadas en partos sucesivos. Peters y Mahan, (2008), realizan un estudio para evaluar el impacto de usar dos niveles de formas orgánicas o inorgánicas de minerales traza en la prolificidad de cerdas, durante seis ciclos reproductivos, los resultados de dicho estudio mostraron un efecto significativo ($p < 0,05$) a favor de las formas orgánicas de minerales sobre los nacidos totales y vivos.

2.2.4.2 Clima.

Sobre la productividad de granjas de reproductoras influyen otros factores relacionados con el ambiente climático, Almond, (1992) ha referido que en la actualidad la influencia de la estación tiende a ser mínima, debido a las recientes mejoras en las prácticas de manejo sobre las cerdas destetadas. Sin embargo, Ortiz, *et al.* (2004), en estudios realizados bajo condiciones climáticas no controladas, como ocurre en diversos países, encontró que las horas de luz, los valores de temperatura y humedades relativas, pueden influir en cambios hormonales, la elevación de la concentración de prolactina en sangre, es el cambio más importante. En cubriciones efectuadas en los meses con mayor cantidad de luz y temperatura, se observó una pobre sintomatología del celo, aumento del intervalo destete-cubrición, aumento del porcentaje de abortos, mayor número de lechones nacidos muertos y fetos momificados. Está comprobado que cuando la temperatura ambiente supera los 30 grados, la actividad ovárica disminuye, al igual que la manifestación del celo, a la vez que aumentan los abortos y disminuye el tamaño de la camada, en este respecto, Leman, (1992); Clowes, *et al.* (1994) y Marsteller, *et al.* (1997), han demostrado que el estrés provocado por las altas temperaturas ambientales,

reduce el tamaño de la camada al nacimiento, debido a que éstas producen disturbios en la implantación y supervivencia embrionaria.

2.3 Teoría de la toma de decisiones.

Otro aspecto que hemos querido incluir en esta revisión bibliográfica es la teoría de la toma de decisiones, el proceso reproductivo en las granjas porcinas está indisolublemente ligado a la teoría de la toma de decisiones, descrita en Power, (2002). Dada la amplitud de la mencionada teoría y las problemáticas fundamentales detectadas en las investigaciones desarrolladas, consideramos que es pertinente referirnos al proceso de evaluación de riesgo para el proceso de reproducción. Es imposible tomar decisiones adecuadas sin realizar una correcta evaluación del riesgo, como parte inseparable de la teoría de la toma de decisiones. El riesgo, vinculado al proceso de la reproducción, se puede considerar como la amenaza de obtención de bajos niveles productivos y notables pérdidas económicas. Este tipo de riesgo, implica la existencia potencial de la probabilidad de la amenaza de la quiebra de la empresa o de un impacto negativo en cualquiera de sus órdenes, esto traducido a granjas porcinas es la probabilidad potencial de ocurrencia de un suceso, que puede convertirse en consecuencias desastrosas o desventajosas para la producción.

El riesgo en la reproducción, invierte la relación entre pasado, presente y futuro. Se reflexiona sobre algo que de darse determinadas circunstancias podría ocurrir y es necesario evaluar consecuencias, su cálculo desarrolla formas y métodos para hacer predecible lo impredecible, es una forma de pronóstico que incluyen representaciones estadísticas, probabilidades, predicciones, cálculos periciales, así como modelos y organizaciones para la prevención del daño futuro para la ayuda en la toma de decisiones. En la bibliografía se hace referencia al riesgo vinculado a la reproducción, (Harsh, *et al.* 1981), pensamos que es necesario dar una definición de riesgo reproductivo por el valor teórico metodológico que tiene el mismo para la gestión de este proceso. El mismo lo consideramos como la probabilidad potencial de ocurrencia o materialización de un impacto reproductivo negativo, en la empresa y su productividad, que puede ser pronosticada por el hombre, en dependencia, de la información y conocimiento que tenga sobre la realidad que le rodea. Esta definición lleva implícito el

empleo de otro concepto también con un valor teórico metodológico, que es el de factor de riesgo reproductivo o condición de riesgo. Se entiende por factor de riesgo reproductivo a las condiciones existentes que potencialmente pueden generar un impacto negativo y como consecuencia pérdidas económicas, constituyen los portadores materiales del riesgo. Normalmente y aunque se quiera evitar el riesgo existe y la forma de afrontarlo es mediante la recogida de información que mejore la representación del sistema a fin de descubrir las leyes probabilísticas que rigen su comportamiento. (Plà, 2001).

2.4 Conclusiones.

Establecer políticas de reemplazo en las granjas basándose en la productividad numérica de las cerdas es una tendencia de la mayoría de los productores, pero las bases de las investigaciones encontradas en la literatura no siempre son adaptables a todas las condiciones de producción, la valoración de los productores debe estar encaminada a dar un orden de prioridad los factores sobre los cuales más pueden influir, establecer este orden puede estar muy claro, los índices que mayor influencia tendrán en la productividad serán la prolificidad, relacionada directamente con la longevidad y la mortalidad de los lechones en lactación, pero el comportamiento de estos factores, está influido en mayor o menor medida por el resto de los factores, la duración de la lactación, que es de fácil decisión por parte de los porcinocultores, tiene una importancia también muy grande y el análisis de las diferentes investigaciones permiten llegar al consenso de que lactaciones muy cortas (menos de 14 días) o muy largas (más de 28 días) influirán de forma negativa en la productividad numérica de las cerdas. La respuesta de las cerdas a cada factor está muy relacionada con el manejo que realice el productor, otro aspecto de relevancia es acortar los diferentes intervalos que caracterizan el ritmo reproductivo, disminuyendo los días improductivos y aumentando la cantidad de partos por cerda/año y con ello la productividad numérica. Es complejo establecer políticas de manejo, como la edad al reemplazo, con solo leer las investigaciones existentes en la literatura, existe una gran variedad de resultados y no siempre se encuentra un consenso entre ellos por lo que se hace necesario realizar un análisis más complejo de las investigaciones existentes en estudios futuros.

La complejidad de las interacciones entre los factores es una realidad a la que los productores deben enfrentarse en las granjas de cerdas, por lo que los sistemas de ayuda a la toma de decisiones pueden minimizar los riesgos de errores, convirtiéndose en herramientas eficaces para el pronóstico a corto, mediano y largo plazo, según sea requerido.

2.5 Referencias

- Aherne, F.X. y Willians, I.H. 1992. Nutrition for optimizing breeding herd performance. *Veterinary Clinics of North America, Food Animal Practice*. 8 (3). pp 598-608.
- Alexander, T. y Harris, D. 1992. Methods of disease control. In: *Diseases of Swine*. University of Iowa Press. Ames. pp 808-823.
- Almond, G. 1992. Factors affecting the reproductive performance of the weaned sow. *Animal Practice*, 8. pp 503-516.
- Aumaitre, A. 2000. Sistema de manejo de alta productividad para cerdas en Europa, *Anaporc*, 203. pp 55-86.
- Àvalos, E. y Smith, C. 1987. Genetic improvement of litter size in pigs. *Animal Production*, 44. pp 153-163.
- Babot, D.; Noguera, J.L.; Alfonso, L. y Estany J. 2000. Estimación de los efectos del manejo reproductivo y su influencia en la selección del tamaño de la camada en porcino *Invest. Agr.: Prod. Sanid. Anim.* 15. pp 1-2.
- Babot, D. 1997. Evaluación genética de reproductores porcinos en poblaciones abiertas. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida. España.
- Babot, D.; Soldevila, C.; Abella, S.; García, E.; Ezcurra, X. y Plà, L.M. 2010. Gestión técnica y económica de explotaciones porcinas: España y Catalunya en el contexto de Europa Memorias del X Congreso Nacional de Producción Porcina, Mendoza, Argentina.
- Babot, D.; Vidal, M. y Chávez, E.R. 2001. Decisiones de manejo en granjas y sistemas de producción alternativos. In Babot, D. (Ed.) *Gestión en empresas de producción porcina. Análisis, diagnóstico y toma de decisiones*. Universitat de Lleida. ISBN: 84-8409-108-2.
- Babot, D.; Vidal, M.; Gosálvez, L. y Noguera, J. 2003. Evolución comparada de la productividad de las explotaciones porcinas en España, Francia y Holanda (1990-2000). *Anaporc*, 230. pp 68-83.
- Bach, A. 2001. La reproducción del vacuno lechero: Nutrición y Fisiología. XVII Curso de Especialización. *Avances en nutrición y alimentación animal*. FEDNA. Purina, España.
- Basso, I. 2002. Sistemas de producción de carnes con cerdas primíparas: Fundamentos y posibilidades. *ANAPORC*. 227.

- Becerril, A.; Ortega, G. y Conejo, N. 1996. Efecto de lactancias cortas e intervalo destete servicio sobre la productividad de las cerdas In: XXXI Congreso Nacional de la Asociación de Médicos Veterinarios Especialistas en Cerdos. México, D.F. pp 112.
- Britt, J. 1996. Biology and management of the early weaned sow. 27th Annual Meeting of the American Association of Swine Practitioners. pp 417-426.
- Bustos, R. 1997. Manipulación de la lactancia en cerdas. I Curso Internacional de Reproducción Porcina. Acad. de Investigación en Biología de la Reproducción. México. pp 76-92.
- Buttler, W. 2000. Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. Anim. Rep. Sci. (60 –61). pp 449–457.
- Buxadé, C. y Pérez, T. G. 1995. Definición de conceptos básicos: fertilidad, fecundidad y prolificidad. De Zootecnia, bases de producción animal. Tomo II. Alimentos y racionamiento. Coordinador: Buxadé, C. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp.17-27.
- Campabadal, C. y Navarro, H. 2001. Alimentación de los cerdos en condiciones tropicales. Asociación Americana de Soya. México. pp 279.
- Carvalho, L., Sousa K. e Bastos F. 2005a. Efeito da ordem de parto sobre a prolificidade da fêmea suína. In: Congresso Brasileiro dos Veterinários Especialistas em Suínos, 12. Anais, Fortaleza, Ceará. pp. 214-215.
- Carvalho, L.; Sousa, K. e Bastos, F. 2005b. Efeito da duração da lactação (dias) sobre o número de leitões nascidos no parto seguinte de fêmeas suínas. In: Congresso Brasileiro dos Veterinários Especialistas em Suínos, 12. Anais, Fortaleza, Ceará. pp 216-217.
- Carvalho, L.; Sousa, K. e Bastos, F. 2005c. Efeito do intervalo desmame cio sobre a prolificidade da fêmea suína. In: Congresso Brasileiro dos Veterinários Especialistas em Suínos. Anais, Fortaleza, Ceará. pp 212-213.
- Castro, G. 1996. Factors to benchmark for maximum efficiency. 27th Annual Meeting of the American Association of Swine Practitioners. pp 317-321.
- Clowes, E.; Aherne, F. y Foxcroft, G. 1994. Effect of delayed breeding on the endocrinology and fecundity of sows. Journal of Animal Science, 72. pp 283-291.

- Cromwell, G.; Hall, D.; Combs, G.; Hale, O.; Handlin, D.; Hitchcock, J.; Knabe, D.; Kornegay, E.; Lindemann, M.; Maxwell, C. y Prince, T. 1989. Effects of dietary salt level during gestation and lactation on reproductive performance of sow: a cooperative study. *Journal of Animal Science*. 67. pp 374-385.
- Dagorn, J. y Aumaitre, A. 1979. Sow culling: Reasons for and effect on productivity. *Livestock Production Science*. pp 167-177.
- D'Allaire, S.; Stein, T. and Leman, A. 1987. Culling patterns in selected Minnesota swine breeding herds. *Can. J. Vet. Res.* 51. pp 506-512.
- Daza, A. 1995. Explotaciones de ganado reproductor (I). Estrategias y gestión-técnico económica. *Mundo Ganadero*. N.9. pp 48-56. ISSN 0214-9192.
- Daza, A.; Ovejero, I.; Pérez, M.D. y Buxáde, C. 1988. Análisis de algunos factores que influyen en la duración del intervalo destete cubrición fértil de la cerda. *Invest. Agr: Prod. Sanid. Anim.* 4(3). pp 163-173.
- Daza, A.; Ovejero, I.; Pérez, M.D. y Buxáde, C. 1989. Efecto de la edad y la prolificidad en el primer parto sobre los resultados productivos de cerdas cruzadas Landrace x Large White en explotación intensiva. *ITEA*, 84. pp 38-50.
- Deen, J. y Xue, J. 1999. Sow mortality in the US: an industry-wide perspective. In: *Proc. A.D. Leman Conf.* 26. pp 91-94.
- Dial, D.; Marsh, W. y Polson, D. 1992. Reproductive failure: differential diagnosis. *Diseases of Swine*. University of Iowa Press. Ames. pp 88-137.
- Dijkhuizen, A.A.; Morris, R.S. y Morrow, M. 1986. Economic optimization of culling strategies in swine breeding herds, using the "Porkchop" computer program. *Prev. Vet. Med.* 4. pp 341-353.
- Dourmad J.Y.; Etienne M.; Prunier A. y Noblet J. 1994. The effect of energy and protein intake of sows on their longevity: a review. *Livest. Prod. Sci.* 40. pp 87-97.
- Dritz, S.; Nelssen, L.; Goodband, D. y Tokach, D. 1994. Application of segregated early weaning technology in the commercial swine industry. *Swine Production Management. Compendium*. pp 677-685.
- Edwards, Sandra 1997. Management of Gilts, primiparous sows, multiparous sows and boars. XVIII Symposium Anaporc. Posted in magazine: *Anaporc* (181) pp. 5-22.
- English, R.; Smith, J. y Mclew, A. 1985. La cerda: cómo mejorar su productividad. *Manual Moderno*. México, D.F. pp. 196-233

- Flores, A. 1993. Alimentación de cerdas de alta producción. VI Convención Técnica Hypor. La Toja. pp. 47-88.
- Furhman, M. 1996. Hog heaven? Pig production techniques in México. Large Animal Veterinarian, 14. pp 26-30.
- Gaustad-Aas, A.; Hofmo, P. y Kalberg. K. 2004. The importance of farrowing to service interval in sows served during lactation after shorter lactation than 28 days. Anim. Reprod. Sci. 81. pp 287-293.
- Hanenbergh, E.H.; Knol, E.F. y Merks, J.W. 2001. Estimates of genetic parameters for reproduction traits at different parities in Dutch Landrace pigs. Livest. Prod. Sci. 69. pp 179–186.
- Hars S. B.; Connor L.J. y Schawd, G.D. 1981. Managing the farm business. Ed. Pretince-Hall, New Jersey.
- Holm, B.; Bakken, M.; Klemetsdal, G. y Vangen, O. 2004. Genetic correlations between reproduction and production traits in swine. J. Anim. Sci. 82. pp 3458–3464.
- Humpolicek, P.; Tvrdon, Z. and Jaros, J. 2012. Impact of wean to standing reflex interval on litter size of sows. Archiv Tierzucht 55 (2). pp 148-151. ISSN 0003-9438.
- Iain, J. y Henry, A. 1999. Leptin and reproduction. Rev. Rep. 4. pp 48-55.
- Irgang, R.; Favero, J.A. y Kennedy, B.W. (1994). Genetic parameters for litter size of different parities in Duroc, Landrace, and Large White sows. Journal of Animal Science. 72. pp 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.
- King, R. 1993. En Recent Advances in Animal Nutrition in Australia. University of New England. Victoria. pp 233-238.
- Kirkwood, R. y Aherne, F. 1985. Energy Intake, Body Composition and Reproductive Performance of the Gilt. J. of Anim. Sci. 60. pp 1518-1525.
- Koketsu, Y. 1994. Influence of feed intake and other factors on the lactational and post-weaning reproductive performance of sows. PhD Thesis, University of Minnesota. Saint Paul.
- Koketsu, Y. 2000. Retrospective analysis of trends and production factors associated with sow mortality on swine-breeding farms in USA. Prev. Vet. Med. pp 249-256.

- Koketsu, Y. y Dial, G. 1997. Factors influencing the postweaning reproductive performance of sows on commercial farms. *Theriogenology*. 47. pp 1445-1461.
- Kroes, Y. y Van Male, J.P. 1979. Reproductive lifetime of sows in relation to economy of production. *Livest. Prod. Sci.* 6. pp 179-183.
- Lamberson, W. R. 1991. Genetic parameters for reproductive traits. *Genetics of Swine*. pp 70-76.
- Le Cozler, Y.; Dagorn, J.; Dourmand, J.; Johansen, S. y Aumaitre, A. 1997. Effect of weaning-to-conception interval and lactation length on subsequent litter size in sow. *Livest. Prod. Sci.* 52. pp 1-11.
- Le Cozler, Y.; Dagorn, J.; Lindberg, J.; Aumaitre, A. y Dourmad, J. 1998. Effect of age at first farrowing and herd management on long-term productivity of sows. *Livest. Prod. Sci.* 53. pp 135-142.
- Leman, D. 1992. Optimizing farrowing rate and litter size and minimizing non productive sows days. *Veterinary Clinics of North America: food-animal Practice*, 8. pp - 609-621.
- Lucia, T. 1997. Lifetime productivity of female swine. Ph.D. dissertation. Univ. Minnesota, St. Paul.
- Lucia, T.; Dial, G.D. y Marsh, W.E. 1995. Longevity and lifetime performance across categories of reasons for female removal. *Recent advances in swine health and production*. 5. pp 73-81.
- Lynch, P.B.; Hanrahan, T.J. y Arkins S. 1994. Effect of age at first mating on lifetime performance of sows under two weaning regimes. *Animal Production*. 58. pp 470.
- Main, R.; Dritz, S.; Tokach, M.; Goodband, R. y Nelssen, J. 2003. Increasing weaning age improves pig performance in a multisite production system. *Journal of Animal Science*, 82. pp 1499-1507.
- Major, N. 1993. *Industria Porcina*. 13 (3). pp 25-27.
- Marco, E. y Collell, M. 2009. Análisis y diagnóstico de problemas reproductivos. Conferencia: Master Sanidad y Producción Porcina, universidad de Lleida, España. <http://www.masterporcino.org>
- Marsteller, T.; Arbustrer, A. y Anderson, B. 1997. Effect of lactation length on ovulation rate and embryo survival in swine. *American Association of Swine Practitioners*. 5. pp 49-56.

- Martín, R.S.; De Alba, C.; Falceto, María; Peralta, W. y Bustamante, J. 2000. Efecto del aparato genital de la primeriza sobre la productividad de la cerda. ANAPORC. 198. pp 63.
- Mateos, G. y Piquer, J. 1994. Programas de alimentación en porcino: reproductoras. X Curso de especialización FEDNA.
- MLC (Meat and Livestock Commission) 1997. Pig Yearbook. . Milton Keynes, UK. London. pp 71-75.
- Morrinson, C.; Daniel, J.; Holmberg, B.; Djiane, J.; Raver, N.; Gertler, A. y Keisler, D. 2001. Central infusion of leptin into well-fed and undernourished ewe lambs: Effects on feed intake and serum concentrations of growth hormone and luteinizing hormone. J. Endocrin. 168. pp 317-324.
- Mullan, B. y Close, W. 1993. En Recent Development in Pig Nutrition. 2. Nottingham University Press. pp. 332-346.
- Nocera, P. y Fedalto, L. 2002. A influência de fatores ambientais e de inseminação artificial sobre as características produtivas de suínos. Arch. Vet. Sci. 7. pp 159-172.
- Noguera, J.L. y Gueblez R. 1984. Incidence de l'âge a la première mise-bas et de le taille de le première portée sur le carrière de le truie. Journées de la Recherche Porcine en France. 19. pp 135-144.
- Noguera, J.L.; Varona, L.; Babot, D. and Estan, J. 2002(a). Multivariate analysis of litter size for multiple parities with production traits in pigs: I. Bayesian variance component estimation. J. Anim. Sci. 80. pp 2540–2547.
- Noguera, J.L.; Varona, L.; Babot, D. and Estan, J. 2002(b). 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. J. Anim. Sci. 80. pp 2548-2555.
- NRC 1988. Nutrient Requirement of Swine, 10th Edition.
- Ortega, R y Diéguez, F. 2006. Valores genéticos para prolificidad en una población de cerdos Yorkshire en México. Revista Computadorizada de Producción Porcina V. 13 No. 1. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Ortíz, R.; Ortega, R. y Becerril, J. 2004. Efectos ambientales en cerdas sometidas a lactancias de 12 y 21 días en México. Rasgos del comportamiento reproductivo. Revista Computadorizada de Producción Porcina. 11. pp 3.

- Patience, J.; Gonyou, H.; Whittington, D.; Beltranena, E.; Rhodes, C. y Van Kessel, A. 2000. Evaluation of site and age of weaning on pig growth performance. *Journal of Animal Science*, 78. pp 1726-1731.
- Patterson, J.; Wellen, A.; Hahn, M.; Pasternak, A.; Lowe, J.; DeHaas, S.; Kraus, D.; Williams, N. y Foxcroft, G. 2008. Responses to delayed estrus after weaning in sows using oral progestagen treatment. *J. Anim. Sci.* 86. pp 1996-2004
- Peters, J.C.; and Mahan, D.C. 2008. Effects of dietary organic and inorganic trace mineral levels on sow reproductive performances and daily mineral intakes over six parities. *J. of Anim. Sci.* 86 (9). pp 2247-2260.
- Pinheiro, M.J.; Galvão, R.J.; Bezerra Neto, F. e Espíndola, G.B. 2000. Características reprodutivas de suínos puros na região semi-árida do Rio Grande do Norte. I Tamanho da leitegada. *Rev. Caatinga*, 13. pp 19-26.
- Plà L.M. 2001. Aplicación de modelos de simulación en la toma de decisiones. In Babot, D. (Ed.) *Gestión en empresas de producción porcina. Análisis, diagnóstico y toma de decisiones*. Universitat de Lleida. ISBN: 84-8409-108-2.
- Poleze, E.; Kummer, R.; Bernardi, M.; Soares, J.L.; Bortolozzo, F. e Wentz, I. 2004. Consequências reprodutivas da variação do intervalo- desmama -estro em suínos. In: *Anais do XI Congresso Brasileiro de Veterinários Especialistas em Suínos.*, Goiânia. *Anais. Fortaleza, Ceará*. pp 187-188.
- Power, D.J. 2002. *Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers*. ISBN 1-56720-497-X.
- Quintanilla, R. y Babot, D. 2008. Gestión de la producción y de la empresa porcina: parámetros implicados en el rendimiento técnico de las explotaciones porcinas. In: Babot, D. (Ed.), *La gestión técnica de explotaciones porcinas en España*. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ISBN 978-84-491-0854-9.
- Ribeiro, J. C.; Carvalho, L.E.; Sousa, K.C. ve Nepomuceno, R.C. 2008. Prolificidade de fêmeas suínas nascidas em fortaleza, Ceará, Brasil. *Arch. Zootec.* 57 (220). pp 537-540.
- Roche, R. and Kennedy, B.W. 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. pp 2959-2970.
- Rydhmer, L. 2000. Genetics of sow reproduction, including puberty, oestrus, pregnancy, farrowing and lactation. *Livest. Prod. Sci.* 66. pp 1-12.

- Rydhmer, L.; Lundeheim, N. and Johansson, K. 1995. Genetic parameters for reproduction traits in sows and relations to performance test measurements. *J. Anim. Breed. Genet.* 112. pp 33–42.
- Schukken, Y.H.; Buurman, J.; Huine, R.B.; Willese, A.H.; Vernooij, J.; Van den Brock, J. y Verheijden, H.M. 1994. Evaluation of optimal age at first conception in gilts from data collected in commercial swine herds. *Journal of Animal Science.* 72 (6). pp 1387 - 1392.
- Soede, N.M.; Wetzels, C.C.; Zondag, W.; de Koning M.A. y Kemp B. 1995. Effects of time of insemination relative to ovulation, as determined by ultrasonography, on fertilization rate and accessory sperm count in sows. *J Reprod Fertil.* 104. pp 99-106.
- Sorensen, D.; Vernerisen, A. and Andersen, S. (2000). Bayesian analysis of response to selection: a case study using litter size in Danish Yorkshire pigs. *Genetics.* 156. pp 283-295.
- Stein, T.E.; Dijkhuizen, A.; D'Allaire, S. y Morris, R.S. 1990. Sow culling and mortality in commercial swine breeding herds. *Prev. Vet. Med.* pp 85-94.
- Sterning, M.; Rydhmer, L. y Eliasson-Selling, L. 1998. Relationships between age at puberty and interval from weaning to estrus and between estrus signs at puberty and after the first weaning in pigs. *J. Anim Sci.* 76. pp 353-359.
- Svendsen, J.; Nielsen, N.C.; Bille, N. y Riising, H.-J. 1975. Causes of culling and death in sows. *Nord. Vet. Med.* 27. pp 604-615.
- Tummaruk, P.; Tantasuparuk, W.; Techakumphu, M. y Kunavongkrit, A. 2007. Age, body weight and backfat thickness at first observed oestrus in crossbred Landrace × Yorkshire gilts, seasonal variations and their influence on their subsequent reproductive performance. *Anim Reprod Sci.* 99. pp 167-181.
- Van der Hayde, H. 1992. Relation litter size, lactation length, reform, conception, subsequent litter size in 7 farms. In: *Proceeding of the International Pig Veterinary Society (IPVS) Congress.* pp 494.
- Varley, M. 1982. The time weaning and its effects on reproductive function. *Journal of Reproduction and Fertility,* 22. pp 450-477.
- Varley, M. y Atkinson, T. 1985. Weaning at birth: The effect on the reproduction of the sows. *Animal Production,* 41. pp 375-382.
- Vesseur, P.; Kemp, B. y Den Hartog, L. 1994. Factors affecting the weaning to estrus interval in the sow. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutrit,* 72. pp 30-38.

- Vidal, J.; Parera, J. y Babot, D. 2001. Influencia de la duración de la lactación sobre la productividad de la cerda. ITEA. 22(II). pp 460-462.
- Xue, J.; Dial, D.; Marsh, E.; Davies, R, And Momont, W, 1993. Influence of lactation length on sow productivity. Livestock Production Science, 34. pp 253-265.
- Xue, J.L.; Bahnson, P. and Dial, G.D. 1996. Factors affecting the reproductive performance of early weaned sows. In: Proceedings of the 14th IPVS Congress. Bologna, Ital. pp. 477.

CAPÍTULO 3

META-ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE DIFERENTES INDICADORES REPRODUCTIVOS SOBRE LA PRODUCTIVIDAD NUMÉRICA DE LAS CERDAS

Resumen

El presente trabajo pretende determinar, a través del meta-análisis, el nivel de importancia que tienen los principales factores que intervienen en la productividad numérica de las cerdas. Se seleccionaron 96 citas de diferentes referencias bibliográficas: bases de datos; revistas reconocidas internacionalmente, con factor de impacto en Europa y América, publicaciones procedentes de Universidades de reconocimiento internacional y artículos publicados en eventos internacionales. Se establecieron criterios de inclusión y se codificaron los factores para su análisis estadístico. Los resultados permitieron determinar el grado y sentido de la influencia que tienen los factores que, a juicio de los autores, modifican la productividad numérica de las cerdas y demostraron que según las investigaciones realizadas los factores que mayor influencia tienen son la alimentación, prolificidad por orden de parto y duración de la lactación.

Abstract

This paper aims to determine, through a meta-analysis, the level of importance of the principal factors affecting the numerical productivity of sows. Were selected 96 citations of different references: databases; internationally recognized journals with impact factor in Europe and America, publications from university of international recognition and articles published in international events. Inclusion criteria were established and the factors were coded for statistical analysis. The results allowed determining the extent and direction of the influence factors, according to the authors, modify numerical productivity of sows and showed that according to research the factors that have the greatest influence are food, littering size by order childbirth and lactation length.

Palabras claves: Productividad numérica, prolificidad, meta-análisis, reproductoras porcinas.

3.1 Introducción.

Los resultados y la evaluación del rendimiento reproductivo de una granja se basan en el estudio de los indicadores que caracterizan el ritmo reproductivo de las cerdas, estos indicadores se usaran para analizar la situación actual o de un período en la granja, diagnosticar los problemas existentes y ayudar a la toma de decisiones. En granjas de reproductoras, la eficiencia de las mismas se evalúa por la productividad numérica; este indicador refleja de manera cuantificable todo el desempeño de cada uno de los factores que influyen en la rentabilidad de las reproductoras. En muchos países desarrollados donde la producción de lechones es alta, encontramos medias de 21 y 22 lechones destetados por cerda y año, (Babot, *et al.* 2010). Los factores técnicos que se estudian para el análisis de la productividad de las explotaciones porcinas dependen de los intereses de cada país o de cada región. Marco y Collell, (2009), agrupan los parámetros para medir la eficiencia reproductiva en cuatro grupos: Estructura de la explotación; Ritmo de partos; Prolificidad y Lactación.

En la actualidad los profesionales de la producción porcina se encuentran con la problemática de que existen muchos estudios que tratan el tema de la productividad numérica de las cerdas; pero estos estudios se realizan en condiciones de manejo muy diferentes y los resultados suelen entrar en contradicción en algunas ocasiones, por lo que establecer un orden de prioridad, para los aspectos, que pueden influir en mayor o menor medida en la productividad numérica de las cerdas, en condiciones similares a las que nos interesaría analizar, puede convertirse en una tarea muy complicada. Una técnica que permite resolver este problema desde el punto de vista estadístico es el meta-análisis. El meta-análisis es un planteamiento cuantitativo, en el cual las conclusiones individuales de diferentes estudios, con una misma finalidad, son integradas y analizadas a través de un proceso estadístico y puede proporcionar una estimación más precisa del efecto de cada factor reproductivo en la productividad numérica de las cerdas, así como explicar la variabilidad de los efectos entre factores, según los estudios presentes en la bibliografía, en la literatura se han empleado diferentes métodos para la realización de meta-análisis en múltiples estudios realizados en la producción animal y específicamente en la producción porcina, (Chizzotti, *et al.* 2008; Sales y Jancík, 2011 y Schulín-Zeuthen, *et al.* 2007).

Con el objetivo de relacionar índices productivos, según estudios realizados previamente, en este trabajo se ha creado una metodología que recoge técnicas descritas en estas referencias, en todos los casos los meta-análisis, tienen como fin, establecer una relación entre el aspecto a estudiar y los estudios existentes sobre el tema, en este estudio, las publicaciones revisadas analizan la productividad por cerda y año como un factor que depende de un grupo de factores más que lo modifican en el manejo diario de la granja, los cuales pueden estar influenciados por el hombre o no, en dependencia de la relevancia de los mismo. El objetivo del presente trabajo es determinar a través de un meta-análisis de la literatura encontrada, el nivel de importancia que tienen los diferentes factores que intervienen en la productividad numérica de las cerdas.

3.2 Materiales y métodos

Para el presente estudio se seleccionaron referencias bibliográficas, de todas las encontradas sobre el tema en el ámbito literario; para ello se establecieron como criterios de inclusión que: (1) las investigaciones tenían que ser desarrolladas en condiciones de producciones reales; (2) la influencia o no de los factores tenía que quedar demostrada estadísticamente y tenían que aportar datos como el tamaño de la muestra, la media, desviación estándar, el coeficiente de correlación o los valores de probabilidad obtenidos por un análisis de varianza por software conocidos como SPSS, MINITAB, Statgraphics o InfoStat; (3) los estudios tenían que estar publicados en revistas de impacto internacional o en eventos reconocidos internacionalmente y (4) aunque los autores refiriesen otros factores, para agruparlos se escogería aquel factor que mayor importancia tenía dentro de la investigación publicada.

3.2.1 Identificación de la literatura y metodología para la búsqueda bibliográfica.

La búsqueda bibliográfica se realizó en cuatro fases:

Fase 1. Búsqueda informatizada en las bases de datos del Bdporc, PigCHAMP; Java Specification Request e Intervet.

Fase 2. Búsqueda en las revistas reconocidas internacionalmente y que tienen un factor de impacto en Europa y América: Journal of Animal Science; Animal Practice; Journal of Reproductive Fertility; Animal Production; Livestock Production Science; Revista Electrónica de Veterinaria; Navarra Agraria; Mundo Ganadero; Diseases of Swine; Swine Production Management; Large Animal Veterinarian; Livestock Research for Rural Development; Journal American Veterinary Society; Ciencia y Cultura Latinoamericana; American Association of Swine Practitioners; Animal Research; Revista Computadorizada de Producción Porcina; British Journal of Nutrition; Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition; Zootecnia Tropical; British Society of Animal Production; Veterinary Clinics of North America; Journal Nutrition; Journal Animal Physiology Animal Nutrition; Theriogenology, ANAPORC y Animal Physiology and Animal Nutrition.

Fase 3. Se revisaron las publicaciones procedentes de universidades de reconocimiento internacional como University of Iowa Press Ames; University of New England; University of Minnesota; Nottingham University Press; National Academy Press, Washington D.C y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Fase 4. Se recopilaron artículos publicados en eventos internacionales que incluyeron el XXXI Congreso Nacional de la Asociación de Médicos Veterinarios Especialistas en Cerdos, México; 27th Annual Meeting of the American Association of Swine Practitioners; I Curso Internacional de Reproducción Porcina; Academia de Investigación en Biología de la Reproducción, México; XIII, XXI, XIII y X Curso de especialización FEDNA; Corporación Ganadera (CORFOGA) y 12th International Pig Veterinary Society (IPVS) Congress.

Se escogieron 96 bibliografías en idioma Español, Inglés y Portugués que constituyeron el universo; de donde solo se tomaron las citas. Las variables de clasificación fueron los factores que influyen en la productividad numérica de las cerdas, el agrupamiento se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Relación de los autores analizados según el factor al que hacían referencia.

Factor	Autores	Años	Factor	Autores	Años	Factor	Autores	Años
A	Bach	2001	EPC	Lynch et al	1994	LG	Deen y Xue	1999
A	Buttler	2000	EPC	Martín et al.	2000	LG	Dijkhuizen et al.	1986
A	Cromwell et al.	1989	EPC	MLC	1997	LG	Edwards	1997
A	Flores	1993	EPC	Noguera y Gueblez	1984	LG	Koketsu	2000
A	Iain y Henry	1999	EPC	Rydhmer	1993	LG	Kroes y Van Male	1979
A	King	1993	EPC	Schukken et al.	1994	LG	Lucia	1997
A	Major	1993	EPC	Tummaruk et al.	2007	LG	Lucia et al.	1995
A	Mateos y Piquer	1994	EPC	Xue et al.	1996	LG	Stein et al.	1990
A	Morrison et al.	2001	FC	Almond	1992	LG	Svendsen et al.	1975
A	Mullan y Close	1993	FC	Clowes et al.	1994	M	Daza	1995
A	NRC	1988	FC	Leman	1992	P	Babot et al.	2010
A	Peters y Mahan	2008	FC	Marsteller et al.	1997	P	Castro	1996
DL	Alexander y Harris	1992	FC	Ortiz, et al.	2004	P	Dial et al.	1992
DL	Babot et al.	2003	IDCF	Babot et al.	2000	P	English et al.	1985
DL	Becerril et al.	1996	IDCF	Carvalho et al.	2005b	P	Furhman	1996
DL	Bustos	1997	IDCF	Carvalho et al.	2005c	P	Irgan et al.	1994
DL	Dritz et al.	1994	IDCF	Gaustad- Aas et al.	2004	P	Jørgensen	1992
DL	Koketsu y Dial	1997	IDPC	Aumaitre	2000	P	Marco y Collell	2009
DL	Le Cozler et al.	1997	IDPC	Britt	1996	P	Nocera y Fedalto	2002
DL	Le Cozler et al.	1998	IDPC	Holm et al.	2005	P	Ortega y Diéguez	2006
DL	Main et al.	2003	IDPC	Humpolicek	2012	P	Pinheiro, et al.	2000
DL	Patience et al.	2000	IDPC	Koketsu	1994	P	Quintanilla y Babot	2008
DL	Poleze et al.	2004	IDPC	Patterson et al.	2008	P	Ribeiro, et al.	2008
DL	Van der Heyde	1992	IDPC	Rydhmer	2000	R	Avalos y Smith	1987
DL	Varley	1982	IDPC	Soede et al.	1995	R	Buxadé y Pérez	1995
DL	Varley y Atkinson	1985	IDPC	Sterning et al.	1998	R	Campabadal	2001
DL	Vidal, et. al.	2001	IDPC	Vesseur et al.	1994	R	Hanenbergh et al.	2001
EPC	Babot	1997	IDPC	Xue et al.	1993	R	Lamberson et al.	1991
EPC	Basso	2002	IEP	Babot et al.	2001	R	Noguera et al.	2002a
EPC	Daza et al.	1988	LG	Carvalho et al.	2005a	R	Noguera et al.	2002b
EPC	Daza et al.	1989	LG	Dagorn y Aumaitre	1979	R	Roehe y Kennedy	1995
EPC	Kirkwood y Aherne	1985	LG	D'Allaire et al.	1987	R	Sorensen et al.	2000

(A) alimentación; (P) prolificidad; (EPC) edad a la primera cubrición; (R) raza; (LG) longevidad; (IEP) intervalo entre partos; (M) mortalidad de los lechones durante la lactancia; (IDCF) intervalo destete cubrición fértil; (DL) duración de la lactación; (IDPC) intervalo destete primera cubrición y (FC) factores climáticos

Las variables categóricas refieren el nivel de influencia de estos factores en la productividad numérica y se codificaron según el grado de significación referido en la investigación como factor analizado que influye o no y si influye esta es de forma directamente proporcional (representado en los datos por el signo (+) o inversamente proporcional, representado en los datos por el signo (-). Para cada factor se estableció una de las clasificaciones que se observan en la tabla 2. La identificación de los factores está representado en el Dendograma A, de la figura 1.

Tabla 2. Codificación de la influencia de los factores en la productividad numérica.

Codificación de cada factor	Influencia positiva	Color asignado	Influencia negativa	Color asignado
Influencia alta	+ 1	Rojo	- 1	Amarrillo
Influencia media	+ 0,5	Rosado	- 0,5	Malva
Influencia baja	+ 0,25	Verde	- 0,25	Marrón
No Influye	0	Azul	0	Azul

Para codificar las variables categóricas se siguieron seis pasos consistentes en (1) limpieza de los textos; (2) reducción de las palabras a su raíz; (3) creación de una matriz; (4) determinación de los pesos de cada palabra en cada opinión; (5) representación de cada opinión por un vector de palabras y (6) agrupamiento de opiniones en base a los vectores de palabras. Para analizar estadísticamente los datos obtenidos, se realizó una prueba de corridas con el objetivo de determinar la existencia de un sesgo gradual en la selección de las citas o si no se han seleccionado al azar y tras confirmar la aleatoriedad se efectuó un análisis de conglomerado jerárquico para determinar las similitudes de los conglomerados de las observaciones y de las variables categóricas, la similitud, $S(ij)$, entre dos conglomerados i y j está dada por:

$$S(ij) = 100(1 - d(ij) / d(\text{máx}))$$

Donde $d(\text{máx})$ es el valor máximo en la matriz de distancia original, D .

Finalmente se realizaron dos análisis de varianza para encontrar diferencias entre las medias de los conglomerados, uno primero para los factores que tienen una relación directamente proporcional con la productividad numérica y otro para los factores que tenían una relación inversamente proporcional, para ello se empleó el programa MINITAB ver. 16 en Español.

3.3 Resultados y discusión.

La tabla 3 presenta los porcentajes de aparición de las citas por años y factores; las investigaciones más recientes se centran en los intervalos entre partos y la longevidad de las cerdas; es conocido que este factor es de suma importancia en la productividad numérica; pero aún no se logra establecer un consenso de cómo determinar exactamente el momento de desechar a una reproductora sin que ocasione perdidas económicas, así como también en el intervalo destete cubrición fértil.

Tabla 3: Porcentajes de aparición de las citas relacionados con la productividad numérica.

Años	Factores											
	UM	A	P	EPC	R	LG	IEP	M	IDCF	DL	IDPC	FC
Antes de 1990	(%)	18,2	13,3	0,0	30,0	0,0	0,0	100,0	20,0	21,9	17,6	27,3
1990-1994	(%)	30,3	40,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,5	41,2	18,1
1995-1999	(%)	15,1	6,7	40,0	60,0	25,0	0,0	0,0	0,0	19,5	17,6	27,3
2000-2004	(%)	18,2	20,0	40,0	10,0	0,0	0,0	0,0	20,0	21,9	23,6	27,3
Después de 2004	(%)	18,2	20,0	0,0	0,0	75,0	100,0	0,0	60,0	12,2	0,0	0,0

La matriz que recoge la clasificación de las citas, según el factor al que hacen referencia, fue sometida a una prueba de corridas y los resultados mostraron que los valores de p resultantes para cada factor son mayores al nivel de significación ($\alpha=0,05$), por lo que existe suficiente evidencia para concluir que los datos están en orden aleatorio (tabla 4).

Al prever una productividad numérica para una granja en cuestión se deben tener muchos elementos en cuenta que no siempre pueden ser controlados (Nocera y Fedalto, 2002 y Carvalho *et al.*, 2005a), todos los factores que intervienen en la productividad numérica de las cerdas no se pueden controlar al unísono, por ello la mayoría de los investigadores centran sus estudios en aquellos que más relevancia tienen desde el punto de vista de su influencia, así la mayoría de los estudios van encaminados a la importancia de la prolificidad, longevidad, mortalidad y duración de la lactación (English, *et al.*, 1985; Dial, *et al.*, 1992; Castro, 1996; Furhman, 1996 y Daza, 1995).

Tabla 4: Valores de probabilidad obtenidos de la Prueba de corridas.

Factores	p ($\alpha=0,05$)	Factores	p ($\alpha=0,05$)
A	0,637	M	0,881
P	0,062	IDCF	0,56
EPC	0,124	DL	0,213
R	0,914	IDPC	0,355
LG	0,359	FC	0,18
IEP	0,881		

La figura 1(A) muestra el Dendograma para las observaciones, en este caso agrupa las citas bibliográficas de los autores que realizan planteamientos similares sobre la influencia de cada variable en los lechones destetados por cerda y año, el primer conglomerado de variables tienen una similitud grande entre ellas, a partir de este se forman otros conglomerados que agrupan el resto de las variables, como se observa el conglomerado de color azul, que corresponde a las observaciones, en la matriz, que no influyen, es el más grande y en él están agrupados la mayor cantidad de autores, obsérvese que este resultado está relacionado con la matriz creada con todas las posibles codificaciones por autor en cada factor, así el menor conglomerado es el que corresponde a las citas que plantean que una influencia baja positiva, lo que se explica dada la selección de las bibliografías en cuanto a su rigor científico y las fuentes consultadas.

La figura 1(B) muestra la agrupación en conglomerados de las variables y se puede distinguir perfectamente dos grupos de variables: grupo 1 los que según la literatura consultada influyen de forma positiva en una u otra medida en la productividad numérica (encerrado en rectángulo azul), grupo 2: los que influyen negativamente, (encerrados en rectángulo negro) a partir de este grupo de variables se van formando subgrupos y dentro de ellos se agrupan las variables por similitud entre ellas y el grado de influencia sobre la productividad numérica. La interrelación entre ambos grupos está definida por el factor Longevidad.

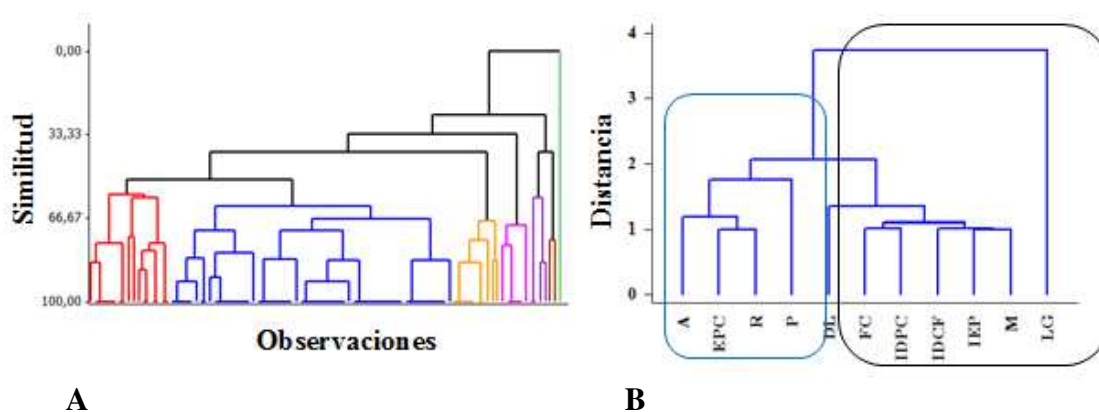


Figura 1: Dendogramas de las observaciones (A) y las variables (B) que influyen en la productividad numérica de las cerdas.

Se han empleado diferentes métodos para la realización del meta-análisis en múltiples estudios realizados en la producción animal y específicamente en la producción porcina, (Chizzotti, *et al.* 2008; Sales y Jancík, 2011 y Schulin-Zeuthen, *et al.* 2007) con el objetivo de relacionar índices productivos según estudios realizados previamente, en este trabajo se ha creado una metodología que recoge técnicas descritas en estas referencias, en todos los casos los meta-análisis tienen como fin establecer una relación entre el aspecto a estudiar y los estudios existentes sobre el tema. Las publicaciones revisadas analizan la productividad por cerda y año como un factor que depende de un grupo de factores más que lo modifican en el manejo diario de la granja, los cuales pueden estar influenciados por el hombre o no, en dependencia de la relevancia de los mismos.

El análisis de varianza en ambos casos tuvo valores de p inferiores al de $\alpha=0,05$ por lo que existen diferencias significativas entre la influencia de los factores en la productividad numérica de las cerdas. En la tabla 5 se observa el orden de influencia, la A y P tienen mayor influencia de modo directamente proporcional; mientras que los restantes tienen una influencia inversa, siendo menos significativo en la DL y sin diferencia alguna entre M, IEP, IDCF, FC y IDPC; interpretándose que las cerdas con mejor alimentación, mejores medias de prolificidad, razas más especializadas y una mayor edad a la primera cubrición incrementarían su productividad numérica, coincidiendo con los estudios realizados por Bach, (2001); Babot, *et al.* (2010); Campabadal, (2001) y Martín, *et al.* (2000), respectivamente.

Sin embargo a mayor mortalidad, intervalo entre partos, intervalo destete cubrición fértil, intervalo destete primera cubrición, mayor temperatura ambiental, cerdas muy longevas o con duraciones de lactación muy largas, disminuirían su productividad numérica. Estos resultados se corresponden con Daza, (1995); Babot, *et al.* (2001); Carvalho, *et al.* (2005b), Aumaitre, (2000); Ortíz, *et al.* (2004); Quintanilla y Babot, (2008) y Babot, *et al.* (2003).

Tabla 5: Análisis de varianza para los conglomerados.

Factores	Agrupación		Factores	Agrupación	
	Media	(Fisher)		Media	(Fisher)
A	0,323	A	M	-0,010	A
P	0,197	B	IEP	-0,010	A
R	0,061	C	IDCF	-0,025	A
EPC	0,035	C	FC	-0,051	A
			IDPC	-0,056	A
			LG	-0,061	A
			DL	-0,384	B

A-B-C Letras diferentes reflejan diferencias significativas para $p\text{-valor}\leq 0,05$.

Aunque los resultados matemáticos sitúen la DL a mayor distancia de la M, IEP, IDCF, FC, IDPC y LG; también es importante analizar que la DL varia muy poco, de 21 a 28 días, lo que hace que su influencia en la productividad numérica este más ligada al efecto sobre la prolificidad de la siguiente camada que a los lechones destetados por cerda y año, el efecto significativo de la DL sobre la siguiente camada fue descrito por Poleze, *et al.* (2004).

Todos los factores se interrelacionan entre ellos (Babot, *et al.*, 2001) por lo que un análisis individualizado resulta muy difícil, sin embargo el meta-análisis nos permite conocer las relaciones que les definen y el orden de prioridad que las investigaciones les proporcionan, (Schulin-Zeuthen, 2007).

3.4 Conclusiones

La agrupación de los resultados de investigación más relevantes a través del meta-análisis permitió determinar el grado y sentido de la influencia que tienen los factores que, a juicio de los autores, modifican la productividad numérica de las cerdas; donde se reconoce que los estudios principales van encaminados a determinar la edad o ciclos, que una cerda debe permanecer en un rebaño, tomando en consideración la prolificidad por orden de parto, así como acortar los intervalos entre partos y destete cubrición fértil y en qué porciento la raza, la edad a la primera cubrición y la duración de la lactación son los que menos nivel de influencia tienen.

3.5 Referencias

- Aumaitre, A. 2000. Sistema de manejo de alta productividad para cerdas en Europa, Anaporc, 203. pp. 55-86.
- Babot, D.; Soldevila, C.; Abella, S.; García, E.; Ezcurra, X. y Plà, L.M. 2010. Gestión técnica y económica de explotaciones porcinas: España y Catalunya en el contexto de Europa. Memorias del X Congreso Nacional de Producción Porcina, Mendoza, Argentina.
- Babot, D.; Vidal, M. y Chávez, E.R. 2001. Decisiones de manejo en granjas y sistemas de producción alternativos. In Babot, D. (Ed.) Gestión en empresas de producción porcina. Análisis, diagnóstico y toma de decisiones. Universitat de Lleida. pp. 101-140. ISBN: 84-8409-108-2.
- Babot, D.; Vidal, M.; Gonsálvez, L. y Noguera, J. 2003. Evolución comparada de la productividad de las explotaciones porcinas en España, Francia y Holanda (1990-2000). Anaporc, 230. pp. 68-83.
- Bach, A. 2001. La reproducción del vacuno lechero: Nutrición y Fisiología. XVII Curso de Especialización. Avances en nutrición y alimentación animal. FEDNA. España.
- Campabadal, C. y Navarro, H. 2001. Alimentación de los cerdos en condiciones tropicales. Asociación Americana de Soya. México. pp. 279.
- Carvalho, L., Sousa K. e Bastos F. 2005a. Efeito da ordem de parto sobre a prolificidade da fêmea suína. In: Congresso Brasileiro dos Veterinários Especialistas em Suínos, 12, 2005. Anais, Fortaleza, Ceará. p. 214-215.
- Carvalho, L.; Sousa, K. e Bastos, F. 2005b. Efeito do intervalo desmame cio sobre a prolificidade da fêmea suína. In: Congresso Brasileiro dos Veterinários Especialistas em Suínos. Anais, Fortaleza, Ceará. pp. 212-213.
- Castro, G. 1996. Factors to benchmark for maximum efficiency. 27th Annual Meeting of the American Association of Swine Practitioners, p 317-321.
- Chizzotti, M. L. Tedeschi L. O. and Valadares Filho S. C. 2008. A meta-analysis of energy and protein requirements for maintenance and growth of Nellore cattle. J. Anim. Sci. 86:1588-1597.
- Daza, A. 1995. Explotaciones de ganado reproductor (I). Estrategias y gestión-técnico económica. Mundo Ganadero. N.9. pp. 48-56

- Dial, D. Marsh, W. y Polson, D. 1992. Reproductive failure: differential diagnosis. Diseases of Swine. University of Iowa Press. Ames, p 88-137
- English, R., Smith, J. y Mcleu, A. 1985. La cerda: cómo mejorar su productividad. Manual Moderno. México, D.F., p 196-233
- Fuhrman, M. 1996. Hog heaven? Pig production techniques in México. Large Animal Veterinarian, 14:26-30.
- Marco E. y Collell, M. 2009. Análisis y diagnóstico de problemas reproductivos. www.masterporcino.org
- Martín, R.S.; De Alba, C.; Falceto, María; Peralta, W. y Bustamante, J. 2000. Efecto del aparato genital de la primeriza sobre la productividad de la cerda. ANAPORC. 198. pp. 63.
- Nocera, P. y Fedalto, L. 2002. A influência de fatores ambientais e de inseminação artificial sobre as características produtivas de suínos. Arch. Vet. Sci., 7: 159-172.
- Ortíz, R.; Ortega, R. y Becerril, J. 2004. Efectos ambientales en cerdas sometidas a lactancias de 12 y 21 días en México. Rasgos del comportamiento reproductivo. Revista Computadorizada de Producción Porcina. 11. pp. 3.
- Poleze, E.; Kummer, R.; Bernardi, M.; Soares, J.L.; Bortolozzo, F. e Wentz, I. 2004. Consequências reprodutivas da variação do intervalo- desmama -estro em suínos. In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Veterinários Especialistas em Suínos., Goiânia. Anais. Fortaleza, Ceará. pp. 187-188.
- Quintanilla, R. y Babot, D. 2008. Gestión de la producción y de la empresa porcina: parámetros implicados en el rendimiento técnico de las explotaciones porcinas. In: Babot, D. (Ed.), La gestión técnica de explotaciones porcinas en España. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ISBN 978-84-491-0854-9.
- Sales, J. and Jancík, F. 2011. Effects of dietary chromium supplementation on performance, carcass characteristics, and meat quality of growing-finishing swine: A meta-analysis. J. Anim. Sci., 89:4054-4067.
- Schulin-Zeuthen, M. Kebreab, E. Gerrits, W. J. J. Lopez, S. Fan, M. Z. Dias R. S. and France, J. 2007. Meta-analysis of phosphorus balance data from growing pigs. J. Anim. Sci. 85:1953-1961.

CAPÍTULO 4

IMPACTO DE LA PROLIFICIDAD EN LA POLITICA DE REEMPLAZAMIENTO

Resumen

Se modelan las curvas de prolificidad de rebaños españoles, daneses y cubanos; utilizando un modelo de regresión complejo del tamaño de camada. A continuación las curvas obtenidas se usan como parámetro de entrada para un modelo de optimización del reemplazamiento de cerdas reproductoras y se calculan algunos índices técnicos y económicos asociados a esas políticas óptimas de reemplazamiento obtenidas. El interés radica en observar como la prolificidad afecta a la política óptima de reemplazo y la comparativa de diferentes orígenes genéticos. Las poblaciones pertenecían a cinco orígenes genéticos diferentes correspondientes a 53 granjas, 24 españolas, 19 danesas y 10 cubanas. Se obtuvieron y compararon las curvas de prolificidad por orden de parto y se estimaron los cuatros parámetros que las definen, Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 , y Θ_4 así como y los parámetros que caracterizan la varianza, $\text{Log } \tau^2$, $\text{Log } \sigma^2$ y $\text{Log } \alpha$. Los parámetros son obtenidos del registro de los diferentes eventos de las cerdas e incluye los siguientes rasgos: identificación de la granja, identificación de la cerda, número de partos y número de lechones nacidos vivos. Los resultados permitieron comparar las curvas de prolificidad de las cinco poblaciones reflejando un aumento del tamaño de camada hasta el 3ero o 5to parto aproximadamente en las curvas promedios, además se estableció una estructura censal para cada población que permite establecer una política de reemplazo basada en el impacto de la prolificidad en los índices técnicos y económicos. La optimización de los índices técnicos y económicos han puesto de manifiesto un efecto significativo ($p < 0.05$), en las cinco poblaciones. También demostraron que los ingresos netos de los rebaños dependen fundamentalmente de los lechones destetados por cerda y que altas tasas de reposición serían compensadas económicamente por la tasa de lechones destetados.

Abstract

Prolificacy curves are modeled of Spanish, Danish and Cuban herd using a complex regression model with the size of the litter. Then, the curves obtained are used as input to an optimization model of replacement sows, calculating some technical and economic indices associated with these optimal replacement policies obtained. It is interesting to see how prolifically impacts optimal replacement policy and the comparison of different

genetic origins. The populations belonged to five different genetic origins for 53 farms: 24 Spanish, 19 Danish and 10 Cubans. Prolificacy curves were obtained and compared with delivery order while the four parameters that define them (Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 and Θ_4) were estimated. Also the parameters characterizing variance ($\text{Log } \tau^2$, and $\text{Log } \text{Log } \sigma^2$) were estimated. The parameters are obtained from the data of different events of the bristles and includes the following features: farm identification, identification of the sow, parturition and number of piglets born alive. The results allowed to compare prolificacy curves of the five populations, reflecting an increase of litter size about until the 3rd or 5th birth on average curves. A census structure was established for each population allowing a replacement policy based on the impact of prolificacy on technical and economic indices. The optimization of the technical and economic indices have shown a significant result ($p < 0.05$) in the five populations. They also showed that net revenues depends primarily on herds of weaned piglets per sow and high replacement rates would be compensated financially by the rate of piglets weaned.

Palabras claves: tamaño de camada, cerda, lechones

Key words: litter size, sow, piglet.

4.1 Introducción

La investigación de los distintos aspectos de la gestión de una explotación porcina se ha llevado a cabo a través de diferentes formas, la modelación matemática es una de ellas y se ha utilizado por varios países desde hace tiempo. Una revisión sobre ese tema está realizada por Plà (2007). Generalmente los modelos se desarrollan inicialmente con finalidades didácticas o de investigación. La aplicación práctica de estos modelos se suele realizar mediante su inclusión en aplicaciones informáticas. La mayoría de esas aplicaciones prácticas son sistemas informáticos de ayuda a la toma de decisiones. (Plà y Pomar, 2008).

En los últimos años, los programas de mejora de la especie porcina han hecho hincapié en la selección de los rasgos de fertilidad en líneas femeninas (Sorensen *et al.*, 2000). Un esfuerzo para mejorar el comportamiento productivo de las cerdas se ha dirigido a la selección por tamaño de camada (prolificidad) (Pettry *et al.*, 2004). Algunos estudios

han señalado a la prolificidad como el componente económico más importante de la función reproductora de las cerdas (Smith *et al.*, 1983; Tess *et al.*, 1983).

Otro aspecto, en el que la prolificidad a lo largo del orden de parto desempeña un papel importante es el establecimiento de políticas de reemplazo, para lo cual se han desarrollado modelos matemáticos como el propuesto por Toft y Jørgensen (2002), reducido por Kristensen y Søllested (2004a).

En la literatura hay algunas controversias 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). Varios autores coinciden en que las cerdas luego del 7mo u 8vo parto, aproximadamente, disminuyen su prolificidad (Yen *et al.*, 1987; Nikolic, 1988; Pfiffer *et al.*, 1989; Kertieva, 1990; Daza *et al.*, 1993; Edwards, 1998; Nocera y Fedalto, 2002).

El tamaño de la camada al nacimiento tiene una influencia importante en el rendimiento económico (Martínez-Giner *et al.*, 2008; Estany *et al.*, 2002), aunque los ingresos dependen de los lechones destetados, en lo que además influye la supervivencia durante la lactación. Teóricamente, cerdas muy jóvenes o muy viejas no tiene buenos rendimientos productivos, sin embargo el principal problema está en saber cuándo una cerda es vieja, el problema de tener cerdas muy jóvenes en la explotación es casi imposible de evitar, lo que se puede controlar es la edad al descarte. El objetivo del presente trabajo fue estimar y comparar curvas de prolificidad en rebaños, españoles, daneses y cubanos, procedentes de diferentes orígenes genéticos y evaluar el impacto de la prolificidad sobre la política de reemplazo.

4.2 Materiales y métodos

4.2.1 Estimación y comparación de las curvas de prolificidad

La muestra utilizada para el estudio fue de 53 granjas, se investigaron, 24 españolas, 19 granjas danesas y 10 cubanas, las 24 granjas Españolas procedían de tres orígenes genéticos diferentes (Tabla 1).

Tabla 1: Muestra de estudio.

Poblaciones	Procedencia	Clasificación	Granjas (U)
P1	España	Prolificidad Baja	7
P2	España	Prolificidad Media	7
P3	España	Prolificidad Alta	10
P4	Dinamarca	Prolificidad Danesa	19
P5	Cuba	Prolificidad Cubana	10

La estimación de las curvas de prolificidad se realizó para cada granja individualmente y por poblaciones, para lo que se empleó el modelo de optimización desarrollado por Toft y Jørgensen (2002). Los resultados, como parámetros, son obtenidos del registro de los diferentes eventos de las cerdas e incluye los siguientes rasgos: identificación de la granja, identificación de la cerda, número de partos y número de lechones nacidos vivos.

Para este estudio, vamos a pasar por alto la diferencia de tiempo entre camadas sucesiva y los intervalos entre partos se trataran como equidistantes. Los datos provienen de la Universidad de Lleida (UdL), España, del Centro Danés de Investigación y de la Universidad de Holguín, Cuba.

El modelo de regresión para la curva de prolificidad (Bono *et al.*, 2012) asume como variable explicada el tamaño de camada, es decir, el total de lechones nacidos. Para ello se dispone de los datos por cerda i en partos n . El modelo puede ser descrito por una variable continua subyacente Y_{in} que se expresa como:

$$Y_{in} = \mu n + A_i + M_{i(n)} + \epsilon_{in} \quad (1)$$

El término A_i , es el efecto combinado del genotipo y el medio ambiente, está representado por la variación entre las cerdas, pero es constante en el tiempo para la misma cerda, este modelo era a menudo sobre-parametrizado, por lo que Toft y Jørgensen (2002) encontraron que en un modelo que no tenga el tamaño de camada permanente (A_i), es mejor de acuerdo al Criterio de Información de Akaike (AIC).

Así que el modelo reducido utilizado para este análisis es el siguiente:

$$Y_{in} = \mu n + M_{i(n)} + \epsilon_{in} \quad (2)$$

El termino μn , denota una curva media de la granja, específico del tamaño de la camada. La curva media, que era originalmente descrito por Jørgensen (1992), es una combinación de una línea recta y una curva gaussiana. Es descrita por cuatro parámetros: Θ_1 (tamaño de la camada previsto al primer parto) (Bono *et al.*, 2012) Θ_2 (refleja la persistencia del tamaño de camada en las restantes paridades); Θ_3 (intercepto entre el efecto de la primera camada y la disminución media por paridad) y Θ_4 (que se puede interpretar como la disminución media en el tamaño de camada por orden de parto), (Toft y Jørgensen, 2002).

$$\mu n = -\Theta_1 \exp(-(n-1) \Theta_2) + \Theta_3 - \Theta_4 n \quad (3)$$

El termino $M_i(n) \sim N(0, \sigma^2)$, representa un proceso independiente, aleatorio y estacionario, en otras palabras, el efecto de la camada en el número de parto. Las series de tiempo auto regresivas se describen como:

$$M_i(n) = e - \alpha M_i(n-1) + e_n \quad (4)$$

Donde: $e_n \sim N(0, (1-e^{-2\alpha}) \sigma^2)$

El termino ϵ_{in} , representa independiente y mutuamente $N(0, \sigma^2)$ las variables aleatorias que describen a corto plazo la influencia aleatoria. Toda la estructura de la varianza, para el modelo reducido de tamaño de camada, es descrito por los tres parámetros: τ^2 , σ^2 y α . Los resultados de los parámetros del modelo Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 , y Θ_4 así como y los Log τ^2 (La varianza del log-transformado de la ϵ_{in}), Log σ^2 [La varianza del log-transformado de $M_i(n)$] y Log α (El log-transformado de la correlación parámetro función) descritos en Kristensen y Søllested (2004b) se usaran para representar las curvas media de prolificidad por orden de parto. La representación de los parámetros del modelo son descritos en Bono *et al.* (2012).

Para calcular los cuatro parámetros del modelo (Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 y Θ_4) y los tres que caracterizan la varianza (Log τ^2 , Log σ^2 y Log α) se utilizó el software R versión 2.9.2. Los resultados fueron comparados estadísticamente a través de un análisis de varianza, (Tabla 2). El modelo estima los tamaños de camadas para cada ciclo y granja y se obtiene gráficos de las curvas de prolificidad promedios e individuales, (Figuras 1).

Se comprobó que los cuatro parámetros que definen las curvas de prolificidad, 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, los resultados se expresaron en forma de gráficos, la normalidad se muestra mediante un diagrama Q-Q. (Gráficos de probabilidad normal) y la homogeneidad de la varianza a través de los gráficos de residuos contra valores ajustados. En las figuras 3 a la 12 del Anexo 1 se muestran los resultados de los dos tipos de gráficos para los parámetros.

Se desecharon las granjas que no cumplían con ambas condiciones, razón por la cual de 9 granjas de la población P1, 8 granjas de la población P2, 24 granjas de la población P4, y 18 granjas de la población P5, inicialmente investigadas, solo fueron incluidas en el estudio 7, 7, 19, y 10 granjas respectivamente, todas las 10 granjas de la población P3 cumplieron con ambos supuestos.

4.2.2 Impacto de la prolificidad en la política de reemplazamiento

Se estimaron índices técnicos y económicos, con el software MLHMP (Multi- Nivel Hierarchic Markov Process), explicado en Kristensen, (2004a,b). El uso del software está descrito en Kristensen, (2003). Los índices técnicos y económicos son: proporción de cerdas, desde el ciclo primero hasta el doceavo ciclo, empleada para graficar la estructura de las cinco poblaciones (Figura 2); porciento de cerdas a la primera cubrición; porciento de cerdas entre segundo y séptimo parto; tiempo promedio de estancia de las cerdas en la granja en años; porciento de reposición al año; partos por cerda en producción y año; días improductivos de las cerdas; intervalo entre partos; lechones destetados por cerda de baja; lechones destetados por cerda y año; tamaño promedio de la camada al destete; promedio de camadas producidas por cerda de baja e ingresos netos por cerda y por año. Los datos empleados para estimación de los índices técnicos se pueden dividir en dos grupos: aquellos que son iguales para todas las granjas (Anexo 2) y los que son individuales para cada granja, en este caso serían los que definen los tamaños de camadas, (Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 , Θ_4 , $\text{Log } \tau^2$, $\text{Log } \sigma^2$ y $\text{Log } \alpha$). Los índices técnicos se obtuvieron para cada granja individualmente, se realizó una comparación de las cinco poblaciones y para ello se empleó un análisis de varianza y la Prueba de Rangos Múltiples (DUNCAN), para la comparación de las medias.

4.3 Resultados y Discusión

En la tabla 2 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 (Bono *et al.*, 2012). La comparación estadística de los resultados, a través del análisis de varianza, refleja diferencias significativas ($p < 0.01$) en todos los parámetros.

El comportamiento de Θ_1 , es mejor significativamente para las poblaciones de P1 y P4, la de mayor y una de las dos de menor prolificidad, respectivamente, esto podría indicar que el efecto de la primera camada sobre las sucesivas camadas es más importante en poblaciones con prolificidades extremas, similar a los resultados obtenidos por Quintanilla y Babot (2008), que reflejaron un aumento de la camada al segundo parto, en rebaños donde la prolificidad del primer parto fue menor de 10 lechones aunque para camadas por encima de los 11 lechones ellos encontraron una disminución en el segundo parto, no obstante en este trabajo no se investigaron rebaños con prolificidades mayores de 13 nacidos vivos al primer parto, como ocurre en la P4 (Figura 1). En el caso de Θ_2 , que define la curvatura de la curva, el valor en la P4 es mayor, (Tabla 2) lo que supone un avance significativo para llegar al punto máximo de prolificidad. Esto explica también que tenga mayor media en los tamaños de las camadas desde el 2do hasta el 4to parto (Figura 1). Resultados análogos, en Bono *et al.* (2012), demuestran que entre mayor es el valor de este parámetro mayor será la curvatura y por consiguiente mayor el tamaño de la camada en segundo y tercer parto. El parámetro Θ_3 , que indica la posición relativa de la población en la escala de prolificidad, es mayor significativamente ($p < 0.01$) para la P4, tal y como ya apuntan los valores medios de prolificidad, prediciendo una mayor diferencia entre la prolificidad de la primera camada y las ultimas camadas, los resultados obtenidos por Bono *et al.* (2012) para dos rebaños tienen un comportamiento aproximado, el efecto de la primera camada sobre las ultimas se ha identificado como criterio para la selección genética dentro de programas de cría (Dewey *et al.*, 1995; See *et al.*, 1993).

En el caso de Θ_4 , parámetro que refleja la pendiente de la parte lineal, (Bono *et al.*, 2012) solo difiere significativamente ($p < 0.01$) en la población de P1, las escasas diferencias en este parámetro reflejan que aun en rebaños de distintos tamaños de camada como promedio, la disminución media en el tamaño de camada por orden de parto (Toft y Jørgensen, 2002) tienen una tendencia a ser relativamente constantes. Los resultados obtenidos parecen indicar que las diferencias en prolificidad de las poblaciones estudiadas se deben más a diferencias en el potencial prolífico (Θ_1) y en la velocidad de reacción después del primer parto (Θ_2) que en la persistencia a lo largo de la vida de la cerda (Θ_4) (Tabla 2).

Tabla 2: Parámetros estimados para los cinco tipos de poblaciones.

Parámetros	P1	P2	P3	P4	P5
θ_1	3,313($\pm 0,11$) ^{AB}	2,314($\pm 0,11$) ^D	2,525($\pm 0,167$) ^{CD}	3,758($\pm 0,19$) ^A	3,024($\pm 0,27$) ^{BC}
θ_2	0,103($\pm 0,006$) ^{BA}	0,129($\pm 0,004$) ^B	0,117($\pm 0,007$) ^B	0,323($\pm 0,024$) ^C	0,052($\pm 0,022$) ^A
θ_3	14,774($\pm 0,2$) ^B	14,725($\pm 0,2$) ^B	15,425($\pm 0,23$) ^B	18,245($\pm 0,21$) ^C	13,472($\pm 0,26$) ^A
θ_4	0,459($\pm 0,025$) ^A	0,343($\pm 0,026$) ^B	0,353($\pm 0,029$) ^B	0,289($\pm 0,029$) ^B	0,292($\pm 0,029$) ^B

A-B-C-D Letras diferentes reflejan diferencias significativas para $p\text{-valor} \leq 0,05$.

En la figura 1 se presentan los comportamientos de las curvas de tamaño de camadas, de todos los rebaños, de cada una de las poblaciones incluidas en el estudio, así como las curvas promedios, 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 en todas las granjas de P1, P2, P3 y P4, con un incremento de la prolificidad de primer a segundo parto, más marcado en la población con el promedio de prolificidad más alto (P4).

Las curvas de tamaño de la camada al nacimiento, obtenidas como promedio de las curvas estimadas para cada granja dentro de población, reflejan un aumento de los tamaños de camadas hasta el parto 3 en la P4, coincidiendo con la población cuyo porcentaje de cerdas entre segundo y séptimo parto es mayor (Tabla 3), en las poblaciones P1, P2 y P3 el incremento se alarga hasta el 4to parto, (Roehe y Kennedy, 1995; Noguera *et al.*, 2002a) afirman que el máximo tamaño de camada se alcanza habitualmente en el cuarto parto, aunque puedan registrarse diferencias entre distintas líneas comerciales (Moeller *et al.*, 2004) en la población P5 hay un aumento hasta el 6to parto, resultados similares a este son descritos por Kristensen y Søllested (2004b). El tamaño de la camada al primer parto es menor en P1, P2, P3 y P5; existiendo un aumento aproximado de 2 lechones en la P4, por encima de las restantes poblaciones, este incremento se mantiene constante en los sucesivos partos.

Puede observarse, además, como existen diferencias aparentes en la curvatura y pendiente de las curvas. En las granjas de P1, P2 y P3 las pendientes son menos evidentes así como en la P5 donde la pendiente es aún menor, lo que disminuye las diferencias de los tamaños de camadas en partos sucesivos, la pendiente de la curva de P4 es más manifiesta, por lo que se observa un aumento más significativo en las diferencias de los tamaños de camadas, en partos sucesivos, de esta población, la relación entre el tamaño de la camada al primer parto y partos sucesivos ha sido estudiada por diferentes autores, por ejemplo Roehe y Kennedy, (1995), Noguera *et al.*, (2002b) encontraron que los valores de heredabilidad para el tamaño de camada en partos sucesivos tiene tendencias crecientes, también Hanenberg *et al.* (2001), encontró un incremento ligero de los valores de heredabilidad hasta el sexto parto, en todos los casos los estudios se limitaron hasta el sexto parto.

Otra investigación como la realizada por Edwards (1997), demostró que hay influencia entre el número de nacidos en el primer parto y la productividad de la cerda en partos sucesivos, plantea que las cerdas con una media de 12 lechones nacidos vivos en el primer parto tienen de media en los partos sucesivos 11,5 (decrece) mientras que las cerdas con 9 lechones en el primer parto evolucionan a 10,5-11 (crece), hasta el 7mo u 8vo parto donde comienza a descender, sin embargo, en este trabajo, la P4 con una media de 14,3 lechones en el primer parto no tuvo un decrecimiento en el segundo, sino que incremento a 16,4 lechones.

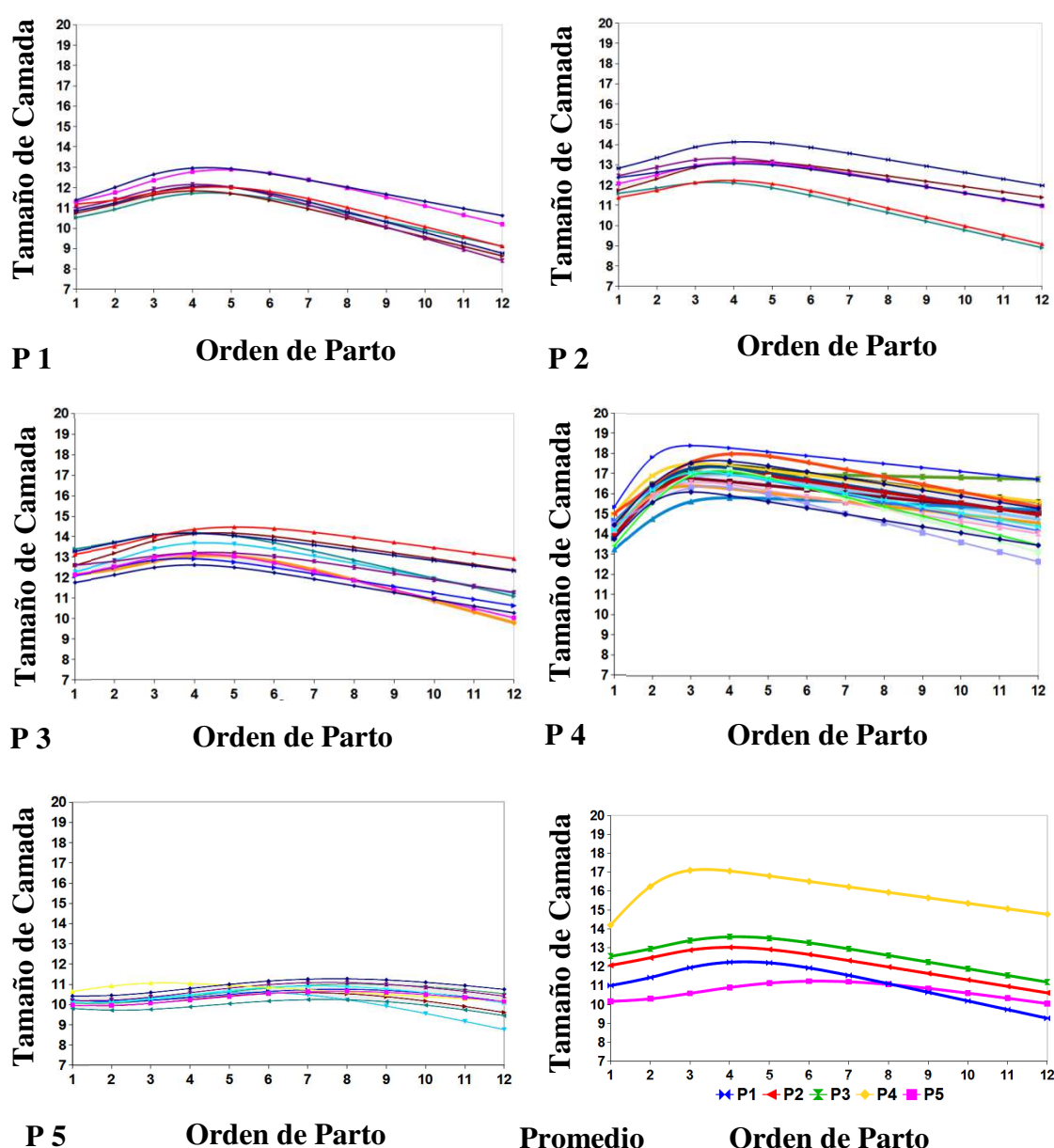


Figura 1: Curvas de prolificidad de las cinco poblaciones y sus promedios.

En un estudio realizado por Irgan *et al.* (1994) obtienen, para la raza Large White, un incremento de la media de lechones de 9,18; 9,86 y 10,58 en primero, segundo y tercer parto respectivamente, así otros autores como Dagorn y Anmaitre (1979), Pinheiro, *et al.* (2000), Nocera y Fedalto (2002) y Ribeiro *et al.* (2008) independientemente de la raza y las condiciones de crianza describen comportamientos muy similares en las curvas de prolificidad. Carvalho *et al.* (2005), observaron un aumento en el número total de lechones nacidos hasta el 5to ciclo, también Jørgensen (1992), sugirió que la curva que describe la media de la prolificidad debe aumentar para los tamaños de

camadas de las primeras 5-6 camadas y luego comenzar a disminuir y Koketsu (2005), refiere un comportamiento similar solo que en este caso la prolificidad comienza a disminuir en el 6to parto. En un estudio realizado por Holm *et al.* (2005) en el cual emplearon un modelo, basado en un enfoque Bayesiano, estimaron una correlación genéticas entre primero y segundo parto de 0,95 (0,02).

4.3.1 Optimización de la política de reemplazamiento: Índices técnicos y económicos

Los resultados de la optimización de los parámetros que definen las curvas de prolificidad y manteniendo constantes los restantes parámetros (Anexo 2) se usaron para calcular la proporción de cerdas en cada ciclo, permitiendo graficar la estructura censal de las cinco poblaciones (Figura 2) y para estimar índices técnicos y económicos (Tabla 3).

En los primeros 3 partos P4 y P5 tienen una estructura censal muy similar, así como en todos los ciclos para P1, P2 y P3; en el 2do ciclo las diferencias de las cinco poblaciones se reducen lo que evidencia un alto sacrificio de cerdas de primer ciclo en las poblaciones P1, P2 y P3; sin embargo entre el 5to y 7mo ciclo la población P4 tiene más porciento de cerdas y a partir del 8vo ciclo es la población P5 la que presenta mayor porciento de cerdas.

Porciento de cerdas

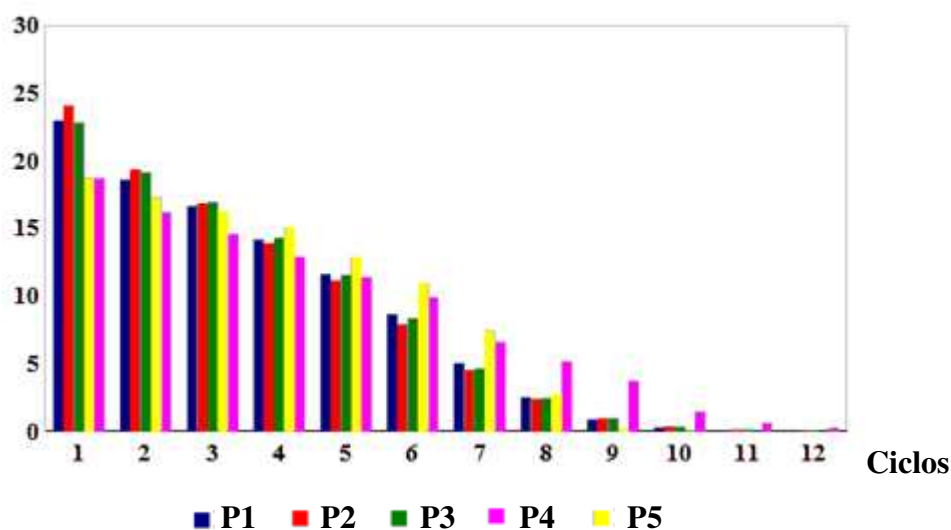


Figura 2: Estructura censal de las poblaciones.

El porciento de cerdas en primer ciclo para las poblaciones P1, P2, P3, P4 y P5 son: 22,96; 24,11; 22,83; 18,71 y 18,74 las del segundo ciclo son; 18,64; 19,34; 19,14; 17,29 y 16,24 (Figura 4) los que representa un índice de retención del primer ciclo de 81,76; 80,60; 84,10; 92,40 y 87,39 respectivamente.

En un trabajo realizado por Dijkhuizen *et al.* (1986) y Stein *et al.* (1990), plantearon que la productividad se ve afectada por altas tasas de muerte o descarte de madres, debido a la mayor presencia en el rebaño de hembras jóvenes, resultando en menores niveles de producción y un incremento de los días no productivos de la cerda, los resultados de la optimización coinciden también con los obtenidos por Koketsu (2005), que demostró que en poblaciones donde hay un mayor número de cerdas entre 2do y 6to 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.

La estimación de los índices técnicos, partiendo de esta estructura de rebaño y manteniendo constante los parámetros descritos en el Anexo 2; ponen de manifiesto diferencias significativas ($p < 0.05$) notables entre P4 y P5, no se encuentran diferencias significativas importantes en el rendimiento técnico esperado entre las tres poblaciones españolas (P1, P2 y P3), estos resultados son consistentes con los presentados con anterioridad, indicando que para estas tres poblaciones las diferencias encontradas en los parámetros que definen la curva de prolificidad (Θ_1 , Θ_2 , Θ_3 y Θ_4) no son suficientemente grandes, como para determinar cambios importantes.

Así también puede decirse que las diferencias en rendimiento técnico de P4 y P5 con respecto a P1, P2 y P3 son explicadas de forma mayoritaria por las diferencias en Θ_3 . Los porcentos de cerdas a la primera cubrición, son muy similares para P1, P2 y P3 y están por debajo en P4 y P5, no existiendo diferencias significativas entre estas dos poblaciones, similar ocurre en los porcentos de cerdas entre 2do y 7mo parto, también son próximos para P1, P2 y P3 y están muy por encima para P4 y por debajo en P5, lo que significa que en esta última, se sacrifican un mayor número de cerdas con un promedio de partos por encima del 8vo, los porcentos de cerdas entre 2do y 7mo parto son altos, están entre 70% y 80%, con mejor valor en P4, que difiere significativamente de las restantes poblaciones.

Así, Acero (2011) plantea que granjas productivas mantienen un 75% del censo entre los ciclos 2do y 7mo, mayor cantidad de cerdas primerizas y viejas producen menores tamaños de camadas y además las primerizas tienen más largos los intervalos destete-celo aumentando los días improductivos (Tabla 3), que en este trabajo son mayores en P4 y P5, lo que significa que estas granjas tendrán más pérdidas económicas por aumento de los gastos por cerda y año.

Según, Clowes (2007) los incrementos de los días improductivos hasta el 1er parto, pueden provocar disminuciones de hasta 0,35 partos y 3 lechones nacidos totales durante la vida productiva de una cerda, sin embargo P4 tiene los más altos niveles de lechones destetados por cerda y año, lo que parece compensar las pérdidas, siendo esta población la que más ingresos genera, por esta causa podemos afirmar que los resultados de este trabajo demuestran que los ingresos dependen fundamentalmente de los lechones destetados por cerda y año, aunque los restantes índices no estén dentro de los parámetros ideales.

Quintanilla y Babot (2008), afirman que el índice productivo principal de las granjas de cerdas es el número de lechones destetados por cerda y año, Mateos y Piquer (1994) y Daza (1995), declaran que el objetivo principal de una granja porcina de reproductoras, es producir el máximo número de lechones por cerda y año al mínimo coste, reflejando la relación tan estrecha entre ambos índices, P4 es la que más lechones desteta por cerda y año es y P5 la que menos, coincidentemente son las que menos cerdas reponen, sugiriendo que el tener bajas tasas de reposición puede ser ventajoso en rebaños con potenciales prolíficos muy altos pero puede ser muy perjudicial en rebaños con bajo potencial prolífico, los ingresos obtenidos corroboran estos resultados.

El porciento de reposición es más alto para P1, P2 y P3, teniendo en cuenta que el modelo asume que cualquier cerda que se encuentre por debajo de la media de la población debe reemplazarse. Muchas son las investigaciones del porciento de reposición de las cerdas, Babot y Quintanilla (2008) hacen una revisión sobre los porcentajes de cerdas eliminadas y sus causas, determinando que puede llegar a existir entre un 30 y 40 % de animales que son desechados por baja productividad o baja prolificidad.

En todas las poblaciones se sugiere el desecho de las cerdas por debajo de la sexta camada, (Tabla 3) aunque hay diferencias significativas ($p < 0.05$) entre ellas, las que mantiene más tiempo las cerdas en el rebaño son P4 y P5.

En una investigación realizada por Huirne *et al.* (1988), plantea que la vida económica máxima de las cerdas resulta ser de 10 partos, sin embargo estudios más recientes afirman que en granjas de alta producción, rara vez se permite que las cerdas permanezcan en el hato después de ocho ciclos y en general las cerdas se eliminan después de seis camadas, (Waddell, 2010) aunque dejar cerdas más allá del 8vo parto disminuirá el porciento de reposición, situación observada en la población P5.

El tiempo promedio de estancia de las cerdas en la granja relacionado con los partos por cerda en producción y año e intervalo entre partos, están estrechamente relacionados, (Tholen *et al.*, 1996; Quintanilla y Babot, 2008), así P5 es la población que peor comportamiento tiene, similar ocurre en la relación entre los lechones destetados por cerda de baja y el tamaño de la camada al destete (Babot y Quintanilla, 2008) en este caso P4 y P5 son las que más camadas por cerda de baja tienen y P4 si es la que más lechones desteta por cerda de baja, sin embargo P5 no difiere estadísticamente en cuanto a los lechones destetados por cerda de baja de P1, P2 y P3.

Tabla 3: Rendimiento técnico y económico estimado en las cuatro poblaciones estudiadas.

Índices	P1	P2	P3	P4	P5
Censo					
% Cerdas primera cubrición	22,96 ($\pm 0,85$) ^A	24,11 ($\pm 0,83$) ^A	22,83 ($\pm 0,53$) ^A	18,71 ($\pm 0,68$) ^B	18,74 ($\pm 1,02$) ^B
% Cerdas entre 2do-7mo parto	74,88 ($\pm 0,90$) ^B	73,67 ($\pm 0,82$) ^{BC}	74,98 ($\pm 0,56$) ^B	79,97 ($\pm 0,83$) ^A	71,76 ($\pm 1,20$) ^C
Tiempo de estancia (años)	1,76 ($\pm 0,07$) ^B	1,68 ($\pm 0,06$) ^B	1,77 ($\pm 0,04$) ^B	2,19 ($\pm 0,06$) ^A	2,2 ($\pm 0,12$) ^A
% Reposición al año	57,14 ($\pm 2,1$) ^A	59,98 ($\pm 2,1$) ^A	56,8 ($\pm 1,3$) ^A	46,58 ($\pm 1,7$) ^B	46,57 ($\pm 2,5$) ^B
Ritmo Reproductivo					
Partos por cerda en producción y año	2,49 ($\pm 0,00029$) ^A	2,49 ($\pm 0,00034$) ^A	2,49 ($\pm 0,00028$) ^A	2,49 ($\pm 0,00040$) ^A	2,48 ($\pm 0,00074$) ^B
Días improductivos por cerda	5,69 ($\pm 0,74$) ^A	4,72 ($\pm 0,67$) ^A	5,72 ($\pm 0,51$) ^A	10,42 ($\pm 0,83$) ^B	12,06 ($\pm 1,66$) ^B
Intervalo entre partos	146,71 ($\pm 0,016$) ^A	146,72 ($\pm 0,020$) ^A	146,71 ($\pm 0,017$) ^A	146,66 ($\pm 0,023$) ^A	146,92 ($\pm 0,044$) ^B
Productividad					
Lechones destetados por cerda de baja	46,67 ($\pm 1,68$) ^B	48,03 ($\pm 2,04$) ^B	52,08 ($\pm 1,69$) ^B	74,44 ($\pm 2,57$) ^A	51,2 ($\pm 2,78$) ^B
Lechones destetados por cerda y año	26,47 ($\pm 0,38$) ^C	28,58 ($\pm 0,49$) ^B	29,39 ($\pm 0,35$) ^B	33,9 ($\pm 0,35$) ^A	23,21 ($\pm 0,09$) ^D
Tamaño de la camada al destete	10,64 ($\pm 0,15$) ^C	11,49 ($\pm 0,2$) ^B	11,81 ($\pm 0,14$) ^B	13,62 ($\pm 0,14$) ^A	9,34 ($\pm 0,04$) ^D
Camadas por cerda de baja	4,39 ($\pm 0,16$) ^B	4,18 ($\pm 0,14$) ^B	4,4 ($\pm 0,10$) ^B	5,45 ($\pm 0,16$) ^A	5,48 ($\pm 0,30$) ^A
Ingresos					
Ing. netos por cerda y año (euros)	254,84 ($\pm 12,16$) ^C	321,83 ($\pm 16,49$) ^B	352,38 ($\pm 12,48$) ^B	512,88 ($\pm 12,49$) ^A	154,52 ($\pm 3,71$) ^D

A-B-C-D Letras diferentes reflejan diferencias significativas para $p\text{-valor} \leq 0,05$

4.4 Conclusiones

Se ha optimizado la productividad de rebaños con diferentes potenciales prolíficos y procedentes de diferentes países, centrando los estudios en el impacto de la prolificidad en la política de reemplazo de reproductoras porcinas, los resultados han demostrado que tanto el modelo como la aplicación diseñada para la estimación de los índices técnicos, son herramientas muy útiles y confiables, para analizar los resultados productivos de las granjas y pronosticar comportamientos de las reproductoras, así como establecer una política de reemplazo que se ajuste a las realidades de cada rebaño. Una política que permitiría mantener ingresos aceptables en los rebaños es desechar las cerdas desde su primera camada cuando la prolificidad sea inferior a la media del rebaño y evaluar, en ciclos sucesivos, aquellas reproductoras cuyos tamaños de camadas estén en la media, hasta definir en los primeros tres ciclos su permanencia o no en el rebaño, aquellas cerdas que desde su primer ciclo tienen elevadas prolificidades serán mantenidas en el rebaño hasta el 7mo ciclo, solo las cerdas que mantengan tamaños de camadas por encima de la media en el 7mo ciclo, pueden permanecer en el rebaño hasta el 8vo ciclo o más. También se ha demostrado 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.

4.5 Referencias

- Acero P (2011). Planificación y manejo de la explotación de ganado porcino. Tomo VI. Edición: Consejería de Agricultura y Ganadería. Disponible en: <http://www.jcyl.es/web/jcyl/binarios/606/820/PORCINO.pdf?blobheader>
- 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). Estimac o de parámetros 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. A review. Livestock Science. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2012.07.023> (06 de marzo 2013)
- 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.
- Clowes W, (2007). Sow and Boar Nutrition: Modern Nutrition for Modern Genotypes. Recent advances in animal nutrition 2006. 40th University of Nottingham Feed Conference, Sutton Bonington Campus, Nottingham, UK, 13-15 September 2006. Documento de conferencia. 289-312. Disponible en: <http://www.cabdirect.org/abstracts/20093112819.html;jsessionid=AEB8263F2825594965BC5A5869C30B20?gitCommit=4.13.20-5-ga6ad01a> (27 de febrero 2013)
- 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. A review. J. of Anim. Sci. 65: 285-290.
- Dagorn J, Anmaitre A (1979). Sow culling: reasons for and effect on productivity. A review. Livest. Prod. Sci. 6: 167-177.
- Daza A (1995). Explotaciones de ganado reproductor (I). Estrategias y gestión-técnico económica. Una revisión. Mundo Ganadero. 9: 48-56.

- 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. Una revisión. *Arch. Zootec.* 42 (159): 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. A review. *Prev Vet Med.* 23: 101-110.
- Dijkhuizen A, Morris R, Morrow M (1986). Economic optimization of culling strategies in swine breeding herds, using the "Porkchop" computer program. A review. *Prev. Vet. Med.* 4: 341-353
- Edwards S (1997). Management of Gilts, primiparous sows, multiparous sows and boars. XVIII Symposium Anaporc. Posted in magazine: *Anaporc* 181: 5-22.
- Estany J, Villalba D, Tibau J, Soler J, Babot D, Noguera J (2002). Correlated response to selection for litter size in pigs: I. Growth, fat deposition, and feeding behavior traits. A review. *J. Anim. Sci.* 80 (10): 2556-2565.
- Hanenbergh E, Knol E, Merks J (2001). Estimates of genetic parameters for reproduction traits at different parities in Dutch Landrace pigs. A review. *Livest. Prod. Sci.* 69: 179-186.
- Holm B, Bakken M, Vangen O, Rekaya R (2005). Genetic analysis of age at first service, return rate, litter size, and weaning-to-first service interval of gilts and sows. A review. *J. Anim. Sci.* 83 (1): 41-48.
- Huirne R, Hendriks T, Dijkhuizen A, Giesen G (1988). The economic optimisation of sow replacement decisions by stochastic dynamic programming. A review. *J. of Agri. Econ.* 39 (3): 426-438.
- Irgang R, Favero J, Kennedy B (1994). Genetic parameters for litter size of different parities in Duroc, Landrace, and Large White sows. A review. *J. of Anim. Sci.* 72: 2237-2246.
- Jørgensen E (1992). Sow replacement: reduction of state space in dynamic programming models and evaluation of benefit from using the model. A review. *Dina Research Report* 6: 1-21.
- Kertieva N (1990). The relationship of reproductive traits in sows with their birth weight. A review. *Zootekhnika*, 5: 73-75.

- Koketsu Y (2005). Within-farm variability in age structure of breeding-female pigs and reproductive performance on commercial swine breeding farms. A review. *Theriogenology* 63: 1256–1265.
- Kristensen A, (2003). A general software system for Markov decision processes in herd management applications. *Computers and Electronics in Agriculture* 38: 199-/215.
- Kristensen A, Søllested T (2004a). A sow replacement model using Bayesian updating in a three-level hierarchic Markov process I. Biological model. A review. *Livest. Prod. Sci.* 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. A review. *Livest. Prod. Sci.* 87(1): 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. *ITEA*. 104 (2): 89-93.
- Mateos G, Piquer J (1994). Programas de alimentación en porcino: reproductoras. X Curso de especialización FEDNA. Disponible en: <http://www.vet-uy.com/articulos/cerdos/050/0011/Pdf/011.pdf>
- 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. A review. *J. Anim. Sci.* 82: 41-53.
- Nikolic M (1988). Piglet mortality in the postnatal period. A review. *Pig news and information*. 13 (2): 187. Abst.
- Nocera P, Fedalto L (2002). A influência de fatores ambientais e de inseminação artificial sobre as características produtivas de suínos. Uma revisão. *Arch. Vet. Sci.* 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. A review. *J. Anim. Sci.* 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. A review. *J. Anim. Sci.* 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. A review. *J. Anim. Sci.* 82: 1895-1902.
- Pfiffer H, Lengerken G, Von G, Bergmann M, Fabian S, Thierbach G (1989). Fruchtbarkeit und Mastleistung von Schweinen bei verschiedenen Endstufenanpaarungen in Hybridzucht programam. Eine Überprüfung. *Tierzucht.* 43: 271-272.
- 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. *Rev. Caatinga*, 13: 19-26.
- Plà L (2007). Review of matehmathical models for sow herd Management. A review. *Livest. Prod. Sci.* 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 pp.
- 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 pp.
- Ribeiro J, Carvalho L, Sousa K, Nepomuceno R (2008). Prolificidade de fêmeas suínas nacidade de fortaleza, Ceará, Brasil. Uma revisão. *Arch. Zootec.* 57 (220): 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. A review. *J. of Anim. Sci.* 73: 2959-2970.
- Rydhmer L, Lundeheim N, Johansson K (1995). Genetic parameters for reproduction traits in sows and relations to performance test measurements. A review. *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. A review. *J. of Anim. Sci.* 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. A review. J. of Anim. Sci. 56: 1306-1314.
- Sorensen D, Vernerisen A, Andersen S (2000). Bayesian analysis of response to selection: a case study using litter size in Danish Yorkshire pigs. A review. 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. A review. J. of Anim. Sci. 68: 1841-1847.
- Stein T, Dijkhuizen A, D'Allaire S, Morris R (1990). Sow culling and mortality in commercial swine breeding herds. A review. Prev. Vet. Med. 9: 85-94.
- Tess M, Benett G (1983). Dickerson, G. Simulation of genetic changes in life cycle efficiency of pork production. II. Effects of components on efficiency. A review. J. of Anim. Sci. 56: 354-368.
- Tholen E, Bunter KL, Hermes S, Graser HU (1996). The genetic foundation of fitness and reproduction traits in Australian pig populations .2. Relationships between weaning to conception interval, farrowing interval, stayability, and other common reproduction and production traits. A review. Australian Journal of Agricultural Research 47: 1275-1290.
- Toft N, Jørgensen E (2002): Estimation of farm specific parameters in a longitudinal model for litter size with variance components and random dropout. A review. Livest. Prod. Sci. 77: 175-185 pp.
- 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.
- Yen H, Isler G, Harley W (1987). Factors affecting reproductive performance in swine. A review. J. Anim. Sci. 64: 1340-1348.

4.6 Anexos

4.6.1 Anexo 1: Gráficos de normalidad y homogeneidad de los parámetros del modelo.

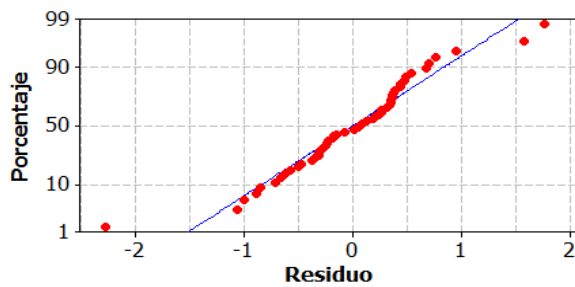


Figura 3: Gráfico de probabilidad de normal parámetro θ_1 .

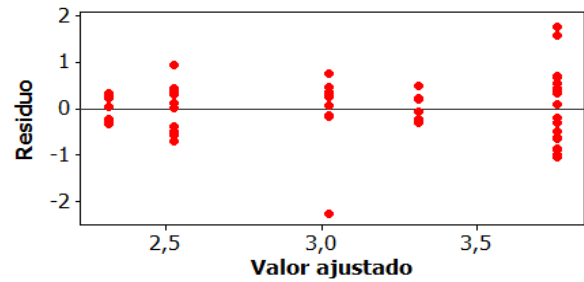


Figura 4: Gráfico de residuos contra valores ajustados parámetros θ_1 .

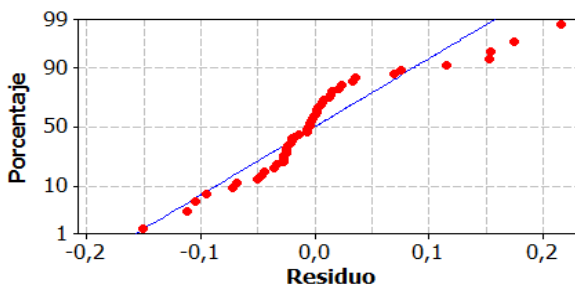


Figura 5: Gráfico de probabilidad Normal parámetro θ_2 .

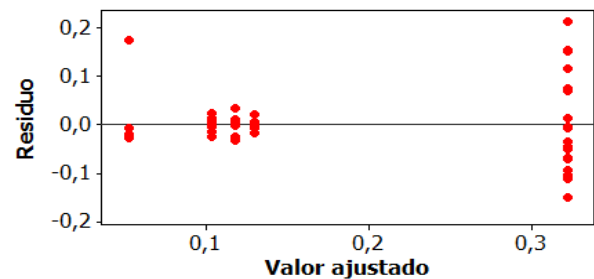


Figura 6: Gráfico de residuos contra valores ajustados parámetro θ_2 .

4.6.1 Anexo 1. Gráficos de normalidad y homogeneidad de los parámetros del modelo (continuación).

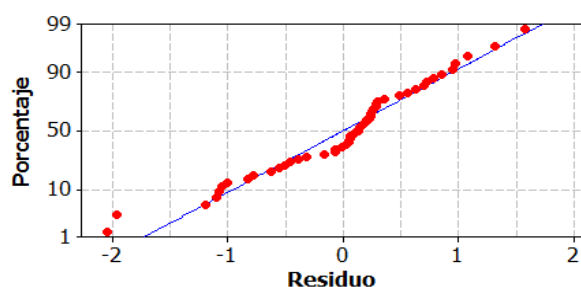


Figura 7: Gráfico de probabilidad Normal parámetro θ_3 .

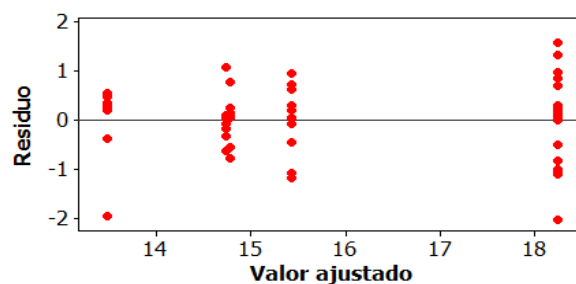


Figura 8: Gráfico de residuos contra valores ajustados parámetro θ_3 .

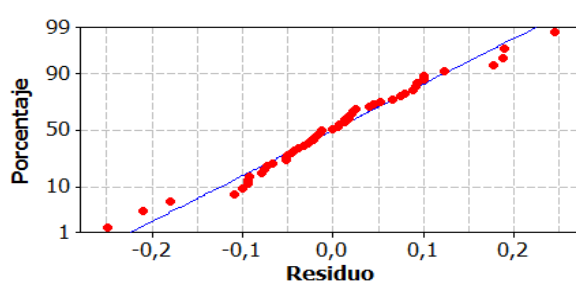


Figura 9: Gráfico de probabilidad Normal parámetro θ_4 .

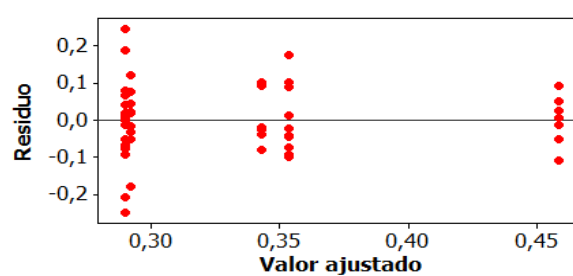


Figura 10: Gráfico de residuos contra valores ajustados parámetro θ_4 .

4.6.2 Anexo 2. Tabla 4: Parámetros constantes del modelo.

Parámetros constantes	Valor	Parámetros constantes	Valor
Número de ciclos reproductivos	12	Tasa de baja Beta_0 Ciclo 0	-2,4776
Mínimo número de cubriciones	1	Tasa de baja Beta_1 Ciclo 0	-0,00567
Máximo número de cubriciones	5	Tasa de baja Beta_2 Ciclo 0	0,00024
Número de tipos de machos alternativos	1	Tasa de baja Beta_0 Ciclo 1	0,67754
Edad mínima al destete	3	Tasa de baja Beta_1 Ciclo 1	-0,477941
Edad Máxima al destete	5	Tasa de baja Beta_2 Ciclo 1	0,015606
Número de clases productivas potenciales	21	Tasa de baja Beta_0 Ciclo 2	1,51142
Clase más pequeña	0	Tasa de baja Beta_1 Ciclo 2	-0,47986
Clase más grande	19	Tasa de baja Beta_2 Ciclo 2	0,013538
Peso cría ciclo 1	157	Tasa de baja Beta_0 Ciclo 3	1,627738
Peso cría ciclo 2	181	Tasa de baja Beta_1 Ciclo 3	-0,47482
Peso cría ciclo 3	205	Tasa de baja Beta_2 Ciclo 3	0,012314
Peso cría ciclo 4	219	Tasa de baja Beta_0 Ciclo 4	2,01825
Peso cría ciclo 5	236	Tasa de baja Beta_1 Ciclo 4	-0,64788
Peso cría ciclo 6	252	Tasa de baja Beta_2 Ciclo 4	0,021354
Peso cría ciclo 7	259	Tasa de baja Beta_0 Ciclo 5	2,66409
Peso cría ciclo 8	267	Tasa de baja Beta_1 Ciclo 5	-0,594447
Peso cría ciclo desde 9 al 16	270	Tasa de baja Beta_2 Ciclo 5	0,018823
Consumo diario en inseminación	3,75	Tasa de baja Beta_0 Ciclo 6	2,66409
Consumo diario en gestación semana 1-4	2	Tasa de baja Beta_1 Ciclo 6	-0,594447
Consumo diario en gestación semana 5-12	2	Tasa de baja Beta_2 Ciclo 6	0,018823
Consumo diario en gestación semana 13-16	3	Tasa de baja Beta_0 Ciclo 7	2,66409
Consumo diario en gestación, últimos días	2,25	Tasa de baja Beta_1 Ciclo 7	-0,594447
Consumo por lechón, semana 3	0,03	Tasa de baja Beta_2 Ciclo 7	0,018823
Consumo por lechón, semana 4	0,12	Tasa de baja Beta_0 Ciclo 8	2,66409
Consumo por lechón, semana 5	0,6	Tasa de baja Beta_1 Ciclo 8	-0,594447
Precio pienso cubrición	2	Tasa de baja Beta_2 Ciclo 8	0,018823
Precio pienso gestación	2	Tasa de baja Beta_0 Ciclo 9	2,66409
Factor de reducción por crías enfermas	0,7	Tasa de baja Beta_1 Ciclo 9	-0,594447
Tasa de concepción básica	0,921	Tasa de baja Beta_2 Ciclo 9	0,018823

4.6.2 Anexo 2. Tabla 4: Parámetros constantes del modelo. (Continuación).

Parámetros constantes	Valor	Parámetros constantes	Valor
Tasa de baja Beta_0 Ciclo 10	2,66409	Tasa de concepción ciclo_15	0,8
Tasa de baja Beta_1 Ciclo 10	-0,594447	Tasa de concepción ciclo_16	0,8
Tasa de baja Beta_2 Ciclo 10	0,018823	Precio pienso lactación	2
Tasa de baja Beta_0 Ciclo 11	2,66409	Precio pienso lechones	3
Tasa de baja Beta_1 Ciclo 11	-0,594447	Precio lechón vendido	249
Tasa de baja Beta_2 Ciclo 11	0,018823	Precio cría reposición	1704
Tasa de baja Beta_0 Ciclo 12	2,66409	Precio por kg cría vendida	6,01
Tasa de baja Beta_1 Ciclo 12	-0,594447	Precio inseminación artificial	150
Tasa de baja Beta_2 Ciclo 12	0,018823	Repetición 1	-0,03
Tasa de baja Beta_0 Ciclo 13	2,66409	Repetición 2	-0,06
Tasa de baja Beta_1 Ciclo 13	-0,594447	Repetición 3	-0,09
Tasa de baja Beta_2 Ciclo 13	0,018823	Repetición 4	-0,12
Tasa de concepción ciclo_1	0,963	Mortalidad lechones, primer parto	0,1
Tasa de concepción ciclo_2	0,967	Mortalidad lechones resto de partos	0,128
Tasa de concepción ciclo_3	1	Efecto sobre precio lechones	0
Tasa de concepción ciclo_4	0,987	Efecto sobre tasa de concepción	1
Tasa de concepción ciclo_5	0,967	Efecto sobre precio Inseminación	100
Tasa de concepción ciclo_6	0,976	Efecto sobre precio lechones	0
Tasa de concepción ciclo_7	1,015	Término constante	2,192
Tasa de concepción ciclo_8	0,962	Efecto lineal de la paridad	0,297
Tasa de concepción ciclo_9	0,8	Efecto cuadrático de la paridad	-0,022
Tasa de concepción ciclo_10	0,8	Efecto lineal del tamaño de la camada	0,224
Tasa de concepción ciclo_11	0,8	Efecto cuadrático del tamaño de camada	-0,008
Tasa de concepción ciclo_12	0,8	Efecto lineal de la edad del destete	0,015
Tasa de concepción ciclo_13	0,8	Efecto lineal de la ganancia de peso durante el embarazo	-0,007
Tasa de concepción ciclo_14	0,8		

CHAPTER 5

A SIMULATION MODEL FOR PIGLET PRODUCTION

Abstract

A discrete event simulation model capable of representing the dynamics of pig production system from a three site system to a farrow-to-finish sow farm is presented in contrast with other approaches. To highlight relevant aspects of the model a real application for planning pig production is considered. The main contribution of the model is the flexibility in the organization of production ranging from a single sow farm to a number of them, as actually is done in practice. These features allow the model to measure the discrepancy with other approaches and comparing different reproductive management strategies and production systems in a more realistic way. Individual characteristics of animals, seasonal and livestock parameters are considered. Furthermore, the implementation in ExtendSim allows potential users to perform efficiently different kinds of analyses as well as a more detailed study of results recorded in MSExcel spreadsheets. The model presented is the result of a close collaboration between animal science scientist and mathematicians and we were able to use real field data from Cuba.

Keywords: model, simulation, litter, sow farm, ExtendSim.

5.1 Introduction.

Many software programs for pig farm management based on different herd management models have been developed and introduced for on-farm use, but they have not been widely used [6,8]. It is recognized there are farm management areas where decision tools are less developed, especially when tactical and strategic decisions are involved. This is a surprising fact, taking into account that strategic decisions are important for farm viability. Maybe the complexity of past modelling approaches beside the simplicity required in getting the big decisions right and making correctly the major tactical adjustments is the reason [15].

Classical livestock models for sow farms have been focused on individual farm and mainly based on static (or stationary) and deterministic or probabilistic models [18]. Intensive livestock models turn around the representation of the reproduction process in a breeding herd. In a sow farm, the herd is compounded by a number of sows in different reproductive stages. Usually, operations in sow farms are ordered by three main reproductive stages: breeding, gestation and lactation, so average time intervals associated to them are essential for planning pig production [20] and housing facilities [17]. Recent studies [22] shows the importance of sow herd structure on farm performance and how this structure is determined by the replacement policy of sows in the herd.

The use of simulation in the sow herd management has focused primarily on providing accommodation. For example, Singh [24] proposed a simulation model to select the optimum capacity of swine production facilities considering batch management. Subsequently, Lippus, [11] adapted a previous model of the Markov chain, developed by Jalvingh, [7], to support the strategic planning of accommodation facilities. They considered the immediate replacement of sows constant herd size and management weekly. Subsequently Plà, [19] presented semi-Markov model representing a more appropriate approach to the design and dimensioning of sow herds. More recently, Plà, [17] presented a model to solve the design of housing facilities emphasizing management alternatives. Few proposals are related to the confrontation of farm management strategies. A first model to determine the optimal duration of breastfeeding was proposed by Allen and Stewart [1]. Later, Plà, [20] and Martel, [13] emphasized on management alternatives related to managing batch and multi-site systems, for production planning.

Simulation models are more flexible and especially interesting when representing usual management practices that can be hardly took into account in structured mathematical programming models. For instance, weekly activities on farm like insemination, heat detection, control of pregnancy, fostering piglets to balance litters, the weaning of piglets at a fixed day week or managing sows in batches are more easily took into account by simulation than by optimization models.

On the other hand, the pig production system is evolving towards a progressive concentration in larger and more specialized and efficient production units while family-based farms are less and less common [22]. This evolution from a single farm to a multiple farm system is different depending on the country and the maturity of the sector and it is accompanied by an increase in the scale and degree of technical specialization involving e.g. climate control, automatic feeding systems and animal identification devices. Hence, depending on market conditions one system or another maybe recommended. To explore different alternatives and providing wise advices a simulation model capable of representing from a single sow farm to a multiple site system is proposed in this study.

5.2 The piglet production system.

Few years ago, pig production was held in one farm, the so called farrowing-to-finish farms. Nowadays, specialization and disease problems have led to a different production framework adopted progressively all over the world. Farms are organized in what can be called a pork supply chain [22]. Then, the same ownership have one or more sow farms producing piglets, rearing farms and fattening farms or any combination of them. This specialization gives additional efficiency gains as Rowland [23], pointed out and it is widely extended within the pig industry.

In this context, sow herd dynamics is central for the production process. Associated confinement facilities are additional variables affecting optimal production of the farm itself but also downstream in the pork supply chain (i.e. rearing and fattening farms, even slaughterhouses). Normally, confinement facilities consist of a service facility, a gestation facility and a farrowing facility with multiple farrowing rooms for better disease and parasite control.

All facilities may be housed in one or in several buildings. While service and gestation facility are flexible in terms of maximum capacity, farrowing facilities are more expensive and have a fixed capacity. This is important because it is a real constraint on the maximum production attainable by a farm. Uniformly during the reproductive cycle sows are culled for different reasons, and the size of batches are completed after

weaning in the service facility with replacement gilts. Culled sows can remain on the farm until they are sent to the slaughterhouse. Culled or dead sows can be replaced immediately, but usually after some farm specific delay. Replacement gilts and sows are generally kept in the service facility to be inseminated. They are moved from service to gestation facility when pregnancy is confirmed, if not, they remain to be reinseminated. Gilts and sows in the gestation facility belonging the same batch are moved into the farrowing room approximately once per week before parturition.

To synchronize the breeding and farrowing of a group of sows, all litters from a farrowing room are weaned simultaneously and are sent to the nursery or sold. The sows, after weaning, are sent back to the service facility. The farrowing room is cleaned, sterilized and closed for a drying period. After the drying period, the room is ready to receive the next batch of sows.

Daily operations in a sow farm are scheduled weekly in commercial farms and the management of sows in batches allows the rationalization of tasks. This way work force is more efficient. For instance, matings or inseminations are performed on Tuesday and Wednesday, weaning of piglets is done on Thursday and Friday and heat control and gestation detection on Monday. This planning of activities rarely is taken into account by livestock models and even they represent a lot of complexities for a structured mathematical modeling approach. However, the impact of changes in reproductive management or the comparison of management alternatives should consider these aspects of extreme practical importance.

5.3 Model formulation.

Our formulation is focused on a sow herd model adapted from a semi-Markov decision model presented by Plà [17]. In that model, sows move from one state to another through transitions. The embedded process is represented as a Markovian decision model defined by the following elements: states S in which sows can be observed (usually, these states are related to reproduction states), actions A that farmer can take at each stage, transition probabilities for sows evolving from one state to another and the reward function representing the profit (positive or negative) associated to each

transition. States and actions are finite sets. In a infinite planning horizon, $\Omega = \{S \times A\}^\infty$ represents the set of all possible system paths ω , i.e. all possible sequences of states and actions, $\omega = (i_1, a_1, i_2, a_2, \dots, i_n, a_n, \dots) \in \Omega$. The sequence of actions is the result of a policy or strategy D .

For each stationary policy, D , $P^D = (p_{ij}^D)$ is the transition matrix representing transitions of sows from one state $i \in S$ to another $j \in S$ when policy D is adopted by the farmer. The time period between states is coincident with the time period between actions and it is called stage. Future states S are defined as being only conditioned by the present state and not by the manner to which the present state is reached (Markovian property).

The reward function, r , represents the farmer's preferences in a decision theory context and it can be used in the design of a performance criterion, like the total return expected after n transitions from the initial state i , as follows:

$$B_n^D(i) = r_i^D + \sum_{j \in S} p_{ij}^D B_{n-1}^D(j), \quad (1)$$

where the reward function r_i^D is the expected net return from a sow in the i -state when policy D is adopted. Therefore, the dynamics of a herd under any given policy can be represented as a finite irreducible and aperiodic Markov chain. The expected distribution at equilibrium, $\Pi^D = (\pi_1^D, \pi_2^D, \dots, \pi_{|S|}^D)$, is calculated solving the following linear system of equations:

$$\begin{aligned} \pi_j^D &= \sum_{k \in S} \pi_k^D p_{kj}^D & j \in S \\ \sum_{j \in S} \pi_j^D &= 1, \end{aligned} \quad (2)$$

where: p_{kj}^D represents the transition probability for a sow to pass from state k to state j . D is the management strategy of the farmer and $\{ \pi_j^D, j \in S \}$ represents the distribution at equilibrium of the embedded process when policy D is adopted by the farmer.

Because the farmer's policy is unique and stable for a long period of time in accordance with the stationary assumption for policies, the transition matrix is unique, once the deterministic policy has been set (then, from now on the symbols of policy and actions will be dropped in the notation). Moreover, stages are intervals of different times, depending on the current state of sows and therefore a new group of parameters have to be added. The average time between transitions, τ_i , is the expected time in days that sows spend in state i , $i \in S$. As result the model becomes a semi-Markov chain where steady-state distribution can be easily calculated. Calculations can be performed in two steps; the first one using (1), and the second one accounting for the average time between transitions:

$$\pi_j^* = \pi_j \tau_j \quad j \in S. \quad (3)$$

Final limit herd distribution over states, $\{\pi_j^*, j \in S\}$, is obtained after normalizing the vector derived from (2).

The previous model as described provides the basic pattern from which the simulation model was developed. The simulation model is based on the aggregation of individual sow performances simulated over time. Each sow is represented individually and owing their specific parameters sampled from the general parameters of the farm. Hence, additional parameters and productive thresholds are introduced into the original semi-Markov model to better represent usual reproductive management in actual sow farms.

5.4 Model implementation.

The simulation model was implemented in ExtendSim, an interactive simulation tool with scenario management facilities [10]. The ExtendSim simulation environment provides the tools for all levels of modelers to create accurate, credible, and usable models in an efficient way. ExtendSim was chosen because it facilitates every phase of the simulation project, from creating, verifying, and validating the model, to the construction of a user interface which allows others to analyze the system. An additional advantage for developers is the ExtendSim's built-in, compiled language, ModL, to create reusable modeling components.

All of this is done within a single, self-contained software program that does not require external interfaces, compilers, or code generators. Model structure is presented in Figure 1. The block of general parameters and this of the farm are hierarchical blocks, that is, they are built from other blocks. All of them are tailored made blocks that can be complemented with standard ones as the Plotter I/O block.

For instance, the block of parameters contains six blocks each one representing a set of parameters affecting herd dynamics: casualties, conception, abortion, lactation management, economic issues and technical issues. This block opened is shown on the left of Figure 1 while the block highlighted over is the aspect of this hierarchical block in the standard form (closed).

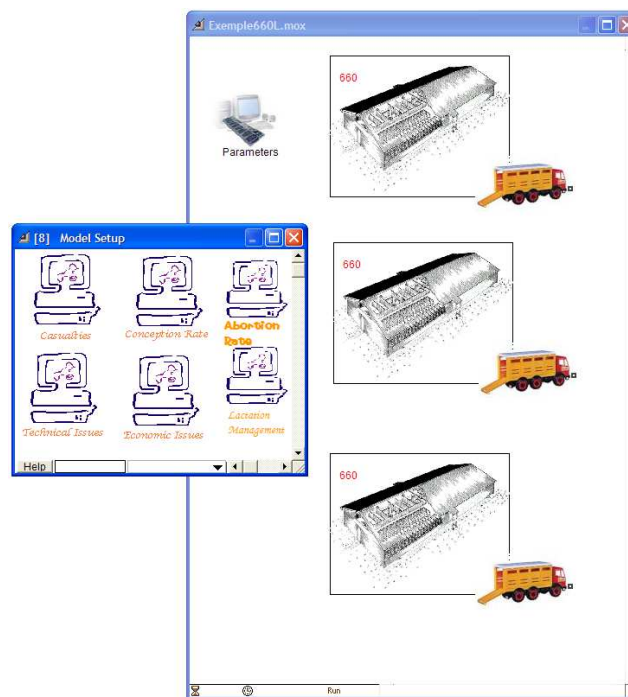


Figure 1: General Model Structure

The block of the farm contains blocks representing each individual sows in a crate (Figure 2), one for each animal that can be housed in. For an easier handling, sows can be grouped in batches of different size.

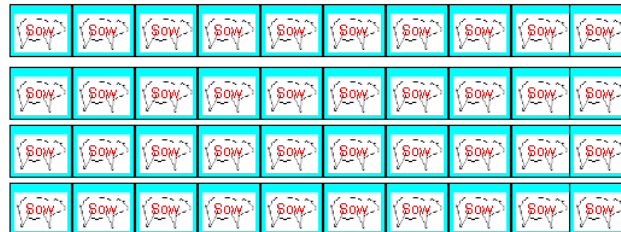


Figure 2: Contents of the Farm Model.

Hierarchical blocs are elements that can be added to the model in number equal or greater to one. For instance, Figure 1 shows how a hypothetical company of three farms could be represented. Each farm can be customized in terms of number of sows and individual parameters ruling the reproduction process. In fact this model is a refinement of that presented in Plà [20]. Main differences are concerning the new set of parameters included to better represent a wide range of management alternatives. These alternatives allow to consider batch management of sows, weekly operations on the far and introduce capacity constraints in some facilities. This way, practical problems in the real implementation of management strategies are better detected and analyzed.

5.5 Verification.

According to Kleijnen [9], the model was verified comparing final simulation outputs with analytical results. From (1) and (2) herd structure at equilibrium can be derived and compared with simulation outputs. For this purpose the complete version of the simulation model was used, but selecting only those compatible parameters detailed in Appendix A. In Table 1 sow herd distribution over main states is presented while in Table 2 it is presented by reproductive cycle.

Table 1: Herd Distribution over Main States (Herd Size: 300, Time Simulated: 10000 Days)

Facility	Simulated result			Analytical result
	t=1000	t=5000	t=10000	
Open	45	22	32	32
Gestation	209	257	237	237
Lactation	46	21	31	31

Verification process was automatized by developing a specific block. This block monitored and stored the sow herd composition at any time beyond the warm-up period. Run length was of 10.000 days and the last 1.000 were used to calculate average herd distribution and compared with analytical results. Given herd structure as a distribution, the chi-square test was used to measure if the observed steady-state is equal to the known (analytical) herd structure at equilibrium. Convergence was analyzed in this way to study initialization bias and Chi-square distance was used to measure the proximity of both results (simulated vs analytical). The model always reproduced the analytical results with enough precision (Table 2).

Table 2: Herd Distribution by Reproductive Cycle (Herd Size:300, Time Simulated: 10000 Days)

Cycle	Simulated result			Analytical result
	t=1000	t=5000	t=10000	
1	212	208	206	206
2	63	57	60	64
3	20	26	22	20
4	3	9	10	6
5&more	2	0	2	4

5.6 Case study.

In order to assess the suitability and to measure possible advantages of the simulation model proposed in planning swine facilities, a comparison was established between this new stochastic approach and deterministic ones through a sample farm. Thus, a group of parameters satisfying the needs of both methodologies was set. These parameters represent the management policy related to facilities and production level that the farmer wants to implement or achieve.

The data on biological production parameters used in this paper were inspired from computerized records of Bd-Porc databank [3], the main Spanish pig information system and from literature. All parameters used in this case example and described below are presented in Appendix B.

5.6.1 Case Parameters.

Nowadays, we can consider about 600-700 sows as a reasonable size of a sow farm producing piglets in Spanish conditions. For the example, the number of sows were fixed at 660. Facilities involved were service, gestation and lactation. All gilts were purchased from outside and moved into the service facility waiting the first insemination two weeks after; home-grown sows are not represented in the model, since they are rare in commercial Spanish conditions. The sojourn time in service facility was fixed at a minimum of 21 days post-fertile insemination. Overall occupancy would range from 35 to 39 days, after which sows were moved to gestation dependencies. One week before farrowing, sows were moved to farrowing dependencies; as a result they had been in the gestation facility for 79 days (assuming gestations of 114 days). Lactation was fixed at 21 days, so that the total time interval in this facility was 35 days, including a drying period of one week. Finally, after weaning, sows reentered service dependencies and batches were completed when needed. Culled sows were not immediately sent to the slaughterhouse, a time period depending on the last state visited before culling was considered. The nutritional effects on reproduction are taken into account through the reproductive parameters.

The model assumed 11 cycles as the maximum number of reproductive cycles. The average of time intervals for each reproductive state was considered; these parameters are assumed to be independent of the reproduction cycle.

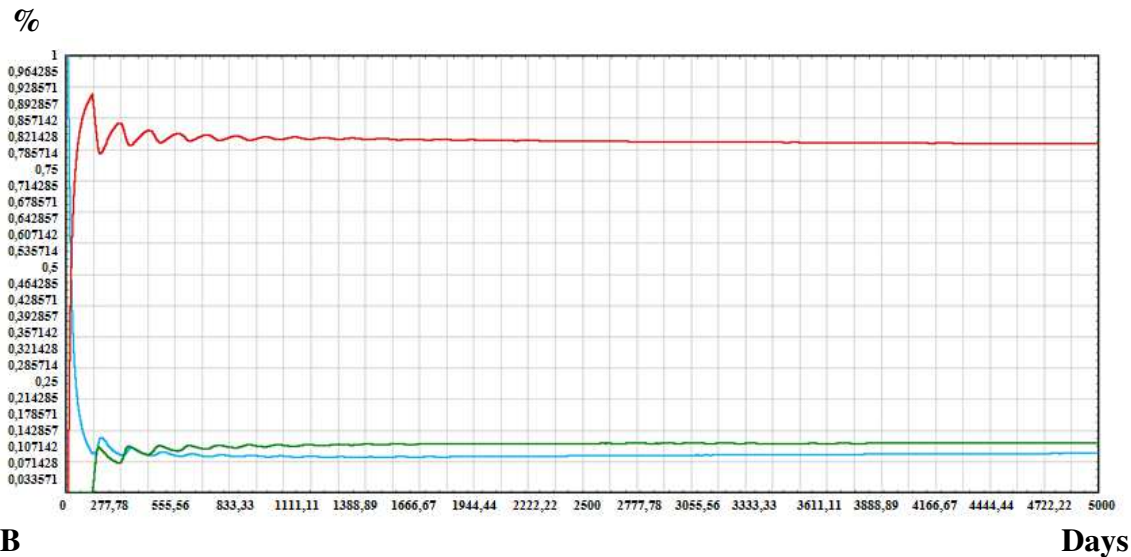
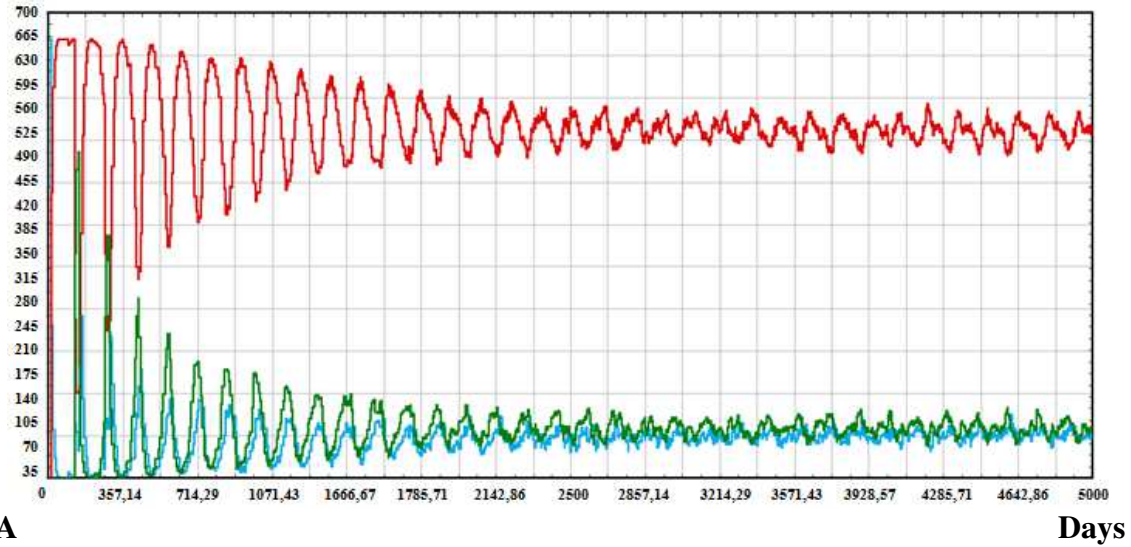
Marginal probabilities for conception rates can be affected by the number of unsuccessful inseminations and by the reproduction cycle. Conception rates are expressed in relation to all matings per cycle. Abortion marginal probabilities are also specific for each reproduction cycle, whereas culling marginal probabilities are specific for each reproduction cycle and state. Only conception rates for first, second and third inseminations are given because it is very unusual to find farms with more than two inseminations per cycle. A culling rate of 100% in the last cycle and state has been established as ending of the sow lifespan. Verification process was automatized by developing a specific block. This block monitored and stored the sow herd composition at any time beyond the warm-up period. Run length was of 5000 days.

5.6.2 Results and discussion of the case study.

The results of the simulation are addressed in two ways: the sows, where he found the herd structure and occupation in each state and piglets, where are those results that characterize the production performance of the flock: live births per litter, weaned, litters weaned per farrowing and parturition, these results can be obtained in two ways: 1) through graphics, which are created according to the calculations which are meant and 2) text files, containing the results daily, weekly and annual of sows and piglets the day.

The flock structure on each status by sows amounts, is shown in Figure 3 (A) for a simulation using the parameters obtained from the case study, for the same simulation, in Figure 3 (B) the ratios are observed, allowing to find an easier way to calculate the percent of sows on each day by states; note that at the start of the simulation all sows are empty and are mated in a short period of time which causes a sudden increase of engendered sows, from 122 days sows begin to exist in the state of lactation.

Total



— Open — Gestated — Lactating

Figure 3: Sows by state A- Total and B- Proportion.

The ease way of obtaining these data allows knowing a daily flow of occupation of the premises. It is of great importance the knowledge of the number of sows to be every day in every state for farm planning purpose, sanitary tasks may be programmed as well, an example of this planning was described by Plà [16]. Another advantage of the model is that solutions are achieved fast [21] the results of the simulation can be analyzed statistically, meaning the results can be drawn from the generated text files and compares technical and economic indices; for example a multivariate analysis of variance was done, where the dependent variable was the effectiveness of first insemination and the sources were: number of simulations (10) years (3) and cycles

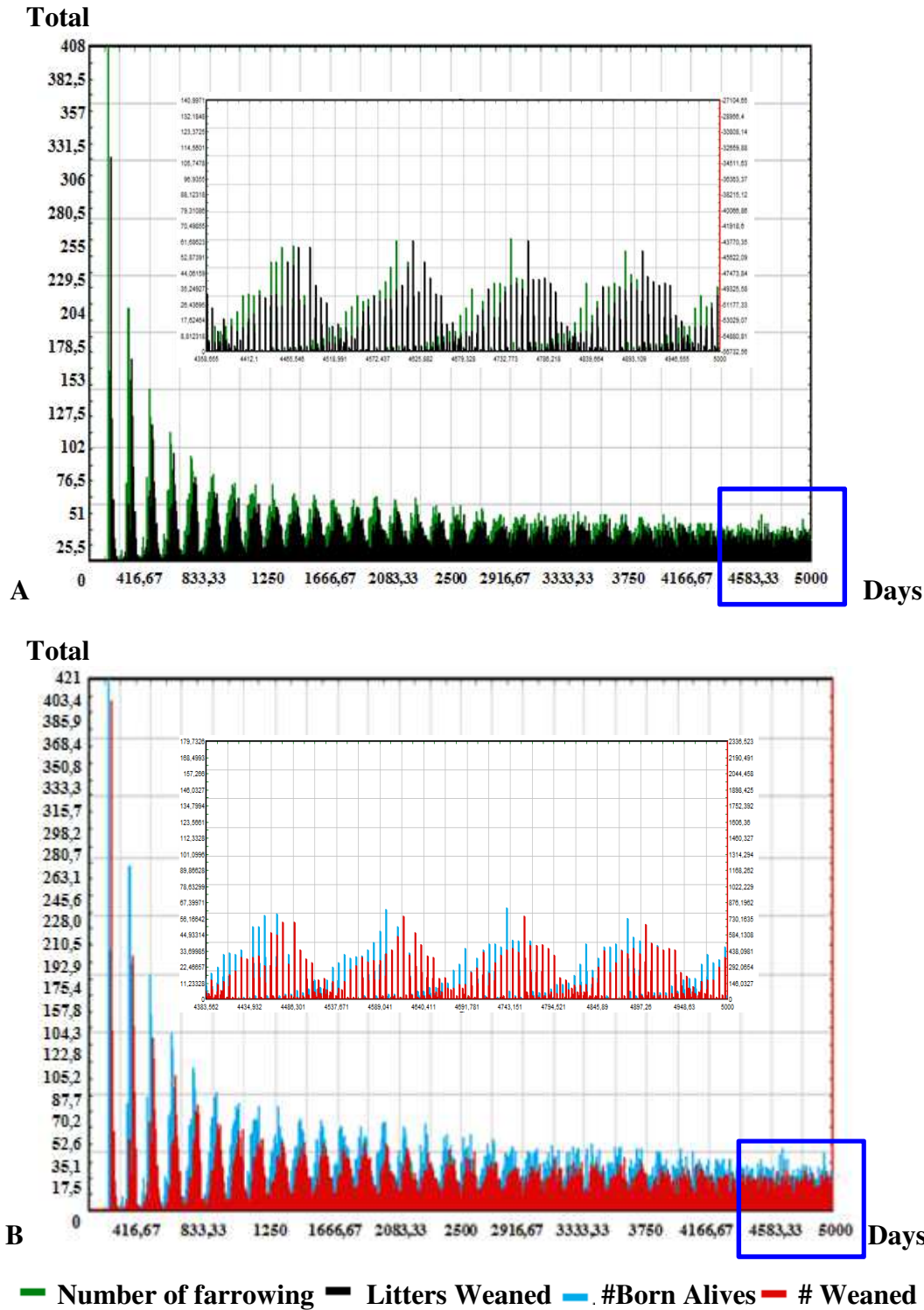
(10), the values of *p-value* ($\alpha = 0,05$) were 0.4859 (simulations), 0.7079 (years) 0.0001 (cycles) analysis was performed using the Statgraphics Centurion version XVI.I. The results show up no differences between simulations, or between the years, however, bring disparities between the cycles, so that a Fisher test was performed to determine variation between cycles, Table 3 shows that the higher percentage of fertility occurs in the 3rd cycle and lower percentage in cycles 6 and 9, however the most important result was obtaining, in a general rule for all cycles of low rates of prolificacy, that the fertility had acceptable values of the first mating; this has been investigated by Vargas [25] who states that is acceptable regular zeal returns of 5-8% and irregular of 2-4% or Meléndez [14] which states that the repetitions in a farm should not exceed 15%. The importance of analyzing this factor is that in many cases the reproductive failures are the main cause of discarding in farms, impacting the replacement rate and non-productive days. They may represent between 30-40% of all cases for removal of breeding [25].

Table 3: Comparison of 10 simulations evaluating the effectiveness of the first mating in the past 3 years.

Cycles	Average	Fisher Test
1	61,7769	AB
2	61,8534	AB
3	70,4868	A
4	61,7659	AB
5	61,7359	AB
6	57,1476	B
7	62,5968	AB
8	61,2222	AB
9	56,0741	B

A-B-C-D Different letters reflect significant differences for $p\text{-value} \leq 0,05$.

Figure 4 shows the relationship between the number of farrowings and litters weaned and between piglets born alive and weaned.



The blue rectangle highlights the outcome of the last 1000 days approximately to see in detail of the four simulated variables during the steady state of the farm. The relationship between the number of farrowing and the litters weaned shows no important changes in quantity. However, there are differences from day to day, that are explained by the task distributions during the week on farm. Differences between born alive and weaned piglets the behavior is similar. Note the number of weaned piglets is lower than those born alive, representing the mortality within the lactation stage. The graphical behavior of the four variables over time exhibits a periodicity of approximately a reproductive cycle (152 days). This result approximates the batch management and related planning tasks.

Can also make economic calculations, Figure 5 gives the relationship between income and expenditures weaned on the same basis, and this will set the actual values of costs and sale prices of pig in Spain and more specifically Catalonia in recent months. In Spain an average price of 25 euros / animal per weaning piglet for early races is set in a closed/mixed cycle management by BOE (Official State Bulletin) [4] and the cost of a sow piglet, in Catalonia, is € 27.44 / piglet [2] establishing a weaning interval of 142 days (calculated from the data referred in Appendix B) to a litter of a maximum of 12 piglets, the approximate daily cost of a bristle would be of 2.32 euro, revenues start at 142 days (table at the bottom of figure 5) when the first piglets are weaned, costs are constant over the years and benefits vary by income, this variation is high in the first two years, then begin to stabilize reaching the total balance at approximately 3000 days, the average benefits are 8.5236 (± 0.0171) euro after 3000 days.

The importance of the benefit analysis is to define what the producer can do to increase the income. According to Ezcurra and Pla, [5] individual pork producers have little ability to modify the bold tendency regarding expected revenues, meanwhile control production costs can provide them a major source of improvement for its own economic results.

EUR (€)

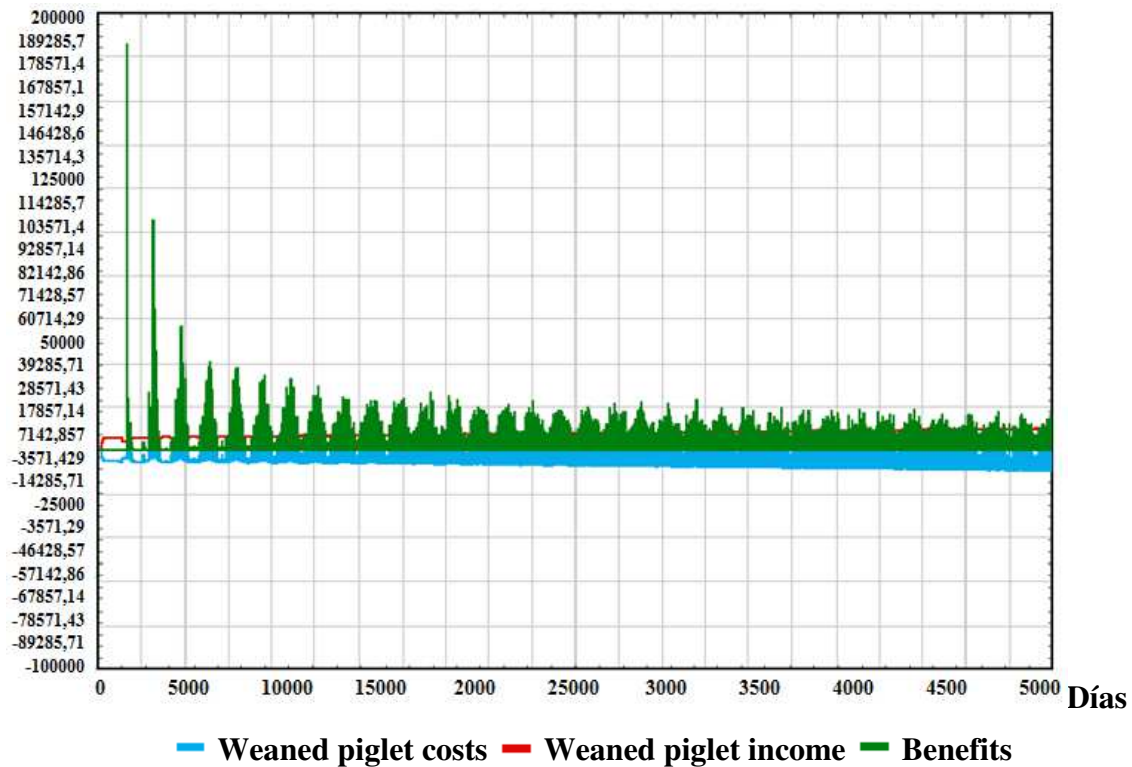


Figure 5: Benefits for weaned piglets.

The parameters of the simulation can be saved to Microsoft Excel spreadsheets format, from which can be imported to the model if desired, simulate again a particular state without changing the parameters in the model, which means a better timing running the simulation.

5.7 Conclusion.

The simulation model described here represents a practical approach for planning swine facilities under different farm management strategies. It is more flexible and accurate than deterministic approaches, essentially because it better captures the dynamics of the sow production and reproduction process. Moreover, different advantages are drawn respect to previously published models for the same purpose. Deterministic methods are based on the average time interval for each reproductive stage which is considered as a part of the reproductive management policy adopted by the farmer. The simulation model considers variations in sow performance, and can be adapted to possible variations in the management policy, in order to explore alternative optimal capacity of

facilities. We have shown how the Lactation facility size is in general bad estimated by deterministic methods and how daily variations in room needs are important. The model is an easy to use tool, useful to gain insight into the occupancy rate of swine facilities. As a result, housing needs can be better fitted.

Acknowledgments.

This work has been done by funding of Spanish Ministry of Science and Education, project codes: AGL2009-12026 and MTM2009-14087-C04-01.

Este trabajo ha sido realizado con financiación del Ministerio español de Educación y Ciencia, los códigos de proyecto: AGL2009-12026 y MTM2009-14087-C04-01.

5.8 References.

- [1] M.A. Allen, T.S. Stewart, A simulation model for a swine breeding unit producing feeder pigs, *Agricultural Systems*, 10 (1983) 193–211.
- [2] D.G. Babot, C.N. Cortés, A.F. Soldevila, J.R. Álvarez, E.H. García, K.R. Larrosa, L.S. Noguera, D.T. Contreras, G.A. Blanco, Informe del Sector Porcino. Ejercicio 2011, Grupo Gestión Porcina (Departamento de Producción Animal, Universidad de Lleida) (2012) 70-76.
http://www20.gencat.cat/docs/DAR/DE_Departament/DE02_Estadistiques_observatoris/08_Observatoris_sectorials/04_Observatori_porci/Informes_anuals/Fitxers_estadistics/OP_Inf_Anual_2011_cast.pdf (accessed February 10, 2013).
- [3] Bd-Porc, Database, (2000) Available in: <http://bdporc.irta.es/index.jsp> (accessed March 4, 2012).
- [4] BOE (Boletín Oficial del Estado), Grupo de razas precoces, Sistema de manejo ciclo cerrado/mixto y sistema de manejo cebo/ recría intensivo, Sec. III, ed. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente 24 (2013) 6503.
<http://www.boe.es/boe/dias/2013/01/28/pdfs/BOE-A-2013-828.pdf> (accessed January 4, 2012).
- [5] X.C. Ezcurra, L.M. Plá, ANAPORKDSS: A decision support system to evaluate pig production economics, *Proyecto Social: Revista de Relaciones Laborales*, 14 (2010) 23-44.
- [6] E.M. Gelb, Adoption of IT by farmers- Does reality reflect the potential benefit, in: *Proceedings Second European Conference EFITA*, Bonn, Germany, (1999) 433-441.
- [7] A.W. Jalvingh, A.A. Dijkhuizen, J.A.M. van Arendonk, Dynamic probabilistic modelling of re-production and management in sow herds, General aspects and model description. *Agricultural Systems*, 39 (1992) 133-152.
- [8] J.A. Kamp, Knowledge based systems: from research to practical application, Pitfalls and critical success factors, *Computers and Electronics in Agriculture*, 22 (1999) 243-250.
- [9] J.H. Kleijnen, Verification and validation of simulation models, *European Journal of Operational Research*, 82 (1995) 145-162.

- [10] D. Krah1, ExtendSim technology: scenario management, in: Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, ed. S. Jain, R.R. Creasey, J. Himmelspace, K.P. White, M. Fu, IEEE, Phoenix, Az. (2011) 12-19.
- [11] A.C. Lippus, A.W. Jalvingh, J.H. Metz, R.B. Huirne, A dynamic probabilistic model for planning housing facilities for sows, Transactions of the ASAE, 39 (1996) 1215-1223.
- [12] J.M. Marín, L.M. Plà, D. Ríos, Inference for some stochastic process models related with sow farm management, Journal of Applied Statistics, in: Press. 2005.
- [13] G. Martel, B. Dedieu, J.Y. Dourmad, Simulation of sow herd dynamics with emphasis on performance and distribution of periodic task events, Journal of Agricultural Science, 146 (2008) 365-380.
- [14] R.A. Meléndez, Problemas reproductivos en cerdas, ECGA, 44 (2008) 21-24.
- [15] D.J. Panell, B. Malcom, R.S. Kingwell, Are we risking too much? Perspectives on risk in farm model-ling, Agricultural Economics, 23 (2000) 69-78.
- [16] L.M. Plà, Aplicación de modelos de simulación en la toma de decisiones, in: D. Babot (Ed.) Gestión en empresas de producción porcina, Análisis, diagnóstico y toma de decisiones, Universitat de Lleida (2001) 215-218.
- [17] L.M. Plà, A stochastic model for planning swine facilities, in: Proceedings of the 2005, Winter Simulation Conference, ed. Kuhl, Steiger, Armstrong and Joines, Orlando, Fl. (2005) 2378-2384.
- [18] L.M. Plà, Review of mathematical models for sow herd Management, Livestock Production Sciences, 106 (2007) 107-119.
- [19] L.M. Plà, D. Babot, J. Pomar, A mathematical model for designing and sizing sow farms, International Transactions in Operational Research, 11 (2004) 485-494.
- [20] L.M. Plà, V. Flores, S.V. Rodríguez, A simulation model for intensive piglet production systems, Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference S. J. Mason, R. R. Hill, L. Mönch, O. Rose, T. Jefferson, J. W. Fowler Eds. 2008.
- [21] J.G. Pomar, Aplicación de los sistemas basados en conocimiento en el análisis de datos y ayuda a la toma de decisiones, in: D. Babot (Ed.) Gestión en empresas de producción porcina. Análisis, diagnóstico y toma de decisiones, Universitat de Lleida, (2001) 187.

- [22] S.V. Rodríguez, L.M. Plà, V. Albornoz, Modeling tactical planning decisions through a linear optimization model in sow farms, *Livestock Science*, 143 (2012) 162–171.
- [23] W.W. Rowland, M.R. Langemeier, B.W. Schurle, A.M. Featherstone, A nonparametric efficiency analysis for a sample of Kansas swine operations, *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 30 (1998) 189-199.
- [24] D. Singh, Simulation-aided capacity selection of confinement facilities for swine production, *Transactions of the ASAE*, 29 (1986) 807-815.
- [25] A. Vargas, G. Heim, Retornos ao estro após a inseminação artificial: caracterização e causas mais frequentes observadas na suinocultura, *Acta Scientiae Veterinariae*, 36(Supl 1) (2008) 61-66.

5.9 Appendix.

5.9.1 Appendix A: Verification parameters.

The parameters enumerated here are classified in time intervals (Table 5), transition probabilities (Table 6). The maximum lifespan considered was 11 reproductive cycles and a maximum of two matings. The farm size was set to 300 sows. No abortions were considered and time intervals were constant. For verification parameters were not affected by reproductive cycle.

Table 4: Time Intervals.

Time interval	Days
Interval to mating	7
Interval between matings	21
Gestation	114
Lactation	21
Interval mating to culling	0
Interval otherwise to culling	0
Time interval to be moved to gestation facility after mating	28
Time interval to be moved to lactation facility before farrowing	7
Drying period after weaning	7

Table 5: Transition Probabilities.

	Probability
Conception	0.80
Mortality	0.08
Casualties	0.12

5.9.2 Appendix B: Case example parameters

The parameters enumerated here, as above, are classified in time intervals (Table 7), transition probabilities (Table 8) and management requirements. Distribution of time intervals shown in Table 7 are extracted from the exploratory analysis introduced in Marin [12]. Management requirements are the maximum lifespan, fixed at 11 reproductive cycles and the maximum number of mating per reproductive cycle (two matings maximum). Furthermore, only two abortions per sow are allowed and weanings are scheduled every three weeks, all litters with more than two weeks of lactation are weaned. The farm size was set to 660 sows.

Table 6: Time Intervals.

Time interval	Distribution in days
Interval to mating	$\Gamma(7,0.5)$
Interval between matings	$N(21,3)$
Gestation	$N(115,2)$
Abortion	$weib(5,80)$
Lactation	21
Interval mating to culling	$N(28,3)$
Interval otherwise to culling	$N(7,3)$
Time interval to be moved to gestation facility after mating	28
Time interval to be moved to lactation facility before farrowing	7
Drying period after weaning	7

Table 7: Transition Probabilities.

	Probability
Conception	0.80
Abortion	0.02
Mortality	0.08
Casualties	0.12

CAPÍTULO 6

EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANEJO PARA EL REEMPLAZO DE REPRODUCTORAS PORCINAS EN GRANJAS CUBANAS A TRAVÉS DE LA SIMULACIÓN

Resumen

En este trabajo se utiliza un modelo de simulación de eventos discretos para proponer una mejor estrategia de manejo que maximice la vida productiva de las cerdas, garantizando el mejor desempeño productivo y económico, a través de un modelo de simulación. El modelo se ha desarrollado usando ExtendSim y se ha utilizado para diseñar una granja de reproductoras porcinas en las condiciones de producción cubanas, con una capacidad de 950 cerdas y basándose en las características propias del sistema de crianza porcina en el país. Se simularon dos estrategias de manejo diferentes, una basada en los datos históricos de una granja, caso A y otra hipotéticamente mejorada, caso B, en la cual se modificaron los siguientes parámetros: efectividad a la primera cubrición, efectividad a la segunda cubrición, efectividad tercera cubrición, abortos, mortalidad de las cerdas, intervalo destete celo y sacrificios, respetando el potencial genético de la raza Large White para zonas tropicales. El tiempo de simulación fue de 10000 días, se establecieron parámetros medios obtenidos de los datos de una granja cubana. Esta simulación demostró la factibilidad de mejora, del rendimiento técnico de la granja, del caso B con respecto al caso A, pronosticando posibles incrementos, porcentualmente, en los siguientes parámetros: camadas destetadas (4,83%), destetados por vida productiva (28,7%), media diaria de nacidos vivos (10,71) y media diaria de destetados (27,93). Además se simuló el rendimiento económico alcanzable modificando diferentes parámetros de la estrategia real demostrando que con solo incrementar la prolificidad o disminuir los abortos se incrementa los beneficios de la granja, aunque con la mejora de todos los parámetros se logran beneficios económicos positivos.

Abstract

This paper uses a model of discrete-event simulation to propose a better management strategy that will maximize the productive life of bristles, ensuring the best performance and productive economic, through a simulation model. The model has been developed using ExtendSim software and has been used to design a pig breeding farm under the Cuban production conditions, with a capacity of 950 sows and based on the characteristics of the system of pig industry in the country. Two different

management strategies were simulated , one based on the historical data of a farm, and another case hypothetically enhanced, case B, modifying the following parameters: effectiveness to the first, second and third mates; abortions, mortality of the bristles, interval weaning zeal and sacrifices, respecting the genetic potential of the race Large White in tropical areas. The simulation time was 10000 days, average parameters were established obtained from field data of a Cuban farm. This simulation showed the feasibility of improving, the technical performance of the farm, case B with respect to the case, predicting possible increases, in percentage terms, in the following parameters: litters weaned (4.83 %), weaned by productive life (28.7 %), daily average of live births (10.71%) and daily average of weaned (27.93%). In addition the achievable economic performance was simulated by changing various parameters of the real strategy showing that with only increasing the prolificacy or decrease abortions to increases farm the benefits, even with the improvement of all parameters are obtained positive economic benefits.

Palabras claves: simulación, cerdas, porcino

6.1 Introducción

El rendimiento productivo de las cerdas ha sido evaluado desde diferentes enfoques, la mayoría de las investigaciones se centran en uno o dos índices técnicos, así por ejemplo Rodríguez-Zas, *et al.* (2003), afirman que el comportamiento de la cerda, puede caracterizarse a través de su longevidad y el tamaño de la camada, por otra parte Babot, *et al.* (2001) hacen una revisión sobre los índices que influyen en la productividad numérica (número medio de lechones destetados por cerda y año), afirmando la existencia de índices primarios y otros que son derivados o dependientes de estos primarios, Lucia, *et al.* (2000a, 2000b) prestan gran importancia a los días no productivos de las cerdas, con el propósito de incrementar la productividad numérica y King, *et al.* (1998) recomienda aumentar la productividad numérica disminuyendo la duración de las lactación, esta visión de los índices técnicos, generalmente conlleva a respaldar la afirmación de Koketsu, (2000), de que la productividad numérica de las cerdas mejorara con el aumento de la prolificidad y/o la disminución de la mortalidad antes del destete.

Otros centran las investigaciones en el rendimiento económico como Dhuyvetter, (2000); Dhuyvetter, *et al.* (2007); Dial, *et al.* (2005); Dijkhuizen, *et al.* (1986); Faust, *et al.* (1993a, 1993b) y Rodríguez-Zas, *et al.* (2006).

Otra investigación realizada sobre el tema fue hecha por Quintanilla y Babot, (2008), de la cual se deduce que el potencial productivo de las cerdas se expresa de diferentes formas, según las condiciones de manejo establecidas en las granjas y esto impacta además en el potencial productivo de la manada y en su estructura poblacional. Otro aspecto como la tasa de reposición anual, definida como la cantidad de animales eliminados durante una unidad de tiempo en relación al efecto medio de la población durante dicho período (Babot y Quintanilla, 2008), varía según la estrategia de reemplazo de la cerda establecida por el ganadero, por lo que tiene un rol importante en la productividad de la granja, una decisión, inadecuadamente tomada, de reemplazar una cerda o un grupo de ellas, puede provocar que se sustituyan cerdas que todavía no han llegado a expresar su total potencial genético, entonces seguramente la granja estará desaprovechando ciertas oportunidades, por no reemplazarlas en un ciclo posterior, aumentando la longevidad del animal y su periodo de amortización.

Este problema podría resolverse al evaluar, mediante la simulación, cambios en la política de manejo antes de implantarla en la realidad, a través de medidas de desempeño, que permitan considerar si son suficientemente buenas, aunque no necesariamente óptimas, la estrategia sugerida o establecida. Este es un mero ejemplo de la necesidad de contar con herramientas, que no de forma empírica o arbitraria, ayuden en la toma de las decisiones en las granjas de cerdas. El definir objetivos y fijar metas productivas basadas en valores de los índices técnicos no siempre es realista. Se debería poder evaluar las estrategias de manejo antes de su implementación real. Sin embargo, cuantificar la influencia de las principales variables que afectan a la productividad numérica de las cerdas es una tarea difícil.

Es importante que las herramientas empleadas para simular sean capaces de incluir la mayoría o todos los índices técnicos que influyen en la productividad numérica y que además sea posible realizar análisis tanto específicos de una cerda, como globales, para una granja o un grupo de ellas. La construcción de un modelo de simulación (Kelton, *et al.* 2010 y Law, 2006) es útil para comparar y validar los resultados de modelos analíticos, pero en muchas ocasiones es la única manera de evaluar problemas en los que interviene gran cantidad de factores, dada la robustez y flexibilidad de las herramientas. El objetivo de este trabajo es proponer una estrategia de manejo que evalúe la vida productiva de las cerdas, garantizando un mejor desempeño productivo y económico, de granjas cubanas, a través de un modelo de simulación. (Fernández, 2013).

6.2 Materiales y métodos.

La vida productiva de una cerda reproductora, será la base del modelo de simulación que se inicia con la introducción de cerdas en la granja, donde primeramente cumplen el período de cuarentena (21 días), una vez finalizado este periodo inicial, con cerdas nuevas, el mantenimiento del censo de la granja se realizara fundamentalmente por el auto-reemplazo y aunque en menor proporción, se introducirán en el rebaño cerdas compradas en centros genéticos para el mismo fin, en este caso deberán pasar la etapa de cuarentena y estar aptas para la reproducción.

La granja será dividida por áreas, estas serán: 1) cubrición donde se alojan las hembras jóvenes en el estado de vacías, para ser cubiertas y las reproductoras adultas vacías y cubiertas hasta confirmar la gestación, 2) gestación donde se encuentran las hembras luego de confirmada la gestación y 3) maternidad donde están las hembras gestadas 7 días antes del parto, las lactantes y sus crías. La tecnología de producción en granjas cubanas se basa en una producción en cadena con ciclos uniformes y continuos con la formación de lotes semanales durante todo el año, los lotes se formaran durante la cubrición de las reproductoras en cada ciclo y conservaran una composición fija durante la gestación y lactancia hasta el destete, cada lote se configura con las reproductoras cubiertas de lunes a domingo. (López, *et al.* 2008).

La duración del ciclo completo y el tamaño de la instalación condicionan el número y tamaño de los lotes, en nuestro caso tenemos una granja con una capacidad de 950 cerdas con una duración media, de los ciclos, de 152 días, por lo que se podrán conformar 22 lotes con un tamaño de 44 cerdas por lotes.

Las cerdas son agrupadas para su alojamiento según el tamaño de los cubículos, para respetar su espacio vital, el tamaño de los cubículos deberá permitir crear grupos de 12 reproductoras aproximadamente, la cubrición se realiza con monta natural y se realiza en dos o tres ocasiones, con sementales diferentes en cada caso, las cubriciones se realizan cada doce horas. A las tres semanas se observa si la cerda repite celo, de no ser así se confirma la gestación, en caso contrario se procederá hasta con dos intentos nuevos, de ser fallidos se remplazara el animal. Las cerdas que a los 21 días no presenten celo permanecerán en esta instalación hasta los 32 días de realizada la cubrición, los viernes de la semana 5 se realizaran la confirmación de la gestación y serán trasladadas ese mismo día a la sección de gestantes. En la sección de gestantes están las reproductoras gestantes (confirmación de la gestación por la no presentación del celo a los 32 días de cubiertas) desde los 33 días hasta los 110 días, momento en el cual pasan a la sección de maternidad, en esta sección permanecen las reproductoras durante el parto y lactación hasta el destete (la lactación dura generalmente 26 días promedio es decir entre 21 y 28 según las granjas, no existe una política única aunque la mayoría se inclina por los 21 días). Se fijó el tiempo de simulación en 10000 días (aproximadamente 28 años) para poder estudiar su comportamiento en el estado estable.

Los datos para la modelación se recopilaron de una granja de reproductoras porcinas cubana, con una capacidad para 950 cerdas, de la raza Large White, se recogieron de los últimos 10 años, de un total 3562 reproductoras. Se realizaron dos simulaciones de 10 repeticiones en cada caso, para las comparaciones de las simulaciones se plantean dos situaciones diferentes: una con parámetros reales o caso A (tabla 1) y una hipotéticamente mejorada o caso B (tabla 2).

Los parámetros del modelo en ambos casos son los siguientes: efectividad a la primera, segunda y tercera cubrición, abortos, mortalidad de las cerdas, sacrificios, intervalo destete celo, promedio de nacidos vivos y promedio del número de destetados por camadas. En el caso A se establecieron valores por ciclos, (tabla 1) obtenidos de los promedios de los datos recopilados de la granja y en el caso B, para establecer los valores de los parámetros, se tomó como referencia datos del Banco de Datos del porcino en España (Bd Porc), más específicamente los datos referentes a las granjas de Cataluña, para el período de 01/07/11 a 30/06/12 (BdPorc, 2012), para determinar los valores de los parámetros modificados se tuvo en cuenta que estuvieran dentro del potencial genético de la raza Large White para zonas tropicales, descritos en López y Galíndez, (2011).

Tabla 1. Parámetros asignados al modelo en el caso A.

Parámetro/ ciclos	PC	SC	TC	A	M	S	IDC	NV	ND
1	86,12	86,91	99,21	6,31	0,79	2,63	9,3	9,06	7,54
2	88,16	91,17	97,00	2,42	3,00	1,88	7,62	9,33	7,88
3	92,38	93,9	98,48	1,38	1,52	1,84	6,75	9,68	8,18
4	92,53	95,02	97,51	1,29	2,49	1,87	6,12	9,69	8,28
5	95,97	97,76	98,21	1,46	1,79	2,09	5,92	9,80	8,33
6	92,74	93,46	99,27	1,77	0,73	1,45	6,09	9,72	8,08
7	94,39	96,43	97,96	1,87	2,04	1,96	6,43	9,64	8,15
8	94,68	97,76	96,92	2,00	3,08	2,15	5,42	9,76	8,13
9	96,64	96,64	97,64	2,52	3,36	3,26	6,82	9,40	8,11
10	94,43	95,82	98,61	2,9	1,39	3,14	5,88	9,66	8,20
11	90,08	94,05	96,03	2,99	3,97	3,70	5,63	9,44	8,06
12	94,50	96,79	97,71	2,44	2,29	4,43	4,95	9,51	8,04
13	93,55	97,85	95,70	2,43	4,30	4,30	4,88	9,30	7,93
14	89,12	93,88	95,24	2,25	4,76	8,16	4,87	9,17	7,73
15	90,74	93,52	97,22	0,81	2,78	12,04	4,89	8,83	7,71

PC- efectividad primera cubrición, SC- efectividad segunda cubrición, TC- efectividad tercera cubrición, A- abortos, M- mortalidad de las cerdas, S- sacrificios, IDC- intervalo destete celo, NV- promedio nacidos vivos y ND- promedio número de destetados.

Tabla 2. Parámetros modificados al modelo en el caso B.

Parámetros	Valores Constantes
PC	85,64
SC	85,64
TC	85,64
A	1,95
M	1,5
IDC	6,31
S	1,5
NV	12,17
ND	10,64

PC- efectividad primera cubrición, SC- efectividad segunda cubrición, TC- efectividad tercera cubrición, A-abortos, M-mortalidad de las cerdas, S-sacrificios, IDC- intervalo destete celo, NV- promedio nacidos vivos y ND- promedio número de destetados.

En el modelo se crearon dos bloques específicos, el primero (referente a las madres), estima la cantidad de cerdas en cada estado diariamente, lo cual permite calcular la cantidad de cerdas que estarán en cada área (ocupación), las diferencias entre la ocupación en el caso A y en el caso B, en cada estado (vacías, gestantes y lactantes), fue comparada estadísticamente con un análisis de varianza a través de una prueba Fisher para $p\text{-valor} \leq 0,05$.

En el segundo se obtienen los resultados referentes a los lechones: nacidos vivos (total o por camadas), destetados (total o por camadas), total de partos y camadas destetadas, durante esta simulación se escogió la variante por camadas. A partir de los resultados obtenidos en estos bloques se calcularon los siguientes índices técnicos: tasa de reposición, camadas destetadas por vida productiva, destetados por vida productiva, nacidos vivos (media diaria) y destetados (media diaria). Se fijó el reemplazo de todas las cerdas que llegaban al ciclo 15.

Se simuló el rendimiento económico (promedio diario de beneficios), para los últimos 3650 días de la simulación, porque los precios de los productos en el mercado son poco previsibles a largos períodos, la estimación de los beneficios se realizó en pesos cubano, por lo que es importante señalar que la tasa de cambio, del peso cubano con respecto al euro es aproximadamente la siguiente: 1euro=31,5 pesos cubanos, esta tasa fluctúa diariamente según la tasa internacional de cambio con respecto al dólar. La venta de los lechones se realiza luego del destete con un peso promedio de 6 kilogramos por lechón destetado. Para comparar el beneficio esperado se simuló inicialmente la granja con los datos reales correspondientes al caso A, luego se modificaron individualmente los parámetros del modelo, (SM) y finalmente se realizó una simulación con todos los parámetros modificados, correspondientes al caso B.

6.3 Resultados y discusión.

Los resultados de la simulación, relacionados con la ocupación diaria de la granja por estados, se presentan en la tabla 3, esta información permite programar la cantidad de plazas necesarias en cada área para los dos casos. Las diferencias entre ambos casos, en los promedios diarios de cerdas presentes en cada estado, son pequeñas, así como los intervalos de confianza, el análisis de varianza no reveló diferencia significativa para p -valor $\leq 0,05$. A pesar de ello es importante resaltar que para la granja del caso B, los valores de los intervalos de confianza son menores, por lo que el margen para la planificación de las instalaciones es más confiable.

Tabla 3. Comparación de los promedios de ocupación de la granja por estados y por día.

Caso	Ocupación		
	Vacías	Gestadas	Lactantes
A (15 ciclo)	47,4 ($\pm 4,46$)	762,6 ($\pm 9,03$)	140 ($\pm 8,09$)
B (15 ciclos)	47,71 ($\pm 7,45E-03$)	737,19 ($\pm 8,63E-03$)	165,10 ($\pm 5,53E-03$)

($\pm$) Intervalo de confianza.

Estos resultados son complementados con la figura 1, donde se observa la distribución diaria del rebaño según estados, para los dos casos, observemos la similitud de ambos gráficos donde, al inicio aparece el periodo de arranque o calentamiento del modelo de simulación, con la mayor cantidad de cerdas vacías y posteriormente la dinámica poblacional se estabiliza a los 1500 días aproximadamente, permaneciendo en equilibrio hasta el final de la simulación. La mayor cantidad de cerdas, para ambos casos, serán las gestantes, lo cual es lógico ya que este es el estado en el que más tiempo permanecen las cerdas, señalaremos que en el caso B, la variabilidad, luego de alcanzado el estado de equilibrio, es menor.

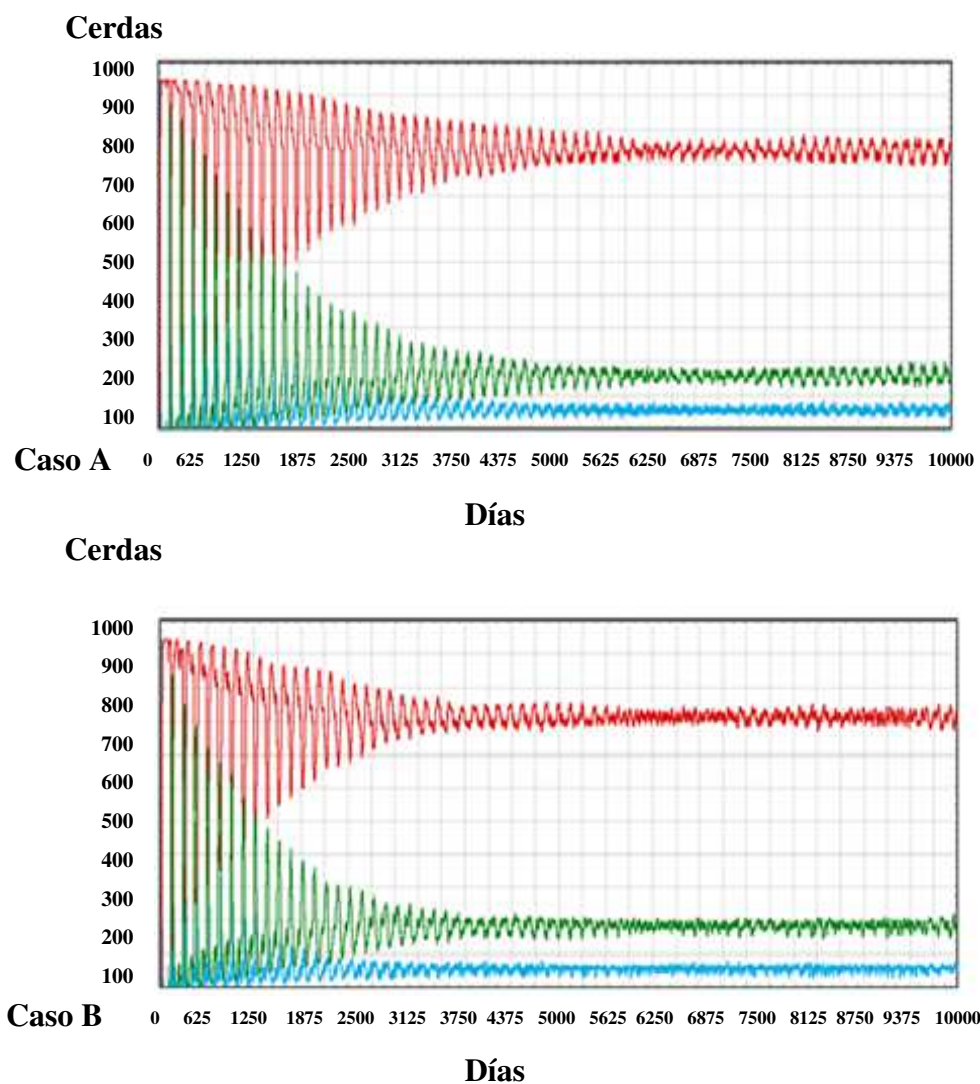


Figura 1. Distribución del rebaño según estado y caso.

La estructura censal de la granja en los dos casos se observa en el grafico 2, la distribución del rebaño es muy similar para ambos casos con una distribución por ciclos donde el 60,12 % y 60,42 % de las cerdas están entre el 2do y 7mo parto.

Esta estructura no coincide con la propuesta de Acero, (2011) que plantea que el 75% aproximadamente de las cerdas deben estar entre los ciclos 2do y 7mo, esta diferencia se puede explicar porque este autor refiere que el 8vo ciclo es considerado como el último. El mismo autor también afirma que un 12% (retención del 88%) de las reproductoras son eliminadas tras el primer parto y sin embargo en el caso A solo un 2,12% y en el caso B un 2,15% son eliminadas luego del primer parto y un 2,09% para el caso A y 2,077% para el caso B, son eliminadas luego del segundo parto, lo que representa un índice de retención hasta el 3er ciclo de 95,8% en el caso A y 95,77% en el caso B, estos resultados reflejan baja mortalidad de las primerizas, lo que puede influir de forma positiva en el rendimiento técnico de la granja, sobre esto una investigación realizada por Pinilla y Lecznieski, (2010) concluyeron que las granjas o sistemas que no retienen el 70% o más de sus primerizas más allá del 3er ciclo no van a ser capaces de lograr los objetivos asociados con una tasa anual de reposición de un 50% y una edad promedio de eliminación después del ciclo 5 de manera constante.

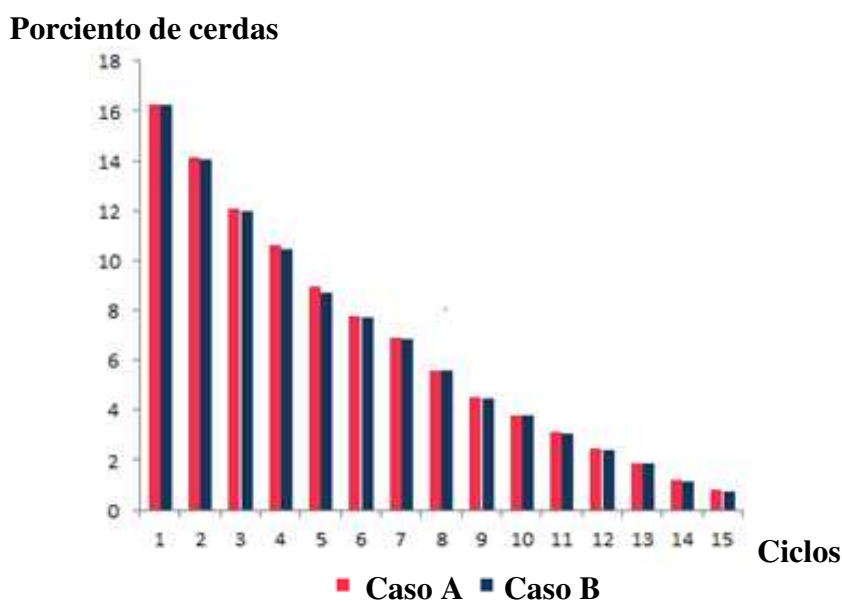


Figura 2. Estructura censal de los dos casos.

En cuanto al desempeño técnico de la granja (tabla 4), el promedio de nacidos vivos por cerda y los destetados por cerda se estimaron para comprobar el correcto funcionamiento del modelo y su fiabilidad, obsérvese que el promedio de nacidos vivos difiere en 2,7 lechones entre ambos caso y que el resultado del caso B (12,17), es igual al referido en el informe del Banco de Datos del porcino Español (BdPorc, 2012), en este mismo informe se reportan 10,64 destetados por camadas, una vez más este valor es muy cercano al obtenido en el caso B (10,54) en la simulación.

La tasa de reposición media anual para el caso A es de 40,9% y para el caso B de 31,7%, esta tasa de reposición es muy superior a las reportadas en diferentes investigaciones como adecuadas para mantener una estructura censal donde el 75% de las cerdas estén entre el 2do y 7mo ciclo, es importante tener en cuenta que se simula un granja en condiciones de producción donde la disponibilidad de cerdas para el reemplazo es inestable.

En Cuba según las normas de crianza porcinas (DIGEP, 2002) afirman que el desecho de las reproductoras debe ser del 35% aproximadamente. La mayoría de los estudios realizados sobre las tasa de reposición refieren valores entre el 35% y 50 %, por ejemplo en un estudio realizado por Saballo, *et al.* (2007), se reportan cifras aproximadas de descarte de las hembras que oscilan entre 35% y 40%, también D'Allaire, *et al.* (1987), afirman que en muchas granjas del 40 al 50 % de las cerdas son desechadas antes del 4to parto.

Para los destetados por vida productiva de las cerdas, las diferencia entre ambos casos son significativas, los resultados del caso B coincide con Gill, (2006) que señala que el potencial productivo de una cerda en condiciones comerciales durante su vida productiva estaría entre 60 y 70 lechones destetados, aunque otras investigaciones como Lucia, *et al.* (2000a) plantea que valores de sólo 30-40 lechones son comunes, similares a los obtenidos en el caso A.

Tabla 4. Rendimiento técnico estimado.

Índices Técnicos	Caso A	Caso B
Nacidos vivos por camadas*	9,499 ($\pm 0,14$)	12,17 ($\pm 0,09$)
Destetados por camadas*	7,97 ($\pm 0,119$)	10,64 ($\pm 0,10$)
Tasa de reposición (%)	40,9 ($\pm 0,21$)	31,7($\pm 0,17$)
Camadas destetadas por vida productiva	5,9 ($\pm 1,28$)	6,2 ($\pm 1,81$)
Destetados por vida productiva*	47,02 ($\pm 1,03$)	65,97 ($\pm 1,03$)
Nacidos vivos (media diaria) *	60,858 ($\pm 10,14$)	68,152 ($\pm 14,91$)
Destetados (media diaria) *	47,541 ($\pm 10,60$)	65,968 ($\pm 19,26$)

(*) Diferencias significativas entre las medias para $p\text{-valor} \leq 0,05$.

($\pm$) Intervalo de confianza

El rendimiento técnico de la granja pronostica una posible mejora con los parámetros del caso B, de 4,83% para las camadas destetadas por vida productiva, 28,7% para los destetados por vida productiva, 10,71% para la media diaria de nacidos vivos y 27,93% para la media diaria de destetados.

6.3.1 Rendimiento económico.

Los costos en pesos por animal/día relacionados con la alimentación de los animales con los que se simuló este sistema fueron 3.78, 1.34, 3.78 y 0.5 pesos para las cerdas en receso y cubrición, cerdas en gestación, cerdas en lactación y lechones en lactación, respectivamente, mientras que el relacionado con la operación de las instalaciones y manejo de animales fue de 0.5 pesos por animal. Los precios de compra y venta de animales fueron: compra de cerda nueva 590 pesos, venta de lechón 8.0 pesos/kg, venta de cerda desecho 30,4 pesos/kg. El precio estimado por cada monta de un semental es de 87.25 pesos. El precio de un lechón vendido a los 6 kg es de 48 pesos, los beneficios se calculan a partir de los lechones destetados diariamente.

Tabla 5. Parámetros modificados para estimar el rendimiento económico y promedio del beneficio diario de cada simulación.

Simulación Modificada (SM)	C	A	M	IDC	S	NV	Beneficio (Pesos cubanos)
Caso A							(-) 1574,69
SM 1	85,64						(-) 798,83
SM 2		1,95					(+) 120,53
SM 3			1,5				(-) 1193,08
SM 4				6,31			(-) 1541,77
SM 5					1,5		(-) 290,87
SM 6						12,17	(+) 322,03
Caso B							(+) 380,59

C-cubrición, A-abortos, M-mortalidad de las cerdas, IDC-intervalo destete celo, S-sacrificios, NV-promedio nacidos vivos, (-) perdidas y (+) ganancias

En la tabla 5 se observan la modificaciones realizadas en cada simulación a los parámetros, así como los beneficios promedios de 10 repeticiones en cada simulación. Los beneficios diarios de la granja resultaron positivos cuando es mejorado el porciento de abortos y la prolificidad (nacidos vivos), la influencia de solo mejorar uno de los restantes parámetros no permite que la granja sea económicamente rentable, aunque si disminuye las pérdidas porque evidentemente en el caso A, son mayores que en las restantes simulaciones, la diferencia entre el caso A y el caso B en cuanto al total de beneficios incrementados es de 1955,28 pesos cubanos. El parámetro que menor influencia tienen en la simulación desde el punto de vista económico es el intervalo destete celo.

6.4 Conclusiones.

La simulación, correspondiente al caso B, manifestó un incremento del rendimiento técnico de la granja con respecto al caso A, pronosticando posibles incrementos, porcentualmente, en los siguientes parámetros: camadas destetadas (4,83%), destetados por vida productiva (28,7%), media diaria de nacidos vivos (10,71) y media diaria de destetados (27,93) y en el caso del rendimiento económico los parámetros que permiten

alcanzar un margen de ganancias positivo, es el porcentaje de abortos (disminuyo) y la prolificidad (aumento) y el que menor influencia tiene es el intervalo destete celo, aunque con la mejora de todos los parámetros en conjunto (caso B) la granja obtiene un beneficio diario superior, lo que permite afirmar que es conveniente establecer la estrategia de manejo, propuesta en el caso B. La flexibilidad del modelo para ser ajustado a distintas situaciones y su capacidad gráfica para visualizar los resultados permite al granjero determinar los aspectos más importantes que están incidiendo en su rendimiento técnico y económico, convirtiéndolo en una herramienta muy útil en el proceso de gestión y de toma de decisiones en granjas de reproductoras.

6.5 Referencias.

- Acero, P., 2011. Planificación y manejo de la explotación de ganado porcino. Tomo VI. Edición: Consejería de Agricultura y Ganadería. ISBN. 978-84-692-0175-0.
- Babot, D., Quintanilla, R., 2008. Decisiones de manejo en granja y su influencia sobre la productividad: Edad al primer parto, duración de la lactación y eliminación-renovación de animales. In: Babot, D. (Ed.), La gestión técnica de explotaciones porcinas en España. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, pp 87-108. ISBN 978-84-491-0854-9.
- Babot, D., Vidal, M., Chávez, E.R., 2001. Decisiones de manejo en granjas y sistemas de producción alternativos. In Babot, D. (Ed.) Gestión en empresas de producción porcina. Análisis, diagnóstico y toma de decisiones. Universitat de Lleida, pp 101-140.
- BD-Porc, (Banco de datos de Referencia del Porcino Español) 2012. Resultados Grupos de Referencia Geográficos. Periodo 01/07/11 a 30/06/12. <http://www.bdporc.irta.es/butlleti.jsp>
- D'Allaire, S., Stein, T.E., Leman, A.D., 1987. Culling patterns in selected Minnesota swine breeding herds. Can J Vet Res. 51, pp 506-512.
- Dhuyvetter, K.C., 2000. Attrition and Gilt Replacement: What does attrition cost and what is it worth to reduce? In Proceedings. Allen D. Leman Swine Conference. 27, pp 110-116.
- Dhuyvetter, K.C., Kastens, T.L., Overton, M.W., Smith, J.F., 2007. Cow culling decisions: costs or economic opportunity? 2007 Western Dairy Management Conference Proceedings. Reno, NV. March, pp 7-9. www.wdmc.org/2007/dhuyvetter.pdf
- Dial, G.D., Roker, J.R., McWilliams, S.A., 2005. Data mining to improve the bottom line. Advances in Pork Production.; 16, pp 91-100.
- DIGEP (Dirección de genética porcina) 2002. Manual de Crianza para Centros Genéticos Porcinos. Agrinfor. pp 10-30.
- Dijkhuizen, A.A., Morris, R.S., Morrow. M., 1986. Economic optimization of culling strategies in swine breeding herds, using the "Porkchop" computer program. Prev. Vet. Med. 4, pp 341-353

- Faust, M.A., Robison, O.W., Tess, M.W., 1993b. Integrated systems analysis of sow replacement rates in a hierarchical swine breeding structure. *Journal Animal Science*. 71, pp 2885-2890.
- Faust, M.A., Robison, O.W., Tess, M.W., 1993a. Genetic and economic analyses of sow replacement rates in the commercial tier of a hierarchical swine breeding structure. *Journal Animal Science*. 71, pp 1400-1406.
- Fernández, Y., 2013. Evaluación de estrategias de manejo para el reemplazo de reproductoras porcinas en granjas cubanas a través de la simulación, pp 87.
- Galíndez, R., 2004. Sobrevivencia de lechones y tamaño de camada hasta el destete de dos granjas comerciales. Tesis M. Sc. Facultades de Agronomía y Ciencias Veterinarias. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela, pp 83.
- Gill, B., 2006. Nutritional management of the gilt for lifetime productivity - feeding for fitness or fatness? *J. Anim. Sci.*, 84, pp 1926-1943.
- Kelton, W. D., Sadowski R. P., Swets. N. B., 2010. *Simulation with Arena*, 5th edition. McGraw Hill, New York.
- King, V.L., Koketsu, Y., Reeves, D., Xue, J., Dial, G.D., 1998. Management factors associated with swine breeding-herd productivity in the United States. *Prev Vet Med*. 35, pp 255-264.
- Koketsu, Y., 2000. Productivity characteristics of high-performing commercial swine breeding farms. *J Am Vet Med Assoc*. 216, pp 376-379.
- Law, A.M., 2006. *Simulation Modeling and Analysis (McGraw-Hill Series in Industrial Engineering and Management)*. Fourth edition', McGraw-Hill, Boston. ISBN: 0072988436.
- López, N., Galíndez, R., 2011. Evaluación de la productividad acumulada al destete en cerdas Large White, Landrace y Cruzadas en una granja comercial. *Zootecnia Trop.*, 29(4), pp 445-453.
- López, O., Pérez, J., García, A., Dieguez, F., Sosa, R., Crespo, A., Gonzalez, A., Ortiz, C., Acosta, M., Cervantes, A., Arias, T., Perdigón, R., Cabrera, Y., Morales, G., Santana, I., Mederos, C., Martínez, V., Naranjo, R., Piloto, J., Chao, R., Ruedas, M., Abeledo, C., Tosar, M., Macias, M., Vitón, D., Bonachea, S., Almaguer, R., Guerrero, J., Garcia, M., Díaz, T. y Camacho, J. 2008. *Manual de procedimientos técnicos para la crianza porcina*. Instituto de Investigaciones Porcinas. Ediciones CIMA. La Habana. ISBN 978-959-7198-00-0

- Lucia, T., Dial, G.D., Marsh, W.E., 2000a. Lifetime reproductive and financial performance of female swine. *J Am Vet Med Assoc.* 216, pp 1802-1809.
- Lucia, T., Dial, G.D., Marsh, W.E., 2000b. Lifetime reproductive performance in female pigs having distinct reasons for removal. *Livestock Production Science*, 63, pp 213-222.
- Pinilla, M., Lecznieski, L., 2010 Manejo de la estructura de partos y procedimientos de eliminación selectiva. Boletín informativo sobre porcinos producido por PIC España. 10.
<http://www.pic.com/Images/Users/2/pigimprover/ProfitImprover/CuttingEdge/literature/ProductImages/Banners/Romania/TechMemos/CompetitorInformation/Russia/Spain/InfoPic10.pdf>
- Quintanilla, R., Babot, D., 2008. Gestión de la producción y de la empresa porcina: parámetros implicados en el rendimiento técnico de las explotaciones porcinas. In: Babot, D. (Ed.), *La gestión técnica de explotaciones porcinas en España*. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 31-55. ISBN 978-84-491-0854-9.
- Rodríguez-Zas, S.L., Davis, C.B., Ellinger, P.N., Schnitkey, G.D., Romine, N.M., Conner, J.F., Knox, R.V.I, Southey, B.R., 2006. Impact of biological and economic variables on optimal parity for replacement in swine breed-to-wean herds. *Journal Animal Science*, 84, pp 2555-2565.
- Rodríguez-Zas, S.L., Southey, B.R., Knox, R.V., Connor, J.F., Lowe, J.F. y Roskamp, B.J. 2003. Bioeconomic evaluation of sow longevity and profitability. *Journal of Animal Science*, 81, pp 2915-2922.
- Saballo, A., López, A., Márquez, A., 2007. Causas de descarte de cerdas en granjas de la región centro occidental de Venezuela durante el periodo 1996-2002. *Zootecnia Trop.*, 25(3), pp 179-187.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES GENERALES Y PERSPECTIVA

7.1 Conclusiones generales

La complejidad de las interacciones entre los factores que intervienen en la productividad numérica de las cerdas es una realidad a la que los productores deben enfrentarse. Los sistemas de ayuda a la toma de decisiones pueden minimizar los riesgos de errores de gestión, convirtiéndose en herramientas eficaces para la evaluación de alternativas productivas mediante el pronóstico a corto, mediano y largo plazo, según sea requerido, permitiendo una mejor gestión integral de las granjas.

Los resultados de las investigaciones encontradas en la literatura no siempre son aplicables a todas las condiciones de producción. La situación en Europa no es la misma que en Cuba. La valoración de los productores debe estar encaminada a dar un orden de prioridad a los factores sobre los cuales más pueden influir, así los resultados obtenidos a través del meta-análisis, permitió determinar el grado y sentido de la influencia que tienen los factores que modifican la productividad numérica de las cerdas.

Los resultados obtenidos en esta tesis permiten establecer que:

- Los estudios principales van encaminados a determinar hasta qué edad o ciclos una cerda debe permanecer en un rebaño, tomando en consideración la prolificidad por orden de parto. (cf. Capítulo 2).
- Es fundamental acortar los intervalos entre partos y destete cubrición fértil, para elevar la productividad numérica de las granjas y además se determinó que la raza, la edad a la primera cubrición y la duración de la lactación son los que menos nivel de influencia tienen. (cf. Capítulo 2 y 3).
- El modelo de optimización empleado para estimar y comparar las curvas de prolificidad en rebaños españoles, daneses y cubanos y evaluar el impacto de la prolificidad sobre la política de reemplazo, es una herramienta muy útil y confiable, que permite analizar los índices técnicos y económicos con precisión. (cf. Capítulo 4).

- Los resultados de la optimización permiten proponer una política de reemplazo que se basa en desechar las cerdas desde su primera camada, cuando la prolificidad sea inferior a la media del rebaño. (cf. Capítulo 4).
- Aquellas cerdas que desde su primer ciclo tienen elevadas prolificidades, serán mantenidas en el rebaño hasta el 7mo ciclo, solo las cerdas que mantengan tamaños de camadas por encima de la media en el 7mo ciclo, puede permanecer en el rebaño hasta el 8vo ciclo o más. (cf. Capítulo 4).
- El modelo de simulación propuesto, es una alternativa rápida y sencilla, para representar un enfoque práctico en la planificación del manejo en las instalaciones porcinas, bajo diferentes estrategias de manejo en las granjas, es más flexible y preciso que modelos anteriores, esencialmente porque percibe mejor la dinámica de la producción porcina y el proceso reproductivo. (cf. Capítulo 5 y 6).
- Los resultados de las simulaciones, para una granja cubana, demuestran que hay diferencia importantes en los rendimientos tanto técnicos como económicos, con solo mejorar aspectos de manejo y manteniendo una estructura censal similar, los que más influyen son la disminución de la tasa de abortos y el aumento de la prolificidad y el que menor influencia tiene es el intervalo destete primera cubrición. (cf. Capítulo 6).
- La flexibilidad del modelo de simulación, para ser ajustado a distintas situaciones y su capacidad gráfica para visualizar los resultados lo convierte en una herramienta importante para la gestión y de toma de decisiones del proceso reproductivo. (cf. Capítulo 6)

Finalmente se concluye que predecir el comportamiento productivo y económico de las granjas de cerdas tiene que ser realizado a través de modelos tanto de optimización como de simulación, menos deterministas, que permitan establecer políticas de manejo y fundamentalmente de reemplazo de las reproductoras, basándose en análisis

específicos de cada granja y situación económica productiva en un momento dado, para realizar una adecuada gestión de las granjas y que en un futuro se puede considerar que los precios de los alimentos así como los precios de venta y compra de animales pueden tener variaciones estacionales o tendencias, además de tomar en cuenta el crecimiento de los animales y la calidad del producto a lo largo del proceso.

7.2 Perspectiva

Creemos que en estudios futuros se debe ajustar el modelo de simulación de forma tal que pueda predecir el comportamiento de una cerda en tan solo un ciclo futuro para evaluar más específicamente las políticas de reemplazo, así como incluir en los modelos los trastornos producidos por deficiencias en la cantidad y calidad de la alimentación, como piensos con bajos niveles de proteínas, situación común en países subdesarrollados.

