



Universitat Autònoma de Barcelona

Caracterización e influencia de los factores de producción en el cebo de cerdos en condiciones comerciales

MEMORIA PRESENTADA POR: PIERO DA SILVA AGOSTINI

BAJO LA DIRECCIÓN DE LOS DOCTORES: JOSEP GASA Y CARLOS DE BLAS

PARA ACCEDER AL GRADO DE DOCTOR DENTRO EL PROGRAMA DE
DOCTORADO DE PRODUCCIÓN ANIMAL DEL DEPARTAMENT DE CIENCIA
ANIMAL I DELS ALIMENTS

BELLATERRA, ENERO DE 2013



FACULTAT DE VETERINÀRIA DE BARCELONA

Josep Gasa Gasó, catedrático del departament de Ciència Animal i dels Aliments de la Facultat de Veterinària de la Universitat Autònoma de Barcelona y **Carlos de Blas Beorlegui**, catedrático del departamento de Producción Animal de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid,

Certifican:

Que la memoria titulada “**Caracterización e influencia de los factores de producción en el cebo de cerdos en condiciones comerciales**”, presentada por Piero da Silva Agostini para optar al grado de Doctor en Veterinaria, ha sido realizada bajo su dirección y, considerandola finalizada, autorizan su presentación para que sea juzgada por la comisión correspondiente.

Y para que conste a los efectos oportunos, firman la presente en Bellaterra, 08 de enero de 2013.

Dr. Josep Gasa Gasó

Dr. Carlos de Blas

El autor recibió una subvención de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo del Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación para este estudio.

DEDICADA A MIS PADRES CLAUDIR Y NERI Y A

MIS HERMANOS ERNY Y JULIANA

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a todos que estuvieron conmigo en estos años, y que de alguna forma fueron responsables por la realización de este sueño.

Primeramente me gustaría agradecer a **Dios** por todo lo que me está proporcionando hasta el momento.

Um agradecimento especial à minha bela família que sempre me apoiou, e mesmo eles estando longe, sempre me deram muitas forças para seguir com meus estudos e também por sempre me dizerem para eu fazer o que eu pensava que seria o melhor para mim. Muito obrigado ao meu pai **Claudir**, minha mãe **Neri** e aos meus irmãos **Erny** e **Juliana**. Vocês são mais que especiais na minha vida. Amo vocês.

Dedico un especial agradecimiento a mi tutor **Josep Gasa** (*Jefe!*) por haberme proporcionado la oportunidad inicial de trabajar en el SNiBA y luego en poder desarrollar el doctorado bajo su supervisión y también por la confianza en mi depositada y sobre todo por la amistad y paciencia conmigo durante todos estos años. Agradezco también a que en estos años siempre me ha dado mucha autonomía para conducir y desarrollar mi tesis doctoral y por siempre haberme involucrado en la participación de una multitud de actividades como en clases de porcino, cursos, proyectos, conferencias, redacción de artículos y que en muchas ocasiones estas no estaban directamente involucrados con la tesis pero que fueron muy importantes para mi formación académica y profesional. He aprendido mucho contigo y solo tengo que agradecerte. Muchas gracias JEFE!

Não posso deixar de agradecer a um amigo que foi muito importante em todo esse processo e que sem ele provavelmente não seria possível a minha vinda à Espanha. Muito obrigado **Caio** (*Propedêutico!*) por ter sido meu orientador de mestrado, por ter me ajudado a vir para a Espanha e principalmente pela amizade nesses últimos 10 anos. Você é um grande amigo e só tenho a agradecer-te. Conte sempre comigo.

Um agradecimento especial à minha namorada **Maura**, uma pessoa que sempre esteve ao meu lado e sempre me apoiou durante todos esses anos na UAB, inclusive nos momentos em que me suportou quando eu estava azedo, que foram muitos. Você é especial linda. Te adoro muito!

Agradezco también a mi codirector de tesis **Carlos de Blas** por siempre estar dispuesto a ayudarme con la tesis durante estos últimos tres años. Realmente ha sido un placer tenerte como codirector de esta tesis.

A los grandes amigos que hice en este tiempo de UAB: **Alexey** (*Calne de puelco!*), un amigo más que especial, tuve el placer de compartir despacho con él, salir de fiesta y cenas, un muchacho que con su forma de ser ha traído mucha alegría para toda la gente del "Departamento de Nutrición" en los últimos años. Eres nota 10. Cuente siempre conmigo chaval. **Jaime** (*el Chaval!*), un gran amigo, mi compañero oficial de viajes, deportes y fiestas en estos últimos 4 años de UAB, una persona humilde, sincera, dedicada y muy eficiente en su trabajo. Muchas gracias por tu amistad chaval. A **Rosa** (*Que pesadez!*) y **Gemma** (*Chavala!*), amigas especiales que hice en la UAB, muy sinceras y con un corazón enorme siempre dispuestas a ayudar a todos sus amigos. A **Roger** (*Jo no entenc aixó!*) y **Ramón** (*Buenuuu!*), mis grandes amigos "made in Catalonia", por los buenos momentos

compartidos de bromas y risas. **Olga** (*Que tal? Tal!*), a pesar de no haber utilizado el laboratorio durante mi tesis, te tengo que agradecer mucho por ser nuestra madre en el departamento, por haber estado siempre a nuestro lado y sobre todo por la amistad. **Sergio** (*Colo-Colo*), por la amistad y también por ser un muy bueno compañero de despacho en estos últimos 2 años. **David** (*Daviiiiiiid!*), por haber tenido mucha paciencia conmigo luego que llegué a la UAB y por haber sido un muy buen compañero de trabajo en el Sniba. **Cinta** (*Cintinha!*) y **Laia** (*Qué!*), que a pesar de ambas haber llegado relativamente hace poco tiempo las tengo mucho aprecio como si ya las conociera desde mi llegada hace 4 años. **Sandra** (*ahhhhhhhh!*) y **Yulixaxis** (*Yulixao!*), una pareja nota 10, por la amistad, los chistes y los buenos momentos compartidos. **Alexandra** (*Collsuri*), por haberme acogido muy bien en Collsuri, por su esfuerzo en ayudarme y por la amistad. Y también a **Francesc** (*Fa mala cara!*), **Victor**, **Elisa** (*Murciana!*), **Clara** (*Clarinha!*), **Esther** (*Ostiaaaa!*), **Sergi** (*Maquinao!*), **Inma** (*amiga de la Paty!*), **Andreas** (*Malacas!*), **Feliu** (*te estoy sobrevalorando!*), **Sara** (*Ragazza!*), **Abel** (*Bodeguero!*), **Bladimir** (*Chaval!*) y **Sergio Iraira**.

Muchas gracias al amigo y compañero de despacho **Edgar** (*Joder nen!*) por ayudarme en el desarrollo de esta tesis, por los consejos académicos dados durante estos años y por la enseñanza de estadística.

Um agradecimento mais que especial a duas pessoas especiais: **Rafa** (*Valéu Rafa!*) e **Tisci**, obrigado pela amizade, pelos bons tempos que passamos juntos quando morávamos na república em Sabadell, enfim, pela força total que vocês sempre me deram em todos os momentos. Serei sempre grato a vocês dois. Contem sempre comigo!

A dois grandes amigos desde os tempos da graduação e que tive o prazer de morar com ambos em Sabadell: obrigado **Luiza** (*Pedaaaala!*) e **Mauro** (*Maurera!*) pela amizade, pelo tempo que vocês estiveram aqui na UAB, pelo companheirismo, pela paciência em me aguentar quando eu estava azedo. Foi muito bom ter vocês aqui. Contem sempre comigo!

Agradeço também a um casal que fez com que o meu último ano de doutorado fosse muito mais agradável. Muito obrigado aos amigos **Cleandro** (*Cleandrao!*) e **Sol** pelos conselhos, humildade, amizade, churrascos e por me ajudarem e me apoiarem sempre que necessitei. Vocês são amigos nota 1000.

A todos los profesores de la tercera planta que de alguna forma estuvieron presentes y me ayudaran con enseñanzas, consejos y sobre todo por la amistad, en especial a los profesores **Francisco Pérez, Susana Martin, Roser Salas, Ana Cris Barroeta, Alfred Ferret, Mariola y Cecilia.**

Muchas gracias también a las **secretarias** del "Departament de Ciència Animal i dels Aliments" por la dedicación en siempre ayudarme con papeleos y tramites y por la paciencia que tenían conmigo.

Agradezco también a la **Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal** (FEDNA) por ayudar en el desarrollo de mi tesis y por la beca ofertada durante los meses que estuve de estancia en Irlanda.

A la **Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo** (AECID) por concederme una beca de estudios de doctorado por un período de tres años. También al proyecto publico de investigación financiado por el **Ministerio de Educación**

de España (AGL 2011-29960), en que hice parte y que me ha financiado mi estancia en España en los últimos 4 meses además de haberme financiado dos viajes a congresos.

I would like to thanks Dr. **Alan Fahey** and Dr. **John O'Doherty** for the opportunity to be in your group at UCD (Ireland) for 3 months and for help me in my PhD and for having patience with my poor English. I really enjoyed the period I was at the UCD and I hope we can work together again.

Aos grandes e inesquecíveis amigos da turma Vet Uel 53 **Naka, Lú Mimoso, Ale, Romerson, Luizao, Jake, Bel, Katia, Gustavo, Tonel, Marcelo, Lú Cabrita, Poplitxo, Neves e Poisé**, que apesar do tempo e da distancia sempre estiveram presentes durante o desenvolvimento desta tese.

Al **Servicio de Nutrición y Bienestar Animal** (SNiBA) por la oportunidad de trabajo durante mi primer año en la UAB. He aprendido muchas cosas gracias a este año que estuve en el SNiBA.

Agradezco a las siguientes empresas: **Cincaporc S.A., Cooperativa de Artesa, Cooperativa Ganadera de Caspe, Copiso Sociedad Cooperativa, Cooperativa de Ivars, Corporación Agroalimentaria Guissona, Piensos del Segre S.A., Progatecsa y Vall Companys** por la confianza en facilitar los datos de sus granjas para que este proyecto pudiese ser desarrollado.

Y también a todos los otros amigos que directa o indirectamente estuvieron presentes en mi vida durante todo este tiempo que estuve en la UAB. Muchas gracias.

RESUMEN

El objetivo de la presente memoria de tesis doctoral fue conocer, jerarquizar y cuantificar la importancia relativa que ejercen distintos factores de producción sobre los índices productivos durante la fase de crecimiento y cebo del cerdo. Para alcanzar estos objetivos, se propusieron tres estudios (capítulos 5, 6 y 7) que se detallan a continuación.

En el **primer estudio** se construyó una base de datos referida a las condiciones de producción y rendimientos productivos de cerdos en crecimiento y engorde en España, con objeto de obtener información representativa y fiable de la situación del sector. Utilizando un modelo de encuesta, se recogió información de 764 lotes pertenecientes a 452 granjas propiedad de nueve empresas españolas (un total de 1.157.212 cerdos). La información recogida en la encuesta, obtenida entre 2008 y 2010, se dividió en cuatro partes: información general, instalaciones, alimentación y parámetros productivos. La mayoría de las granjas estudiadas: eran "sitio 3" o albergaban únicamente cerdos en crecimiento y cebo (94,7%), producían cerdo "industrial" (86,7%), engordaban machos enteros y hembras (59,5%) y utilizaban la raza Pietrain como macho finalizador (70,0%). Las instalaciones contaban con un control automático de la ventilación (71,2%) y los corrales alojaban entre 13-20 cerdos (87,2%), disponían de $\geq 50\%$ del suelo emparrillado (70,0%), comederos de boca única sin agua incorporada (54,0%) y bebedero tipo chupete (88,7%). El 75,0% de las granjas utilizaban tres piensos a lo largo de todo el ciclo y los administraban en forma de pellet (91,0%). El 61,3% de las granjas realizaban tratamientos antibióticos tres veces o más a lo largo de todo el periodo y solamente el 36,5% obtenían el agua de bebida de la red

pública. Las variables continuas estudiadas presentaron los siguientes valores: número medio de cerdos alojados por lote, 1.515 ± 949 cerdos; peso medio inicial y final, $19,0 \pm 2,56$ y $108 \pm 6,2$ kg; duración media del ciclo de crecimiento y cebo, 136 ± 12 días; porcentaje de saldos, $1,4 \pm 1,23\%$; porcentaje de ocupación de las instalaciones, $99,7 \pm 1,36\%$; consumo medio de pienso por cerdo $244 \pm 26,1$ kg; ganancia media diaria, $0,657 \pm 0,0650$ kg; índice de conversión, $2,77 \pm 0,178$ kg/kg y porcentaje de mortalidad, $4,3 \pm 2,64\%$. Los datos constituyen un reflejo bastante representativo del sector español de crecimiento y engorde porcino y pueden ayudar a mejorar la eficiencia productiva y económica de las granjas españolas de porcino de crecimiento y engorde.

El **segundo estudio** fue diseñado para desarrollar los primeros modelos destinados a predecir el efecto de algunos parámetros del manejo e instalaciones en el consumo total de pienso (CTP), índice de conversión (IC) y en la mortalidad (MORT) en cerdos de crecimiento y cebo. De este modo, con el objeto de reducir la variabilidad en la base de datos original se planteó uniformizar algunos factores de producción como la genética del macho finalizador, los géneros de los animales presentes en los lotes y el intervalo de peso medio inicial y final. En total, 316 lotes en 246 granjas de crecimiento y engorde pertenecientes a seis empresas integradoras españolas, totalizando 459.148 cerdos oriundos de machos finalizadores Pietrain fueron utilizados. Los datos fueron colectados a través de un modelo de encuesta con información de algunas prácticas de manejo (época de alojamiento de los animales, separación de sexos en los corrales, número de orígenes de los cerdos, origen del agua de la granja, pesos medios inicial o final) e instalaciones (tipo de suelo, tipo de comedero, tipo de control de la ventilación o número de cerdos alojados por

lote) durante 2008 y 2009. Los resultados indicaron que lotes de cerdos alojados entre octubre y marzo tuvieron mayor CTP, IC y MORT que aquellos alojados entre abril y septiembre ($P < 0,01$); lotes que hacían la separación de sexos en los corrales presentaron menor CTP y mejor IC que aquellos no separados ($P < 0,001$); cerdos alimentados con un comedero uni-espacio con bebedero incorporado también presentaron menor CTP y mejor IC en comparación a los comederos uni y multi-espacio sin bebederos ($P < 0,001$). Cerdos alojados en corrales con menos de 50% de emparrillado tuvieron mejor IC que aquellos alojados en suelos con 50% o más de emparrillado ($P < 0,05$). Lotes con cerdos de múltiples orígenes presentaron superior MORT comparado a aquellos con cerdos de un único origen ($P < 0,01$). Lotes alojados en naves que realizaron un control manual de la ventilación presentaron mayor MORT que aquellos con control automático ($P < 0,001$). Lotes pequeños (< 800 cerdos alojados) tuvieron menor MORT que los medios (800-2000 cerdos) y los grandes (> 2000 cerdos) ($P < 0,01$) y finalmente cerdos que fueron enviados para el sacrificio con mayor peso medio final presentaron mayor CTP y peor IC ($P < 0,05$). Los valores de los coeficientes de determinación (R^2) obtenidos en cada modelo fueron de 0,63 para el CTP, 0,27 para el IC y 0,20 para la MORT. Los resultados confirman que en general el CTP, IC y MORT fueron afectados por el trimestre de entrada de los lotes en las naves, número de orígenes de los cerdos, manejo de separación de sexos en los corrales, tipo de comedero y de control de ventilación, porcentaje de emparrillado de los corrales y peso medio inicial y final.

Finalmente, el **tercer estudio** tuvo por objetivo utilizar dos métodos diferentes de regresión lineal para estudiar los resultados. Se partió de la información obtenida, a través de encuesta, en 686 lotes de cerdos de crecimiento y engorde pertenecientes a 404 granjas

integradas en siete empresas. Se estudiaron los factores que afectaban el índice de conversión (IC) y la mortalidad (MORT) utilizando un análisis de regresión en cada una de las empresas por separado (A a G) o de forma global (OD) en una base de datos que contenía información de seis de estas empresas. Los factores estudiados fueron la localización geográfica de las granjas, trimestre de entrada de los lotes en las granjas, la combinación entre la genética del macho finalizador, sexo/género de los cerdos y su segregación en los corrales, el uso de la vacuna contra la enfermedad del circovirus, número de orígenes de los cerdos, edad de la granja, porcentaje de emparrillado de los corrales, tipo de comedero, bebedero y de control de la ventilación, número de piensos utilizados y su forma física, vías utilizadas para la administración de antibióticos, origen del agua utilizada en la granja y el número de cerdos entrados por lote y su peso medio inicial. Se observó que la variabilidad entre empresas fue mucho mayor que aquella intra empresas y algunos factores no presentaron variabilidad dentro de algunas empresas. Los factores que resultaron significativos en dos o más empresas y/o en el OD para el IC fueron: el trimestre en que los cerdos fueron alojados en la granja (A, $P < 0.05$; B, $P < 0.001$; C, $P < 0.10$; E, $P < 0.01$ y OD, $P < 0.01$), la combinación entre genética del macho finalizador, sexo/género y su segregación (B, $P < 0.10$; C, $P < 0.01$ y OD, $P < 0.01$), el número de orígenes de los cerdos (C, $P < 0.10$; G, $P < 0.10$ y OD, $P < 0.01$), la edad de la granja (D, $P < 0.01$ y F, $P < 0.05$) y el peso inicial (A, $P < 0.001$; D, $P < 0.001$; G, $P < 0.001$ y OD, $P < 0.001$). En cuanto a la mortalidad, los factores importantes fueron: el trimestre de entrada (A, $P < 0.10$; B, $P < 0.001$; C, $P < 0.05$; E, $P < 0.05$; F, $P < 0.05$ y OD, $P < 0.001$), el número de orígenes de los animales (B, $P < 0.10$; C, $P < 0.01$; G, $P < 0.05$ y OD, $P < 0.001$), el origen del agua en la granja (A, $P < 0.05$ y E, $P < 0.05$), el número de cerdos alojados (B, $P < 0.05$; F, $P < 0.05$ y OD, $P < 0.001$) y el peso inicial (D, $P < 0.10$ y E, $P <$

0.05). Además, dado que solamente algunas empresas facilitaron informaciones como la edad de la granja, las vías de utilización de antibióticos o el origen del agua, estos factores no fueron incluidos en el OD, pero si en los modelos individuales por empresa. Estas tres variables mostraron un efecto importante y podrían ser variables de interés en aquellas empresas que no las facilitaron. Finalmente, se observó que los modelos desarrollados por empresa fueron más precisos y fiables que aquellos derivados de la base de datos global (mayores R^2).

SUMMARY

The main objective of this thesis was to know and quantify the importance of the various factors of the pig production on animal performance during the growing-finishing phase. In order to achieve this main objective, a set of three studies (chapters 5 to 7) were performed and they will be detailed as follow.

In the **first study** it was built a data set including productive performance and production factors data of growing-finishing pigs in Spain in order to perform a representative and reliable description of the traits of Spanish growing-finishing pig industry. Data from 764 batches from 452 farms belonging to nine Spanish companies (1,157,212 pigs) were collected through a survey including four parts: general information, facilities, feeding and performance parameters obtained between 2008 and 2010. Most studied farms: had only growing-finishing pigs on their facilities (94.7%), produced "industrial" pigs (86.7%), had entire male and female (59.5%) and Pietrain-sired pigs (70.0%), housed between 13-20 pigs per pen (87.2%), had $\geq 50\%$ of slatted floor (70%), single-space dry feeder (54.0%), nipple drinker (88.7%) and automatic ventilation systems (71.2%). A 75.0% of the farms used three feeding phases using mainly pelleted diets (91.0%), 61.3% performed three or more antibiotic treatments and 36.5% obtained water from the public supply. Continuous variables studied had the following average values: number of pigs placed per batch, $1,515 \pm 949$ (SD) pigs; initial and final body weight, 19.0 ± 2.56 and 108 ± 6.2 kg; length of growing-finishing period, 136 ± 12 days; culling rate, $1.4 \pm 1.23\%$; barn occupation, $99.7 \pm 1.36\%$; feed intake per pig and fattening cycle, $244 \pm$

26.1 kg; daily gain, 0.657 ± 0.0650 kg; feed conversion ratio, 2.77 ± 0.178 kg/kg and mortality rate, $4.3 \pm 2.64\%$. Data reflecting the practical situation of the Spanish growing and finishing pig production may contribute to develop new strategies in order to improve the productive and economic efficiency of growing-finishing pig units.

The **second study** was designed to develop the first models in order to predict the effect of animal management and farm facilities on total feed intake (TFI), feed conversion ratio (FCR) and mortality rate (MORT) of grow-finishing pigs. Thus, with the aim of reducing variability in the database it was proposed standardize some production factors as the breed of the sire pigs, gender of the animals placed in batches as well as initial and final body weight interval. In total, 316 batches from 246 grow-finishing farms, consisting of 459,148 Pietrain sired pigs in six Spanish pig companies were used. Data collection consisted of a survey on management practices (season of placement, split-sex by pens, number of pig origins, water source in the farm, initial or final body weight) and facilities (floor, feeder, ventilation or number of animals placed) during 2008 and 2009. Results indicated that batches of pigs placed between October and March had higher TFI, FCR and MORT than those placed between April and September ($P < 0.01$); batches which had split-sex pens had lower TFI and better FCR than those with mixed-sex in pens ($P < 0.001$); pigs fed with a single-space feeder with incorporated drinker also had the lowest TFI and best FCR in comparison to single and multi-space feeders without a drinker ($P < 0.001$). Pigs placed in pens covered by slats to less than 50% presented an improvement in FCR than pens covered by slats to 50% or more ($P < 0.05$). Batches filled with pigs from multiple origins had higher MORT than those from a unique origin ($P < 0.01$). Pigs housed in barns

that performed manual ventilation control presented higher MORT in comparison to automatic ventilation ($P < 0.001$). Small batches (< 800 pigs placed) had the lowest MORT than medium (800-2000 pigs) and big batches (> 2000 pigs) ($P < 0.01$) and finally pigs which were sent to slaughterhouse with an higher final body weight presented higher TFI and poorer FCR ($P < 0.05$). The R^2 values obtained in each model were 0.63 for TFI, 0.27 for FCR and 0.20 for MORT. Results showed that in general TFI, FCR and MORT were influenced by the trimester of placement of the batches in the facilities, number of pig origins of the pigs, sex segregation in pens, type of feeder and ventilation control, percentage of slat in pens and initial and final body weight.

The **third study** aimed to collect available information from a representative number of pig producing companies in Spain using two different lineal regression approaches. Thus, information from 686 batches of growing-finishing (GF) pigs from 404 GF farms integrated in seven Spanish companies was obtained between July 2008 and July 2010 by survey. Factors affecting feed conversion ratio (FCR) and mortality (MORT) were studied by multiple linear regression analysis in each single company (A to G) and in an overall database (OD) that contained data from six of these companies. Factors studied were geographic location of the farm, trimester the pigs entered the farm, genetics, gender, use of circovirus vaccine, number of origins the pigs were obtained from, age of the farm, percentage of slatted floor, type of feeder, drinker and ventilation, number of phases and form of feed, antibiotic administration system, water source, and number and initial weight of pigs. Variability among companies was much higher than within companies and some factors presented no variability within companies. In two or more companies studied and/or in OD, the trimester when pigs were placed in the farm (A, $P < 0.05$; B, $P < 0.001$; C, $P <$

0.10; E, $P < 0.01$ and OD, $P < 0.01$), genetics-gender-sex segregation (B, $P < 0.10$; C, $P < 0.01$ and OD, $P < 0.01$), number of origins of the pigs (C, $P < 0.10$; G, $P < 0.10$ and OD, $P < 0.01$), age of the farm (D, $P < 0.01$ and F, $P < 0.05$) and initial body weight (A, $P < 0.001$; D, $P < 0.001$; G, $P < 0.001$ and OD, $P < 0.001$) were the most important factors affecting FCR. With regarding to the mortality, trimester of placement (A, $P < 0.10$; B, $P < 0.001$; C, $P < 0.05$; E, $P < 0.05$; F, $P < 0.05$ and OD, $P < 0.001$), number of origins of the pigs (B, $P < 0.10$; C, $P < 0.01$; G, $P < 0.05$ and OD, $P < 0.001$), water source in the farm (A, $P < 0.05$ and E, $P < 0.05$), number of pigs placed (B, $P < 0.05$; F, $P < 0.05$ and OD, $P < 0.001$) and the initial body weight (D, $P < 0.10$ and E, $P < 0.05$) were considered the main factors. Age of the farm, antibiotic administration system, and water source were only provided by some of the studied companies and were not included in the OD model, however, when analyzed in particular companies these three variables had an important effect and may be variables of interest in companies that do not record them. It was observed that models developed by company were more accurate and reliable than those originated from the overall database.

ABREVIACIONES

AC: autonomous community	CR: culling rate (%)
ADG: average daily gain (kg/pig)	CTP: consumo total de pienso
ADURFAT: average duration of the fattening period (days)	DRINKER: type of drinker
AGEBARN: age of the barn	FBW: final body weight (kg/pig)
AUJESVAC: number of Aujeszky's dose vaccine.	FCR: feed conversion ratio (kg/kg)
BO: barn occupation (%)	FEEDER: type of feeder
BREED: breed of the sire pigs	FFORM: form of the feeds
BREGENSEG: breed of the pig-sire, genders present in batches and sex segregation in batches.	FLOOR: floor conditions
BW: body weight	FPHASE: number of feed phases
CIRCOVAC: circovirus vaccine	FREQATB: frequency of antibiotic treatments
Com A: company A	GENDER: genders presents
Com B: company B	GDP: ganancia diaria de peso
Com C: company C	GF: grow-finishing
Com D: company D	HERD: type of herd
Com E: company E	IBW: initial body weight (kg/pig)
Com F: company F	IC: índice de conversión
Com G: company G	MYCOVAC: mycoplasma vaccine
CP: content of crude protein in each feed (%)	MORT: mortality rate (%)
CS: cooling system	MORT: mortalidad (%)
	NE: content of net energy in each feed (kcal/kg)
	NPP: number of pigs placed
	OD: overall database (companies A to F)

ORIGIN: number of pig origins

PATHATB: pathways of antibiotics used

PIGFAT: type of commercial pig produced

PIGPEN: number of pigs per pen

r: coeficiente de correlación

R²: coeficiente de determinación

REML: restricted maximum likelihood procedure

sqrtMORT: square root of the mortality rate

SPLITSEX: sex segregation in pens

TDURFAT: total duration of the fattening period (days)

TFI: total feed intake (kg/pig)

TL: content of total lysine in each feed (%)

TRIMESTER: trimester of placement

VENT: type of ventilation control

WATERHIG: water hygienization

WATERSOU: water source at the farm

YEAR: year of placement

ÍNDICE

Capítulo 1. Introducción general	1
Capítulo 2. Revisión bibliográfica	7
2.1. El sector porcino en España	9
2.1.1. <i>Características de la producción porcina</i>	9
2.1.2. <i>Margen de beneficio y costes de producción</i>	15
2.2. Factores que afectan los rendimientos productivos durante el engorde	19
2.2.1. <i>Genética y peso al sacrificio</i>	19
2.2.2. <i>Sexo</i>	21
2.2.3. <i>Trimestre de entrada de los animales</i>	24
2.2.4. <i>Estructura del engorde y origen de los animales</i>	27
2.2.5. <i>Factores sanitarios</i>	30
2.2.6. <i>Alimentación</i>	33
2.2.6.1. <i>Contenido en energía y nutrientes del pienso</i>	34
2.2.6.2. <i>Numero de piensos</i>	37
2.2.6.3. <i>Forma física del pienso</i>	40
2.2.6.4. <i>Importancia del agua de bebida</i>	42
2.2.7. <i>Instalaciones</i>	45
2.2.7.1. <i>Densidad de animales</i>	46
2.2.7.2. <i>Número de cerdos por corral</i>	48
2.2.7.3. <i>Tipo de suelo</i>	51
2.2.7.4. <i>Tipo de comedero y bebedero</i>	53
2.2.7.5. <i>Sistema de ventilación, refrigeración y calefacción</i>	58
2.2.7.6. <i>Tamaño de la granja de crecimiento y engorde</i>	62
2.3. Modelos matemáticos de predicción utilizados en ciencia animal	64
2.3.1. <i>Definición</i>	64
2.3.2. <i>Tipos y características</i>	66
Capítulo 3. Objetivos	71

Capítulo 4. Metodología general	77
4.1. Origen del estudio y obtención de la información.....	79
4.2. Diseño y contenido de las encuestas	81
4.3. Proceso de datos y orientación de los estudios realizados	85
Capítulo 5. Descriptive study of production factors affecting performance traits in growing finishing pigs in Spain	89
5.1. Objectives	91
5.2. Material and Methods.....	91
5.2.1. <i>Data collection</i>	91
5.2.2. <i>Data analysis</i>	93
5.3. Results and discussion.....	95
5.4. Conclusions	109
Capítulo 6. Factors affecting mortality, feed intake and feed conversion ratio of grow-finishing pigs	111
6.1. Objectives	113
6.2. Material and methods	113
6.2.1. <i>Sampling and data collection</i>	113
6.2.2. <i>Data analysis</i>	116
6.3. Results	117
6.3.1. <i>Company</i>	117
6.3.2. <i>Total feed intake</i>	118
6.3.3. <i>Feed conversion ratio</i>	120
6.3.4. <i>Mortality</i>	122
6.4. Discussion.....	124
6.5. Conclusions	128
Capítulo 7. Managing variability in decision making in Spanish swine production companies	129
7.1. Objectives	131
7.2. Materials and methods	131
7.2.1. <i>Sampling information and variables collected in the study</i>	131
7.2.2. <i>Data processing and analyses</i>	132
7.3. Results	134

7.3.1. <i>Feed conversion ratio</i>	137
7.3.2. <i>Square root of mortality rate</i>	142
7.4. Discussion.....	146
7.5. Conclusions	149
Capítulo 8. Discusión general	151
8.1. Programación y ejecución de los estudios.....	153
8.2. Ejercicio de validación de algunas ecuaciones	160
8.3. Aspectos manifiestamente mejorables del trabajo y futuros estudios	164
Capítulo 9. Conclusiones generales	169
9.1. Conclusiones de carácter general.....	171
9.2. Conclusiones derivadas de los modelos globales	172
9.3. Conclusiones derivadas de los modelos por empresas	173
Capítulo 10. Anexos	175
Capítulo 11. Referencias bibliográficas	189

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 1

Tab. 1.1. Resultados productivos en transición y cebo de una muestra de 350.000 lechones.....	5
---	---

Capítulo 2

Tab. 2.1. Valores medios de los principales índices técnicos registrados en explotaciones porcinas españolas entre 2009-2011.	14
Tab. 2.2. Principales características observadas en los diferentes tipos de cerdos engordados en España.....	20
Tab. 2.3. Efecto del sexo/género sobre los parámetros productivos y algunas características en la canal del cerdo.	23
Tab. 2.4. Efecto de la temperatura ambiente sobre los parámetros productivos de cerdos en crecimiento y engorde.....	27
Tab. 2.5. Influencia del estado sanitario de granjas porcinas sobre los rendimientos productivos de cerdos en crecimiento y cebo (los valores entre paréntesis indican diferencias relativas con respecto al grupo control).	33
Tab 2.6. Recomendaciones en energía, proteína y lisina para piensos de cerdos en crecimiento y cebo.	35
Tab. 2.7. Estudios que evalúan el efecto de diferentes formas físicas de presentación del alimento sobre los parámetros productivos y la prevalencia de salmonella de cerdos en crecimiento y engorde.....	42
Tab. 2.8. Factores que afectan el consumo ad libitum de agua.	43
Tab. 2.9. Requerimientos mínimos de agua en cerdos de crecimiento y engorde de diferentes pesos, en condiciones de termo neutralidad y consumiendo un pienso equilibrado.	44
Tab. 2.10. Densidad máxima aconsejada para diferentes intervalos de pesos. Comparación entre requerimientos técnicos y legales.	47
Tab. 2.11. Efectos de la temperatura ambiente y de la densidad de animales sobre la ganancia diaria de peso (GDP), el consumo diario de pienso (CDP) y la relación ganancia de peso:consumo de pienso o eficiencia alimentaria (G:C).	48

Tab. 2.12. Diferencia de rendimiento entre grupos de cerdos alimentados en un comedero uni-espacio sin o con bebedero incorporado.	56
Tab. 2.13. Tasas de ventilación recomendadas para los ventiladores habituales.	59
Tab. 2.14. Ritmo de ventilación recomendado (m ³ /cerdo y hora) para cerdos en crecimiento y cebo alojados, durante el invierno o verano, en climas templados o en condiciones mediterráneas	61
Tab. 2.15. Niveles de organización jerarquizado en producción animal	66

Capítulo 4

Tab. 4.1. Información contenida en la encuesta.	82
--	----

Capítulo 5

Tab. 5.1. Description of the variables recorded.....	94
Tab. 5.2. Characterization of the descriptive variables recorded from 452 growing-finishing farms.	97
Tab. 5.3. Comparison of the main continuous variables registered between "industrial (I)" and "heavy (H)" fattening pigs through univariate statistical analysis.....	101
Tab. 5.4. Pearson correlation coefficients for all production performance recorded in batches from "industrial" growing-finishing pigs.....	102
Tab. 5.5. Associations between predictor variables (production factors) and the main outcome variables (productive performance) in batches from "industrial" growing-finishing pigs. Company was included as random effect and categorical variables which were not significant ($P > 0.10$) for any variable are not shown.	105

Capítulo 6

Tab. 6.1. Descriptive values of independent categorical variables studied in 316 batches from 246 herds of grow-finishing pigs belonging to six integrated pig companies.	115
Tab. 6.2. Descriptive values of independent continuous variables and dependent variables in 316 batches from 246 herds of grow-finishing pigs belonging to six integrated pig companies.....	116
Tab. 6.3. Estimates of the effects of the factors studied (s.e.) on total feed intake in kilograms per pig in 316 batches from 246 herds of grow-finishing pigs belonging to six integrated pig companies.....	119

Tab. 6.4. Estimates of the effects of the factors studied (s.e.) on feed conversion ratio (FCR) in 316 batches from 246 herds of grow-finishing pigs belonging to six integrated pig companies.	121
Tab. 6.5. Estimates of the effects of the factors studied (s.e.) on square root of mortality rate in 316 batches from 246 herds of grow-finishing pigs belonging to six integrated pig companies.	123

Capítulo 7

Tab. 7.1. Characterization of the descriptive variables recorded from 686 batches in 404 grow-finishing farms belonging to seven integrated pigs companies.	134
Tab. 7.2. Means and standard deviation of initial and final body weight (IBW; FBW), feed conversion ratio (FCR) and square root of the mortality rate (sqrtMORT) observed from 686 batches in 404 grow-finishing farms belonging to seven integrated pigs companies.	136
Tab. 7.3. Parameter estimates (s.e. in parenthesis) for the feed conversion ratio (FCR) in each company studied (n = 686 batches) and when companies A to F were grouped in the same database (OD, N = 607 batches).	139
Tab. 7.4. Parameter estimates (s.e. in parenthesis) for the square root of mortality rate (sqrtMORT) in each company studied (N = 686 batches) and when companies A to F were grouped in the same database (OD; N = 607 batches)	144

Capítulo 8

Tab. 8.1. Ejemplos de estudios que evalúan la influencia de diferentes factores de producción en relación a los índices productivos más determinantes en la fase de crecimiento y engorde de cerdos.	155
---	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Fig. 2.1. Evolución de la producción de carne de cerdo en España en el período 2001-2011.	10
Fig. 2.2. Distribución regional del censo porcino (intensivo y extensivo) en España durante el año 2011.	11
Fig. 2.3. Importancia de las diferentes comunidades autónomas en el censo de lechones, cerdos de engorde y reproductores durante el año 2011.	12
Fig. 2.4. Distribución de las explotaciones de reproductoras y de engorde de Cataluña según el tipo de régimen de propiedad en los meses de mayo-junio de 2011.	13
Fig. 2.5. Media anual del precio de los piensos de lechones, cerdos en crecimiento y engorde y cerdas reproductoras durante el período 2006-2011.	16
Fig. 2.6. Distribución de costes de producción de un cerdo de 105 kg en España durante el año 2011.	17
Fig. 2.7. Distribución de costes en la fase de crecimiento y engorde en España durante 2011.	18
Fig. 2.8. Influencia de la época del año sobre el índice de conversión de cerdos en crecimiento-cebo.	25
Fig. 2.9. Tipos y organización de las granjas en España.	29
Fig. 2.10. Concentración de nutrientes en piensos de cerdos de crecimiento y engorde de acuerdo con un sistema diario, con tres y diez piensos.	38
Fig. 2.11. Relación entre el número de piensos administrados en crecimiento y engorde y el tamaño de las granjas.	39
Fig. 2.12. Impacto del tamaño del grupo sobre la ganancia media diaria de peso (GDP) y el índice de conversión (IC) durante las fases de transición, crecimiento y engorde.	50
Fig. 2.13. Diferencias en la proporción de “slat” presentes en los corrales de naves de crecimiento y cebo.	52
Fig. 2.14. Ejemplo de comederos utilizados habitualmente en las naves de crecimiento y cebo de cerdos en España.	54

Fig. 2.15. Ejemplo de los bebederos más comúnmente encontrados en las naves de crecimiento y cebo de cerdos en España.....57

Fig. 2.16. Tipos más comunes de ventilación encontrados en las naves de crecimiento y cebo de cerdos en España.....61

Capítulo 4

Fig. 4.1. Porcentaje de granjas estudiadas por provincia española (n=454 granjas).84

Capítulo 5

Fig. 5.1. Distribution of the number of pigs placed per batch (764 batches).95

Capítulo 8

Fig. 8.1. Dendrograma obtenido de la relación entre las variables categóricas en las diferentes granjas pertenecientes a una de las siete empresas integradoras evaluadas (A a G).....157

Fig. 8.2. Valores reales y predichos del índice de conversión y porcentaje de mortalidad de 18 lotes de la empresa A utilizados para validar los modelos creados para la misma empresa.....162

Fig. 8.3. Valores reales y predichos del índice de conversión y porcentaje de mortalidad de 14 lotes de la empresa C utilizados para validar los modelos creados para la misma empresa.....163

Capítulo 1

Introducción general

El desarrollo de la porcicultura moderna/industrial en España se inicia con la aparición de las fábricas de piensos en los años 50-60 del siglo pasado, tal vez mimetizando el desarrollo un poco anterior de la avicultura. En el último medio siglo el panorama ha evolucionado de forma espectacular; a la sombra de las fábricas de pienso aparecieron las granjas en “ciclo cerrado”: ganaderos que gestionaban entre decenas y algún centenar de cerdas reproductoras. En un lugar físico único convivían cerdas, verracos, lechones y cerdos de engorde hasta su traslado al matadero. En los años 70 aparecieron las primeras empresas productoras que, ligadas o no a una fábrica de piensos, gestionaban distintas granjas con objeto de reducir costes y obtener el máximo beneficio de la comercialización. Un poco más tarde, en los años 80 y especialmente 90, estas empresas se convirtieron en grandes integradoras justificando la aparición del sistema de producción “en fases”: las madres, los lechones destetados y los cerdos en crecimiento y engorde se alojan en instalaciones separadas a varios kilómetros de distancia. Este nuevo sistema permite especializar la producción, obtener beneficio de un proceso de economía de escala y además aprovechar algunas ventajas sanitarias.

Durante las últimas dos décadas, la porcicultura en su conjunto ha dirigido su atención preferente a abordar nuevos retos que permitan ofrecer un mejor servicio al consumidor y a la sociedad en general. Entre estos nuevos retos se señalan: a) obtener carne y productos cárnicos de calidad contrastada con las máximas garantías de salubridad y trazabilidad, b) garantizar las condiciones de bienestar animal en todas y cada una de las etapas de la cría, el transporte y el sacrificio y c) generar una especial sensibilidad en aspectos medioambientales derivados de la actividad ganadera e industrial asociada al porcino.

En la mayoría de los casos, bajo una legislación cambiante y cada vez más restrictiva, abordar estas cuestiones requiere implementar soluciones más eficientes para viejos problemas (generar nuevas líneas genéticas, mejorar las instalaciones, optimizar el ciclo reproductivo, la alimentación y el control de enfermedades, la comercialización). El éxito integral de la empresa porcina actual se fundamenta en realizar una minuciosa recogida de información en granja que convenientemente tratada utilizando modelos/sistemas de gestión técnica y económica permitan realizar un seguimiento continuo y preciso del ciclo productivo y así tomar las decisiones más adecuadas para optimizar la utilización de los recursos disponibles y garantizar el éxito de la empresa.

Mientras los programas de gestión técnica (BDporc, PigChamp...) para controlar el ciclo reproductivo del rebaño y el flujo de animales en la granja se han venido utilizando de forma habitual durante las últimas décadas, los programas de gestión económica se han incorporado más recientemente y solamente unas pocas empresas ofrecen este servicio. De hecho existen informes periódicos a nivel nacional como los publicados por el Ministerio Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (anual) o por el “Observatori del porcí” del Departament d’Agricultura, Alimentació i Acció Rural de la Generalitat de Catalunya (semestral) u otros de alcance internacional como el EUROSTAT o Agri Stats, Inc., que resumen la evolución de los parámetros técnicos y económicos experimentados por el sector a lo largo del tiempo.

El seguimiento permanente de los índices productivos y económicos no pone de manifiesto el impacto ejercido por un determinado aspecto de producción sobre dichos índices y no permite jerarquizar los factores productivos en función de su contribución real al output del sistema. Para ello, se precisa dar un paso más con un enfoque basado en una recogida de información tanto de los índices productivos como de los medios y condiciones

de producción disponibles en un grupo representativo de granjas, seguida de un estudio estadístico destinado a establecer las relaciones más sobresalientes.

Según un informe reciente publicado por la empresa SIP Consultors (SIP Consultors, 2011a), en las condiciones comerciales españolas, las fases de crecimiento y cebo supone alrededor del 62% del coste del cerdo de 100 kg de peso vivo. La fracción más importante del coste total es el gasto en alimentación (66%) que cuando la referimos únicamente a las fases de crecimiento y cebo puede llegar al 78%.

Por otra parte, los resultados publicados en 2011 por la misma empresa (**Tabla 1.1**) muestran una variabilidad importante de los parámetros productivos, tanto durante la transición como en el crecimiento y cebo. Teniendo en cuenta que la muestra de partida proviene de granjas/empresas de nivel superior a la media nacional, no es arriesgado inferir variaciones de 10 a 30% en crecimientos, índices de conversión o en el coste por plaza y año y muy superiores en parámetros como la mortalidad.

Tabla 1.1. Resultados productivos en transición y cebo de una muestra de 350.000 lechones.

	Mejor (M)	Media	Peor (P)	((M-P)/P)%
Transición				
Crecimiento (kg/d)	0,324	0,286	0,247	31
Índice de conversión	1,62	1,71	1,80	11
Mortalidad (%)	2,1	3,0	4,0	90
Coste/Plaza y año (€)	27	30	33	22
Cebo				
Crecimiento (kg/d)	0,697	0,652	0,607	15
Índice de conversión	2,57	2,71	2,85	11
Mortalidad (%)	2,9	3,8	4,8	66
Coste/Plaza y año (€)	32	35	38	19

Adaptado de SIP Consultors (2011b).

Los principales factores que afectan los índices productivos, y consecuentemente los costes del porcino en crecimiento y cebo, son bien conocidos (Losinger, 1998; Cline y Richert, 2001; Quiles y Hervia, 2008). Entre ellos destacan la línea genética y el tipo comercial de cerdo producido, la alimentación, las condiciones de las instalaciones y el estado sanitario. Existen trabajos científicos que relacionan estos parámetros entre sí, en especial la línea genética y el tipo comercial (Corrêa *et al.*, 2006; Gispert *et al.*, 2007; Latorre *et al.*, 2004), la alimentación (Han *et al.*, 2000; Hill *et al.*, 2007; Möbeler *et al.*, 2010; Niemi *et al.*, 2010) e incluso el estado sanitario (Martinez *et al.*, 2009) y los que se refieren a las condiciones de las instalaciones (Garcimartín *et al.*, 2008; Street y Gonyou, 2008; Averós *et al.*, 2010; Saha *et al.*, 2010).

Desafortunadamente, existe poca información que relacione de un modo cuantitativo los factores de producción o los principales parámetros que los definen con los índices de eficiencia productiva y económica, y todavía es más escasa la información referida a las condiciones de producción españolas siendo por tanto necesarios más estudios destinados a cuantificar los efectos de esos factores de producción en los principales índices productivos en granjas porcinas españolas.

Capítulo 2

Revisión bibliográfica

2.1. El sector porcino en España

2.1.1. Características de la producción porcina

Atendiendo al volumen de negocio, el sector porcino es el más importante de la ganadería española. De acuerdo con el informe Anual del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2012), generó en 2011 casi 5.200 millones de euros, equivalente a 34,2% de la producción final ganadera y un 12,4% de la producción final agraria. En la **Figura 2.1** se presenta la evolución de la producción de carne de cerdo en España en el período de 2001 a 2011. España ocupa la cuarta posición en producción de carne de cerdo a nivel mundial, siendo solamente superado por China, Estados Unidos y Alemania. En 2011 la producción fue de aproximadamente 3,5 millones de toneladas equivalente a un 3,45 % de la producción mundial y un 15,5% de la UE-27. Las principales comunidades autónomas productoras de carne de cerdo en España (MAGRAMA, 2011) son Cataluña (40,4%), Castilla y León (14,6%), Andalucía (8.8%), Castilla La Mancha (8,5%) y Aragón (8%).

Además la carne de cerdo es la que se industrializa en mayor proporción con casi el 40% siendo el resto consumido en fresco. En 2011, el consumo per cápita de carne de cerdo fue de un 48,2 kg, considerado alto cuando se compara con otros países. La demanda interna se justifica principalmente por ciertos hábitos alimentarios de la población, la enorme variedad de productos transformados y el precio, muy competitivo, que facilita el consumo preferente de esta carne en comparación a la de otras especies.

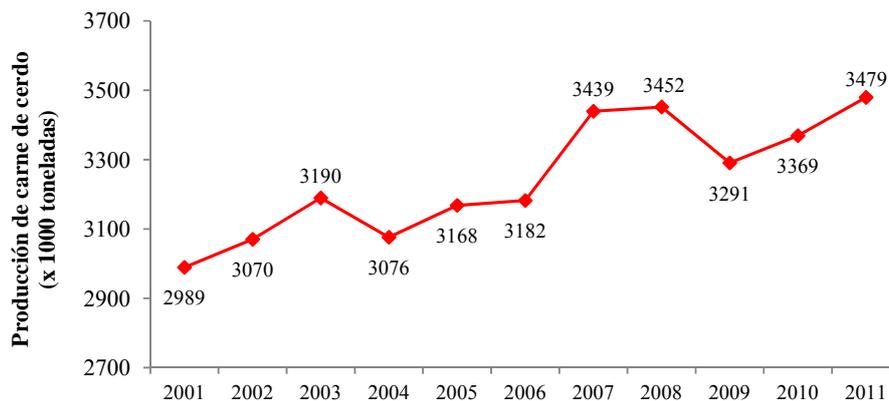


Figura 2.1. Evolución de la producción de carne de cerdo en España en el período 2001-2011 (MAGRAMA, 2012).

En 2011 España exportó un 39 % de la carne producida, un 77 % a países de la UE y el resto a países extracomunitarios, siendo la carne de cerdo el principal componente de la exportación nacional de carne (MAGRAMA, 2012). Por ello, algunas empresas españolas han especializado buena parte de su producción con destino al mercado exterior.

Aunque el sector “carne de cerdo” incluye no solo la producción del cerdo a nivel de granja sino también su sacrificio, transformación, distribución y venta al consumidor, en esta revisión nos referiremos únicamente al subsector productivo.

En diciembre de 2011 (MAGRAMA, 2012) España contaba con 25,6 millones de cabezas (17,3 % de la cabaña porcina de la UE-27), de ellas alrededor de dos millones y medio de reproductoras. En la **Figura 2.2** se presenta la distribución regional del censo porcino (intensivo y extensivo) en España durante el año 2011.

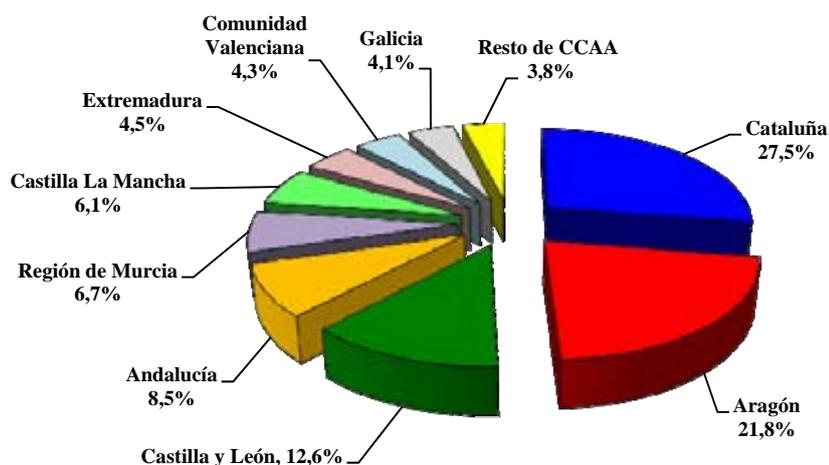


Figura 2.2. Distribución regional del censo porcino (intensivo y extensivo) en España durante el año 2011 (MAGRAMA, 2012).

Según el informe del Observatori del Porcí (2012), el grupo más importante es el de animales de cebo (61,6%), seguido por los lechones (27,8%) y finalmente un 9,6% corresponde a reproductores. Como muestra la **Figura 2.3**, a pesar de que la producción está distribuida por todo el país, las comunidades de Cataluña y Aragón cuentan con un mayor censo de lechones (51%), cebo (50%) y también de reproductores (41%).

En 2011 la cabaña porcina se distribuía en aproximadamente 93.000 explotaciones. En el informe del año anterior (MAGRAMA, 2011) eran aproximadamente 94.252 explotaciones, de ellas, 52.744 de cebo o cebaderos (56%), 21.687 de producción mixta (23%), 10.280 granjas de ciclo cerrado (11%), 5.171 granjas de producción de lechones (5,5%), 3.112 sin clasificar (3,3%), 338 granjas de multiplicación (0,4%), 356 transición de lechones (0,4%), 317 granjas de recría de reproductoras (0,3%), 142 granjas de selección (0,2%), 62 centros de inseminación artificial (0,1%) y 43 clasificadas como "otras" (0,008%).

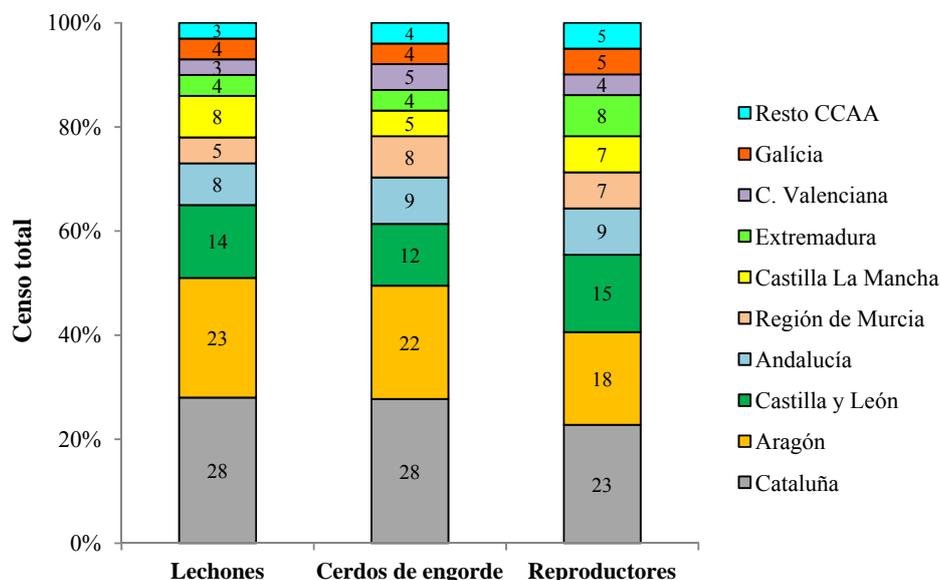


Figura 2.3. Importancia de las diferentes comunidades autónomas en el censo de lechones, cerdos de engorde y reproductores durante el año 2011 (MAGRAMA, 2012).

El sector productivo, a su vez, se organiza genéricamente en tres “formas” de producción: libre, cooperativas de producción y empresas integradoras. En el primer caso, ya sean grandes empresas o pequeñas granjas, el empresario/ganadero asume el riesgo y disfruta del beneficio de toda la cadena de producción mientras en los dos últimos, la cooperativa o empresa integradora suele gestionar la comercialización de los cerdos además de ofrecer un conjunto de servicios al ganadero que es quién suele correr con el cuidado de los cerdos y de las instalaciones. La relación de obligaciones y derechos entre el ganadero y la cooperativa o la empresa integradora se especifica mediante contrato. En los últimos años el sistema de integración ha aumentado considerablemente su implantación, no solo en los engordes sino también en los rebaños de madres (Observatori del Porcí, 2012). La **Figura 2.4** presenta la distribución de explotaciones de reproductoras y de engorde en

Cataluña según el tipo de régimen de propiedad entre los meses de mayo y junio de 2011 (aunque la información se refiere solamente a Cataluña, los resultados pueden extrapolarse al menos a parte del Estado). De este modo, se puede observar que en los rebaños de madres, el sistema de producción libre (propiedad) es el predominante mientras que en el caso de los engordes la integración es la forma de producción más común.

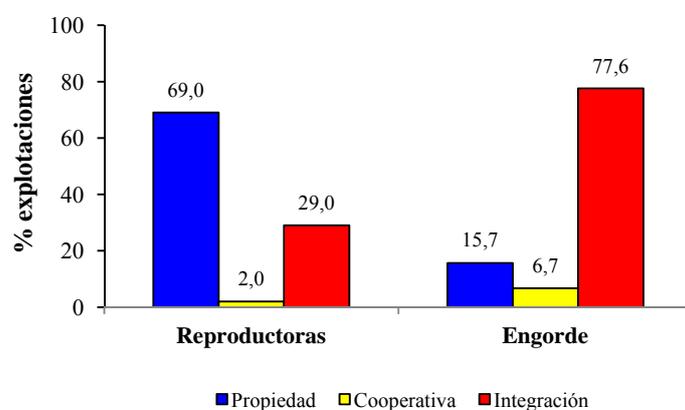


Figura 2.4. Distribución de las explotaciones de reproductoras y de engorde de Cataluña según el tipo de régimen de propiedad en los meses de mayo-junio de 2011. Adaptado del DAAM (2012).

Además del factor empresarial, sin duda el factor que más incide en el éxito y supervivencia del subsector de producción de porcino son los rendimientos técnicos y económicos de las explotaciones. En este sentido, la **Tabla 2.1** incluye los principales índices productivos obtenidos en el trienio 2009-2011.

Tabla 2.1. Valores medios de los principales índices técnicos registrados en explotaciones porcinas españolas entre 2009-2011.

Índices técnicos	2009	2010	2011
Madres			
n (cerdas presentes)*	-	524.688	583.416
Destetados/cerda presente y año	21,17	21,38	21,60
Destetados/cerda productiva y año	25,04	25,53	26,12
Nacidos totales/camada	12,48	12,73	12,97
Nacidos muertos/camada	-	-	1,03
Destetados/camada	10,12	10,31	10,52
Repeticiones (%)	18,3	16,8	15,5
IDC (Intervalo destete 1ª cubrición)	6,6	6,3	6,1
IDCF (Intervalo destete cubrición fértil)	10,2	9,7	9,1
Edad al destete (días)	23	23	23
Partos/cerda presente y año	2,09	2,07	2,05
Reposición (%)	47,2	47,0	45,2
Transición			
n (lechones salidos)*	-	8.000.000	9.250.000
Peso inicial	6,0	6,0	6,0
Peso final	18,0	18,0	18,0
% mortalidad	3,34	3,3	3,2
IC (índice de conversión)	1,74	1,72	1,69
Kg de pienso consumido/cerdo	20,5	20,29	19,96
Ganancia media diaria (g/día)	-	282	284
Duración media (días)	-	41,8	41,6
Engorde			
n (cerdos salidos)*	-	11.337.775	12.475.503
Peso inicial	18,0	18,4	18,3
Peso final	105,0	105,7	105,0
% mortalidad	5,1	4,1	3,7
IC (índice de conversión)	2,70	2,67	2,66
Kg de pienso consumido/cerdo	232,3	231,9	229,2
Ganancia media diaria (g/día)	-	649	662
Duración media (días)	-	134,0	131,5

Adaptado del Observatorio del porcino (2012).

*Los índices se refieren a más del 20% de todas las reproductoras españolas y su descendencia.

Según el último informe del Observatori del Porcí (2012), en 2011 hubo un incremento de 2,3% en la productividad con respecto al año anterior; debido principalmente a un aumento tanto del número de lechones nacidos vivos como de los destetados por parto. En cuanto a la fase de engorde, se observa a lo largo de los últimos años una constante

mejora en los principales índices productivos, principalmente respecto al porcentaje de mortalidad y el índice de conversión que descendieron respectivamente un 27,5 y 1,5% entre 2009 y 2011.

2.1.2. Margen de beneficio y costes de producción

El margen de beneficio se define como la diferencia entre el precio de venta y el coste de producción o, más académicamente, la diferencia entre ingresos y gastos en un determinado ejercicio económico. Dentro del sector carne de porcino, en el último medio siglo se ha producido una reducción continuada del margen de beneficio destinado al subsector de producción (desde el 50% en los años 70 a menos del 25% durante la primera década del siglo XXI), que se ha trasladado al principio a los mataderos y posteriormente al subsector de la distribución y venta (USDA, 2003).

El subsector de producción trabaja actualmente con márgenes muy estrechos que determinaron por ejemplo pérdidas medias por cerdo engordado de entre 11 y 12 euros durante los años 2007 y 2008, con valores máximos de 30 euros/cerdo en otoño de 2007 (SIP consultors, 2011c). La situación mejoró ligeramente en 2009 y 2010 y empeoró de nuevo (pérdidas medias de 3 euros/cerdo) en 2011 (SIP consultors, 2011c). Esta situación se ha debido en gran medida al aumento del coste de los piensos como consecuencia del alza de precios de las principales materias primas (**Figura 2.5**). La diferencia entre los años 2007 y 2008 y el 2011 radica en que en este último caso aumentó el precio de venta del cerdo engordado y hubo una ligera tendencia a la reducción de los costes fijos (SIP consultors, 2011c).

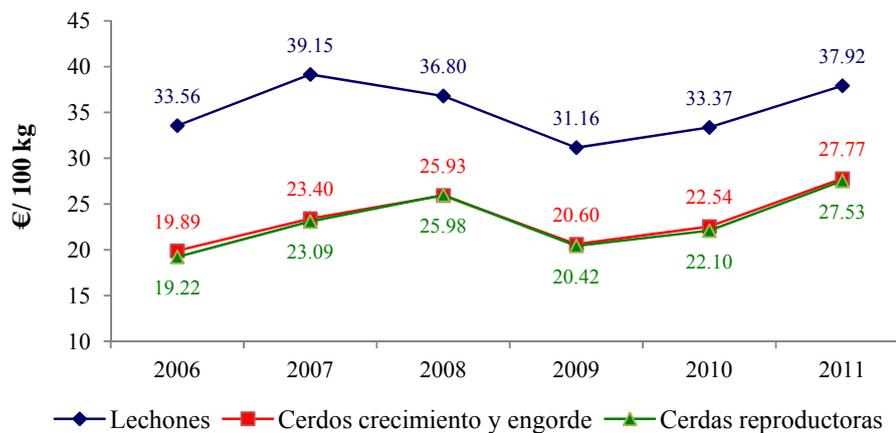


Figura 2.5. Media anual del precio de los piensos de lechones, cerdos en crecimiento y engorde y cerdas reproductoras durante el período 2006-2011. Adaptado del DAAM (2012).

En cualquier caso, para aumentar el margen de beneficio, el subsector de producción ha de centrarse fundamentalmente en optimizar los costes de producción dado que el precio de venta del cerdo se fija en lonja por consenso entre los distintos agentes del sector. Además, a diferencia de otros países, en España el precio de lonja no es de garantía sino orientativo y casi siempre suele ser algo más alto que el precio real que percibe el ganadero.

Durante el año 2011 el coste de producción de un cerdo de 105 kg en España fue de 125 €. Del total, el 77% fueron costes variables y el 23% costes fijos. Además, la alimentación representó una fracción elevadísima de los costes variables (91%) y de estos el 75% fueron de pienso durante el crecimiento y engorde. En cuanto a los costes fijos, la partida más representativa fue la mano de obra con un 35% (Observatori del Porcí, 2012). En la **Figura 2.6** se muestran más detalles de las diferentes partidas de coste.

Según SIP Consultors (2012), durante la fase de crecimiento y engorde, alrededor de 82,0% del coste es de alimentación, el 15,7% son costes fijos y de integración y el 2,3% se gasta en medicación (**Figura 2.7**).

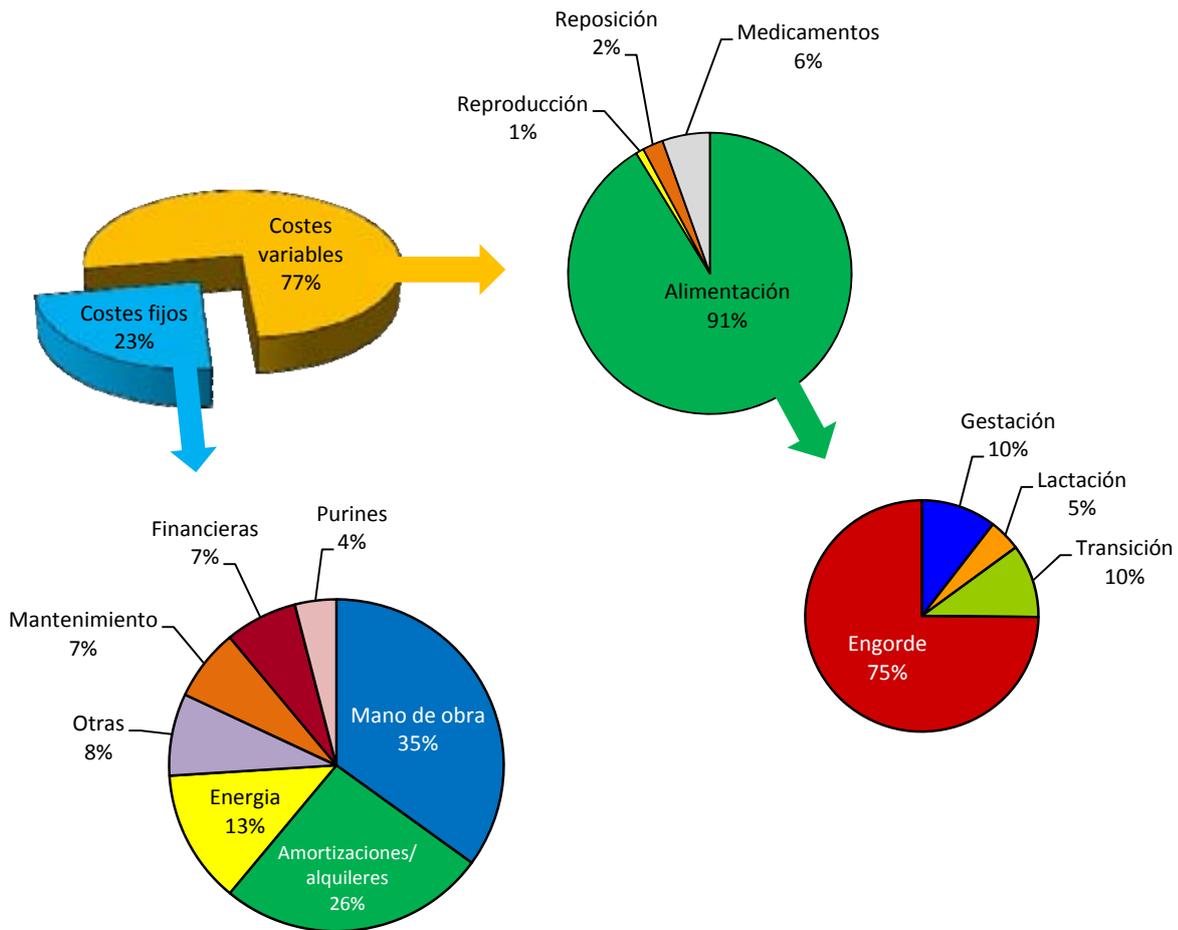


Figura 2.6. Distribución de costes de producción de un cerdo de 105 kg en España durante el año 2011. Adaptado del Observatori del porcí (2012).

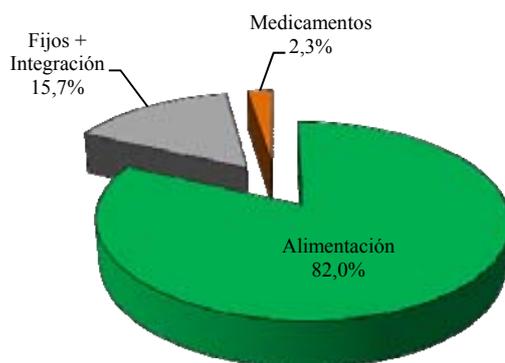


Figura 2.7. Distribución de costes en la fase de crecimiento y engorde en España durante 2011. Adaptado de SIP Consultors (2012).

Según un informe publicado por SIP Consultors (2010), la distribución del coste de producción en España difiere del resto de los países europeos productores de porcino. España presenta costes variables más altos que la mayoría de los países de nuestro entorno (alrededor de 0,10 € más caro por kg de cerdo producido), debido a un mayor coste de alimentación derivado tanto de la dependencia exterior en el abastecimiento de materias primas como de la logística de aprovisionamiento centrada en la existencia de demasiados puntos de entrada (fundamentalmente puertos de mar) y el transporte mayoritariamente realizado por carretera. Por el contrario, España presenta unos costes fijos inferiores (entre 0,10 y 0,15 € más bajos) que nos permiten ser competitivos.

En definitiva, la fase de crecimiento y engorde representa las tres cuartas partes de los costes de producción del cerdo a matadero y conocer y, si es posible, cuantificar los factores que condicionan los rendimientos productivos durante esta fase puede ayudar a jerarquizar los problemas, tomar decisiones y, así, optimizar los costes de producción y aumentar el margen de beneficio.

2.2. Factores que afectan los rendimientos productivos durante el engorde

2.2.1. Genética y peso al sacrificio

Las características genéticas están directamente relacionadas con los rendimientos productivos de los cerdos al marcar su potencial de crecimiento magro, su precocidad o su capacidad máxima de ingestión de alimento. Además, el potencial genético está directamente relacionado con el tipo comercial de cerdo producido y, consecuentemente, con el peso óptimo al sacrificio.

En España, la producción de cerdos, excluyendo el ibérico, incluye tres “tipos” de cerdos comerciales. Cerdo “de verdeo” que se comercializa con bajo peso (máximo 95 kg) y se asocia a la utilización como finalizador de una línea genética que ofrezca una canal con alta deposición magra y mínimo contenido en grasa (ej: Pietrain) (Michalska *et al.*, 2004). Cerdo “industrial” sacrificado entre 100 y 110 kg de peso vivo y que se asocia a genéticas llamadas “blancas” como por ejemplo finalizadores Large White o Landrace o también algunos cruces de hembras de estas razas con Pietrain. En el lado opuesto, el cerdo “pesado” o “jamónero” (entre 120-130 kg) está asociado a líneas genéticas que produzcan animales con mayor nivel de grasa en general e intramuscular en particular siendo la raza Duroc la más conocida y utilizada (Plastow *et al.*, 2005).

Los troncos raciales más utilizados en España para obtener las cerdas híbridas y los machos finalizadores son sin duda el Large Withe y Landrace en distintas proporciones como línea madre y Pietrain, Landrace y Duroc como línea padre. Con todo también existen experiencias más minoritarias donde por ejemplo se introduce porcentajes variables de sangre Duroc en la línea materna o se utilizan líneas paternas menos conocidas como la Berkshire; en ambos casos se persigue fundamentalmente mejorar la calidad de la carne.

Tabla 2.2. Principales características observadas en los diferentes tipos de cerdos engordados en España (J. Coma, comunicación personal).

Tipo de cerdo	Peso sacrificio	Macho finalizador	Castrado	IC	GMD	Confor.	Producto final
Verdeo	90-95	Lw x Pi	No	++++	++	+++	Charcutero Cocidos
Industrial	100-110	Lw x Pi Lw Lw x Du	Si / No	+++ (NC) ++ (C)	+++	++	Charcutero Curados
Pesado	> 120	Du	Si	+	++	+	Jamonero Curados

LW – Large White; Pi – Pietrain;
 Du – Duroc;
 NC - No castrado;
 C – Castrado;
 IC – Índice de conversión;
 GMD – Ganancia media diaria de peso;
 Confor. – Conformación.

En las últimas décadas, se han obtenido avances importantes en la mejora genética de los animales de cebo; el objetivo principal ha sido disminuir la proporción de tejido graso y aumentar la de tejido magro en la canal y, consecuentemente, mejorar el índice de conversión (Gispert *et al.*, 1997).

Estas genéticas, que producen canales bien aceptadas para el consumo en fresco, tienen el inconveniente bien de presentar un nivel insuficiente de grasa intramuscular, que se relaciona directamente con la calidad sensorial de la carne, o bien de depositar escasa grasa de cobertura, parámetro muy importante para conseguir la correcta curación de piezas nobles como el jamón. En este sentido, en los últimos años se observa una tendencia a aumentar el peso al sacrificio de los animales para intentar compensar estas dificultades (Cisneros *et al.*, 1996). En efecto, con el aumento del peso al sacrificio se puede mejorar la deposición de grasa de cobertura (Latorre *et al.*, 2004) y algunas características organolépticas de la carne como el sabor, la ternura y la jugosidad (Piao *et al.*, 2004),

debidas en gran medida a la mayor cantidad de la grasa intramuscular presente en la carne (Hugo *et al.*, 1999).

De hecho, cuando el cerdo se destina a la producción de jamones curados, existe la tendencia a sacrificarlos con un mayor peso dado que se precisa una cantidad mínima de grasa de cobertura e intramuscular en la carne para garantizar su procesado (Latorre *et al.*, 2004). Para ello se suele elegir un macho finalizador Duroc, por presentar características intermedias de calidad de canal y tener una mayor deposición de grasa intramuscular (Plastow *et al.*, 2005). Sin embargo, el hecho de sacrificar animales con mayor peso empeora la eficiencia alimenticia (Cisneros *et al.*, 1996; Latorre *et al.*, 2004) debido a la menor capacidad relativa de deposición de proteína (músculo) y mayor de grasa.

En un estudio realizado por Edwards *et al.* (2006) se compararon los rendimientos productivos de cerdos oriundos Pietrain y Duroc y se observó que los Duroc presentaron mayores pesos en la semana 26^a, mayor espesor de grasa dorsal y mayor ganancia media diaria entre la semana 10^a y 26^a comparado con los Pietrain. Affentranger *et al.* (1996) también obtuvieron peor índice de conversión en cerdos entre 25 y 103 kg de la raza Duroc comparado con la raza Pietrain (2,75 vs 2,59 respectivamente).

En definitiva se puede concluir que la genética del cerdo se elige en función del tipo de producto que se pretende producir y que las características genéticas de los animales condicionarán la edad y el peso al sacrificio y, consecuentemente, el proceso productivo global y muy especialmente en el periodo de engorde.

2.2.2. *Sexo*

Como ocurre con la genética, el sexo de los animales, en el sentido de género, también tiene relación con el peso final del cerdo y con el tipo comercial producido.

Genéricamente se suelen contemplar hasta tres sexos: machos enteros, machos castrados y hembras. Por tanto habrá granjas que alojarán bien un único sexo o bien una mezcla de hembras con machos enteros o castrados.

Según una encuesta de PIGCAS (2008), en la mayoría de países europeos se castran el 80-100% de los cerdos machos. Las excepciones son Portugal (alrededor del 12%), España (aproximadamente el 33%) y Reino Unido e Irlanda donde apenas se castra. La mayoría de países realizan la castración a los 3-7 días de edad. La castración suele estar directamente relacionada con el peso al sacrificio y tiene por objeto eliminar o minimizar el riesgo de olor sexual de la carne (Diestre *et al.*, 1990); los países que no castran suelen sacrificar los cerdos a pesos inferiores y edades más jóvenes.

La **Tabla 2.3** incluye resultados de diferentes estudios que evaluaron las principales diferencias entre sexos/géneros. Según Medel y Fuentetaja (2001) y Augspurger *et al.* (2002), el potencial de crecimiento de los machos castrados presenta valores iguales o superiores a los machos enteros y siempre mayores que las hembras (Cisneros *et al.*, 1996; Augspurger *et al.*, 2002). Además los machos castrados registran un mayor consumo y presentan peor índice de conversión que las hembras que a su vez convierten peor que los machos enteros (Morales *et al.*, 2010).

Estas diferencias en eficiencia productiva se explican debido a que los machos castrados son más precoces, llegan antes a la pubertad que las hembras y machos enteros, alcanzan antes el máximo potencial de crecimiento magro y el excedente de consumo de energía se utiliza en mayor proporción para la deposición de grasa (Quiniou *et al.*, 1999).

Tabla 2.3. Efecto del sexo/género sobre los parámetros productivos y algunas características en la canal del cerdo.

Estudio	Trat.	DUR	CMD	GMD	G:C	IC	EG	AL
Cisneros <i>et al.</i> (1996)	(1) Castrados (2) Hembras	- 5,5% (1)	-	+ 6,4% (1)	-	-	+ 8,3% (1)	- 6,9% (1)
Dunshen <i>et al.</i> (2001)	(1) Castrados (2) Machos	-	+16,1% (1)	-	-	+ 10,6% (1)	+ 22,9% (1)	-
Hamilton <i>et al.</i> (2003)	(1) Castrados (2) Hembras	-	+8,6% (1)	+ 4,4% (1)	- 5,4% (1)	-	+15,3% (1)	- 2,2% (1)
Mc Cauley <i>et al.</i> (2003)	(1) Machos (2) Hembras	-	+ 7,9% (1)	+ 13,7% (1)	-	- 9,0% (1)	-	-
	(1) Castrados (2) Machos	-	+ 10,6% (1)	-	-	+ 10,6% (1)	+ 16% (1)	- 4,5% (1)
Morales <i>et al.</i> (2010)	(1) Castrados (3) Hembras	-	+ 8,9% (1)	-	-	+ 3,3% (1)	+ 14% (1)	- 4,5 (1)
	(2) Machos (3) Hembras	-	-	-	-	+ 7,5% (3)	-	-
Turkstra <i>et al.</i> (2002)	(1) Castrados (2) Machos	-	-	- 5,4% (1)	- 6,1% (1)	-	-	-

Los valores en porcentajes corresponden al aumento o disminución de un determinado índice en relación al número del tratamiento que aparece entre paréntesis. Todas las diferencias presentadas en la tabla tuvieron una $P < 0,05$.

Trat.: tratamientos.

DUR: duración del período de crecimiento y engorde.

CMD: consumo medio diario de pienso.

GMD: ganancia media diaria de peso.

G:C: relación ganancia de peso / consumo de pienso.

IC: índice de conversión.

EG: espesor de grasa dorsal.

AL: área de lomo.

De hecho, el potencial de crecimiento magro suele ser mayor en los machos enteros seguido de las hembras y de los castrados (Borja y Medel, 1998; Morales *et al.*, 2010). Quiniou *et al.* (1999) encontraron que durante el periodo de cebo (63 a 152 días de vida) los machos castrados presentaron un mayor consumo medio diario de pienso que los machos

enteros (2,70 vs 2,41 kg/día) presentando un índice de conversión 14% mayor y consecuentemente canales más grasas. En otro estudio más reciente de Morales *et al.* (2010) comparando machos enteros, castrados y hembras observaron que durante el periodo global de crecimiento y engorde (74 a 172 días de vida) los castrados registraron un índice de conversión un 10,6% y 7,0% mayor que machos enteros y hembras, respectivamente.

Es importante señalar que, a nivel de granja, la genética y el sexo/género suelen ser factores asociados, es decir, muy comúnmente para producir un cerdo tipo pesado, con mayor deposición grasa, se utilizan machos finalizadores de genética Duroc y machos castrados y hembras, mientras para producir cerdos de “verdeo” o “industrial” se utilizarán preferentemente finalizadores de genética Pietrain, blanca o el cruce entre ellas y machos enteros y hembras.

2.2.3. Trimestre de entrada de los animales

El periodo de crecimiento y cebo puede tener una duración de alrededor de 100 días para cerdos de tipología “industrial” e incluso menos para cerdos “verdeo”, pero puede superar los 150 días para cerdos “jamoneros”. Por ello, la época del año en que los animales inician el periodo crecimiento y cebo y el periodo de permanencia en las granjas ejercen un efecto importante sobre los parámetros productivos. Este efecto está asociado, fundamentalmente, a la variación de las condiciones climatológicas entre las que destaca la temperatura ambiente. Es de esperar que durante el 2º (primavera) y el 4º trimestre (otoño) las condiciones climatológicas (principalmente la temperatura) sean más suaves que durante el 1º y el 3º trimestres (invierno y verano respectivamente) donde el riesgo de sobrepasar la temperatura crítica efectiva inferior y superior y sufrir estrés por frío o calor, respectivamente, es más probable. Por otra parte, en naves mal acondicionadas, las

variaciones diarias de temperatura, que se dan en momentos concretos de la primavera y el otoño, pueden ejercer un efecto determinante a la hora de contraer enfermedades respiratorias (Goodwin, 1985). La **Figura 2.8** muestra los valores medios de índice de conversión corregido, para un peso entre 25 y 100 kg y piensos de 3.150 Kcal de EM, de cerdos alojados en una granja experimental entre los años 1995 y 2001.

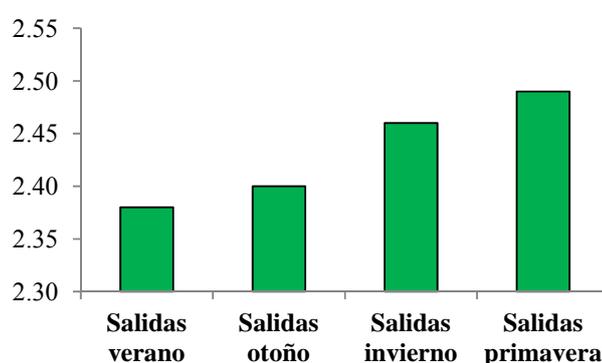


Figura 2.8. Influencia de la época del año sobre el índice de conversión de cerdos en crecimiento-cebo. Adaptado de Santomá y Pontes (2004).

Gonyou *et al.* (2000) estudiaron el efecto de bajas temperaturas ambientales sobre los parámetros productivos y la aparición de enfermedades en cerdos de crecimiento y cebo y encontraron una reducción de la eficiencia alimentaria asociada a utilizar parte de la energía del pienso para mantener la temperatura corporal. Estos resultados fueron confirmados por Oliveira *et al.* (2009) que encontraron un mayor consumo de pienso y un aumento en la mortalidad en los lotes de cerdos que permanecieron en el cebadero durante los meses más fríos del año. En los meses de invierno se registró un mayor riesgo de contraer enfermedades respiratorias, que los mismos autores atribuyen al hecho de que muy

comúnmente, para controlar la temperatura interna de las naves, se mantienen las ventanas cerradas y se reduce el ritmo de ventilación, aumentando las concentraciones de gases nocivos para los animales. También, Maes *et al.* (2004) encontraron una mayor mortalidad en cerdos mantenidos en el cebadero durante los meses de invierno comparado con otras épocas del año.

Por otra parte, otros estudios reflejan una reducción de la eficiencia productiva de los cerdos durante los meses más calurosos del año. Schoder *et al.* (1993) y Maes *et al.* (2001) observaron un aumento de la mortalidad en cerdos durante los meses de verano con un máximo en el mes de septiembre. En la **Tabla 2.4** se presentan distintos estudios que evaluaron los rendimientos productivos de cerdos sometidos a diferentes temperaturas ambiente.

Aunque la temperatura ambiente es el factor climático que suele ejercer un mayor efecto sobre los rendimientos productivos, no es el único y otros componentes (Huynh *et al.*, 2005) como la variación de la humedad relativa o la velocidad del aire, muy comúnmente asociados a la temperatura, también pueden afectar los resultados.

En definitiva, controlar las condiciones ambientales en el interior de las naves, y más concretamente mantener las variaciones de temperatura dentro del intervalo de neutralidad térmica de los animales, contribuye a optimizar los rendimientos productivos. Este control resulta más fácil obtenerlo en naves bien aisladas y se ejerce eligiendo el programa de ventilación más adecuado para cada región o zona geográfica.

Tabla 2.4. Efecto de la temperatura ambiente sobre los parámetros productivos de cerdos en crecimiento y engorde.

Estudio	Tratamientos	CMD	GMD	G:C	MORT
Le Bellego et al. (2002)	(1) 22 °C (2) 29 °C	- 15% (2)	- 13% (2)	-	-
Fagundes et al. (2009)	(1) 17.6-26.6 °C (2) 22.5-33.2 °C	- 16,6% (2)	- 12% (2)	-	-
Hyun et al. (1998a)	(1) 24 °C (2) 28-34 °C	- 8,7% (2)	-	-	-
Maes et al. (2004)*	(1) Jan-Feb-Mar (2) Abr-May-Jun (3) Jul-Ago-Sep (4) Oct-Nov-Dic	-	-	-	+ 10,3% (4)
White et al. (2008)	(1) 23,9 °C (2) 32,2 °C	- 31% (2)	- 46,4% (2)	- 17,9% (2)	-

Los valores en porcentajes corresponden al aumento o disminución de un determinado índice en relación al número del tratamiento que aparece entre paréntesis. Todas las diferencias presentadas en la tabla tuvieron una $P < 0,05$.

* Los animales fueron alojados en uno de los trimestres asignados.

CMD: consumo medio diario de pienso.

GMD: ganancia media diaria de peso.

G:C: relación ganancia de peso / consumo de pienso.

MORT: mortalidad.

2.2.4. Estructura del engorde y origen de los animales

El ciclo productivo del porcino comercial se divide en dos subciclos, de una parte las cerdas y de otra los lechones. El ciclo de las cerdas, se refiere a recría, gestación y lactación y el de los lechones a la transición y el crecimiento y cebo.

De este modo, las granjas porcinas pueden presentar diferentes formas de organización. Cuando todos los grupos de animales se encuentran en una misma granja (diferentes edificios o alojamientos pero misma localización geográfica) se dice que la granja presenta un sistema productivo de "ciclo cerrado"; sistema muy popular en el pasado y que todavía es ampliamente utilizado. Sin embargo, en las últimas décadas en Estados Unidos y en algunos países de Europa se ha popularizado el sistema de producción "en

fases” como alternativa al ciclo cerrado (Harris y Alexander, 1999). Este sistema de producción se puede dividir en hasta tres fases siendo la fase o sitio uno (S1) la que incluye el ciclo de las madres, fase o sitio dos (S2) la que incluye únicamente el período de destete-transición y fase o sitio tres (S3) la que alberga los animales de crecimiento y cebo.

De este modo, las empresas porcinas pueden organizarse de distintas maneras (**Figura 2.9**): a) la granja puede tener las tres fases en el mismo espacio físico (ciclo cerrado = S1+S2+S3); b) presencia en una granja del sitio S1 y S2 y en otra granja del sitio S3 (espacio físico diferente) o bien presentar en una granja el sitio S1 y en la otra los sitios S2 y S3, el sistema “wean to finish” sería un buen ejemplo, o c) presentar cada sitio o fase separadamente (multifases), o sea, cuando cada fase se encuentra en granjas diferentes.

La división de la producción en fases surgió como resultado de la concentración de la producción en granjas con un elevado número de animales (para aprovechar las ventajas de la economía de escala) y también intentando minimizar la transmisión de patógenos, mejorando de esta forma la productividad y los rendimientos (Harris, 1988; Lawrence, 1996). Sin embargo, en la literatura se observan resultados muy variables. Clermont y Désilets (1981) y Maes *et al.* (2004) evaluando los índices de mortalidad durante el crecimiento y engorde encontraron valores superiores en granjas multifase que en granjas de ciclo cerrado. Por otra parte, Gerber *et al.* (2009) evaluando el perfil serológico encontraron que, en relación al ciclo cerrado, las granjas multifase tendieron a tener títulos de anticuerpos contra el PCV2 más bajos en cerdas y más altos en el crecimiento y cebo.

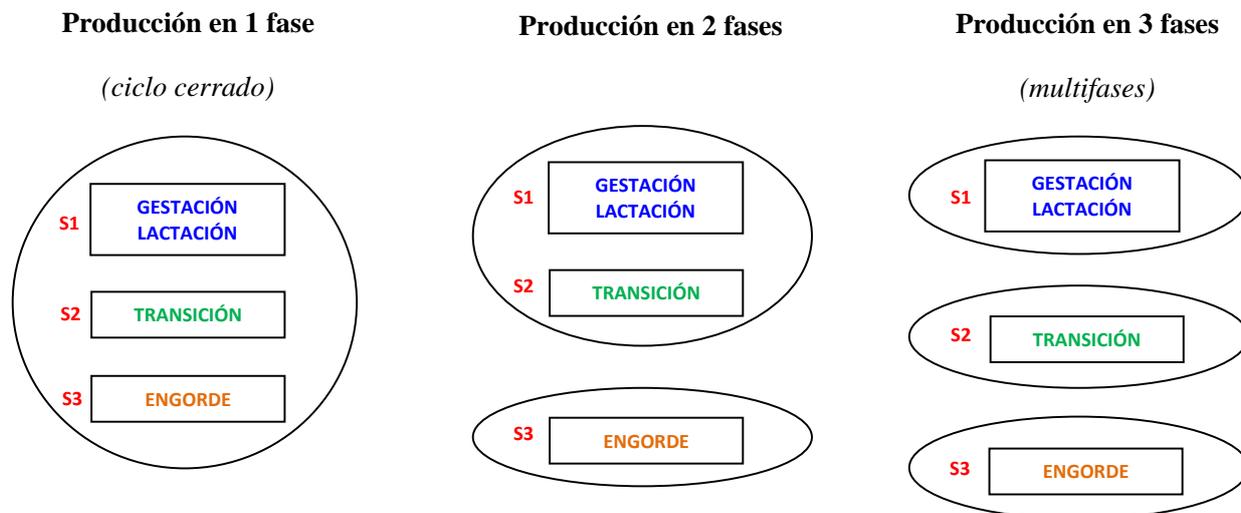


Figura 2.9. Tipos y organización de las granjas en España.

Con todo, en los sistemas de producción “en fases”, la efectividad de las granjas de crecimiento y engorde suele estar relacionada con el número de granjas S1 del que provienen los cerdos alojados en una misma instalación de cebo, es decir, con el número de orígenes del que provienen los animales.

Algunos autores estudiaron el efecto del número de orígenes o procedencias de los animales alojados en cada granja de crecimiento y engorde como posible factor limitante de los índices productivos del cerdo (Harris y Alexander, 1999; Maes *et al.* 2000; Maes *et al.*, 2004).

Está ampliamente documentado que mezclar animales de diferentes orígenes en un mismo lote de crecimiento y cebo constituye un factor de riesgo que empeora de los índices productivos (Backstrom y Bremer, 1976). Los animales de cada origen pueden presentar diferentes tipos de patógenos y niveles inmunitarios, distintos “status” sanitarios, que se comparten al ser mezclados en una misma instalación (Maes *et al.*, 2004).

De este modo, cuando se llena un cebadero con animales de distintos orígenes, se aumentan los factores de riesgo relacionados con la aparición de enfermedades respiratorias (Hurnik *et al.*, 1994; Maes *et al.*, 2000) y gastrointestinales (Yanga *et al.*, 1995), que producen un aumento de la mortalidad en la fase de crecimiento y engorde (Maes *et al.*, 2000). Las pérdidas por mortalidad durante este periodo son especialmente elevadas dado que desaparece la inversión realizada durante todos los periodos precedentes (Holden, 1991).

Maes *et al.* (2004) evaluaron distintos factores de riesgo de mortalidad en cerdos de crecimiento y cebo y observaron que el número de orígenes de los cerdos fue el factor más asociado a la mortalidad, y los lotes con animales de un único origen los que registraron menores mortalidades. Además, por lo general, un aumento en la mortalidad también se refleja en el empeoramiento de otros parámetros productivos como el índice de conversión, el consumo de pienso y los días medios de estancia en el cebadero.

Por tanto, no parece suficientemente demostrado que los crecimientos y engordes de un sistema de producción en fases ofrezcan mejores rendimientos productivos que aquellos provenientes de un ciclo cerrado y que cuando se trabaja en fases es especialmente importante que los cerdos procedan del mismo origen (misma S1) o bien de orígenes (distintas S1) con “status” sanitarios iguales o muy similares.

2.2.5. Factores sanitarios

La aparición de enfermedades en las granjas muy comúnmente está relacionada no solo con la presencia del/los agente/s causal/es sino también con otros factores de producción que pueden actuar de forma predisponente. Entre estos factores destaca el manejo, las instalaciones, la nutrición o el rigor de aplicación de las medidas de

bioseguridad. En cualquier caso, los tratamientos terapéuticos son bastante comunes en los cebaderos, en especial tras la prohibición del uso de los antimicrobianos promotores de crecimiento en enero de 2006. Comúnmente, se utilizan antibióticos, de forma preventiva o curativa, para resolver posibles problemas sanitarios que comprometen los rendimientos productivos. Los preparados antibióticos se ofrecen a los animales por tres vías: el pienso, el agua de bebida o de forma inyectable. Cuantificar la frecuencia de utilización de antibióticos podría ser un índice indirecto del estado sanitario del rebaño y estar inversamente relacionado con algunos parámetros productivos (Miller *et al.*, 2003).

Con la intensificación del sistema productivo de los últimos decenios, se han mantenido, surgido o reaparecido enfermedades causantes de serios problemas como es el caso del circovirus, la enfermedad de Aujeszky, PRRS, micoplasma o la ileítis. Según Martínez *et al.* (2007), los problemas respiratorios y los digestivos son los más importantes en cerdos de cebo y Maes *et al.*, 2000 señalan que causan importantes pérdidas económicas no solamente derivadas de la mortalidad y los costes de medicación sino que además afectan negativamente a los parámetros productivos.

Aunque en ningún caso se pretende revisar en profundidad el efecto de las distintas enfermedades sobre los rendimientos productivos y económicos de los cerdos durante el crecimiento y cebo, sirva como ejemplo el caso del Aujeszky, circovirus y micoplasma.

En cuanto a la enfermedad de Aujeszky, muchos países europeos, incluyendo España, establecieron programas para su erradicación (Martínez-López *et al.*, 2009). Según el APHIS (1999), el coste anual del Aujeszky en EEUU es de aproximadamente US\$ 30 millones. En este sentido, la vacuna es la forma más efectiva para su control y en el crecimiento y engorde normalmente se la utilizan en dos dosis (Martínez *et al.*, 2007). Los

últimos autores encontraron una reducción en el crecimiento y en la eficiencia alimentaria en cerdos en crecimiento y cebo con alta seroprevalencia de esta enfermedad.

El circovirus fue primeramente descrito en España en 1997 y está presente en casi el 100% de las granjas (Sibila *et al.*, 2004). En EEUU, representa un coste medio de 3,0 a 4,0 U\$ por cerdo con picos que pueden llegar a los 20,0 U\$ (Gillespie *et al.*, 2009). En los últimos años, con la aparición de las vacunas, se ha tendido a reducir los daños causados por la enfermedad (Fenaux *et al.*, 2004; Henry y Tokach, 2006) siendo estas normalmente administradas durante la fase de crecimiento (Beach y Meng, 2012). En un estudio llevado a cabo por Jacela *et al.* (2011) utilizando dos dosis de una vacuna comercial durante el crecimiento y cebo (9 y 11 semanas de edad) observaron una reducción del 47% en la mortalidad y un aumento del 3,4% en la ganancia de peso y del 1,5% en la relación ganancia/consumo.

El *M. hyopneumoniae*, está considerado como el principal agente etiológico del complejo respiratorio porcino estando presente en granjas de todo el mundo (Thacker *et al.*, 2006). Lawhorn (1998) afirmó que el coste estimado de la infección por *M. hyopneumoniae* en granjas comerciales americanas fue de 4,08 U\$ /cerdo. En este sentido, en muchos países, la vacunación se aplica en más de 70% de las granjas (Maes *et al.*, 2008). Según estos autores, con el uso de las vacunas comerciales se puede incrementar la ganancia de peso (2,0 a 8,0%), mejorar el índice de conversión (2,0 a 5,0%) y en algunos casos incluso reducir la mortalidad. Diferentes programas de vacunación pueden ser adoptados en la granja dependiendo del sistema de producción de la granja, manejo, patrón de la infección y preferencias del granjero. Sin embargo, dado que la infección puede ocurrir ya en las primeras semanas de edad, la vacunación de los lechones en el destete o transición es lo más habitual (Sibila *et al.*, 2007).

Finalmente, en la **Tabla 2.5** se muestra, a partir de un estudio llevado a cabo por Dionissopoulos (1997), la influencia genérica del estado sanitario de la granja sobre algunos parámetros productivos.

Tabla 2.5. Influencia del estado sanitario de granjas porcinas sobre los rendimientos productivos de cerdos en crecimiento y cebo (los valores entre paréntesis indican diferencias relativas con respecto al grupo control).

	Estado sanitario		
	LP	Muy bueno	De alto riesgo
Consumo de pienso (kg/día)	2,24	2,22 (-1,3%)	1,92 (-14,7%)
Ganancia de peso (kg/día)	0,921	0,872 (-5,3%)	0,723 (-21,5%)
Índice de conversión	2,42	2,55 (-5,4%)	2,67 (-10,3%)

Adaptado de Dionissopoulos (1997).

LP: libre de patógenos.

Muy Bueno; convencional con alto estatus sanitario.

De alto riesgo: bajo estatus sanitario y mezcla de distintos orígenes.

2.2.6. Alimentación

La alimentación es sin duda uno de los factores de producción que más contribuye a alcanzar los índices productivos potenciales del cerdo. El aspecto posiblemente más importante sea conseguir el mejor ajuste entre la composición y el valor nutritivo del pienso a las recomendaciones nutritivas del animal. En este sentido se dispone de información adaptada a las condiciones españolas (FEDNA, 2006, 2010) cuya utilización está bastante generalizada a nivel comercial. Con todo, la información de las tablas es tan solo una guía que en cada caso particular el nutricionista tendrá que adaptar a las condiciones de producción concretas de su empresa.

Factores como el número de piensos utilizados en cada fase o el momento que se cambia de un pienso a otro (Han *et al.*, 2000) o confeccionar piensos diferentes por género (machos, hembras y castrados) (Hill *et al.*, 2007) contribuyen a optimizar la alimentación. Otros aspectos que resultan de interés son la forma física de presentación del pienso; harina o granulo (Möbeler *et al.*, 2010), la práctica de la alimentación líquida (Missotten *et al.*, 2010) o el manejo del pienso en granja asociada al tipo de comedero y a las pérdidas de pienso por desperdicio (Magowan *et al.*, 2008).

Además, el agua de bebida es un factor clave dentro de la alimentación, principalmente en relación a su calidad física, química y/o biológica, su origen y si sufre algún tratamiento antes de ser consumida.

Algunos de estos aspectos serán ampliados en las próximas páginas.

2.2.6.1. Contenido en energía y nutrientes del pienso

El contenido en energía y nutrientes como proteína, aminoácidos, minerales o vitaminas son propiedades esenciales de los piensos dado que proporcionan los elementos para el mantenimiento de los animales y la síntesis de músculo, grasa, huesos y otros componentes (Pomar *et al.*, 2009).

Según Borja y Medel (1998), es bastante común en condiciones prácticas que el nutricionista tenga dificultades para obtener de forma precisa tanto los requerimientos de los animales como el ajuste de las características de las diferentes dietas para satisfacer dichos requerimientos. Los requerimientos están afectados fundamentalmente por factores relacionados con el animal (potencial productivo, edad, peso, sexo e incluso nivel de engrasamiento) (Quiniou y Noblet, 1999), pero también con factores ambientales (condiciones climáticas, características de las instalaciones o densidad de animales) o

ligados a las características sanitarias de la granja (Borja y Medel, 1998). Por otra parte, la disponibilidad y variabilidad de composición química y nutritiva de las materias primas o ingredientes que constituyen los piensos, en especial cuando son subproductos e ingredientes no convencionales, además de las condiciones de fabricación, forma de presentación y administración, determinan variaciones importantes del valor nutritivo de los piensos y contribuyen a elevar el grado de incertidumbre del proceso.

En la **Tabla 2.6** se muestran las recomendaciones de energía, proteína y lisina para piensos de cerdos en crecimiento-cebo según FEDNA (FEDNA, 2006) y la propia FEDNA en su publicación de 2010 (FEDNA, 2010) ofrece información sobre el valor nutritivo y condiciones de utilización de casi 150 materias primas con más de 270 ingredientes; también se incluye información sobre normas de calidad, técnicas de análisis y legislación aplicable (<http://www.fundacionfedna.org/>).

Tabla 2.6. Recomendaciones en energía, proteína y lisina para piensos de cerdos en crecimiento y cebo.

	Peso vivo (kg)			
	18-20	20-60	60-100	> 100
Energía metabolizable (Kcal/kg)	3130	3260	3200	3200
Energía neta (Kcal/kg)	2230	2310	2280	2280
Proteína bruta (%)	16,5-17,5	16,5-18,0	15,0-17,0	13,5-15,0
Lisina total (%)	1,10	1,03-1,07 ¹	0,86-0,92 ¹	0,74
Lisina digestible verdadera (%)	0,91	0,86-0,90	0,72-0,76	0,60

Adaptado de las normas FEDNA (2006).

¹ Dependerá de la genética. En caso de duda, utilizar los niveles superiores.

Según O'Connell *et al.* (2005) y como muestra la **Tabla 2.6**, las necesidades en proteínas y aminoácidos son proporcionalmente más elevadas en el animal joven y disminuyen paulatinamente a medida que aumenta la edad. Conforme aumenta la edad y el peso el animal alcanza el máximo potencial de crecimiento magro y de retención de proteína para posteriormente aumentar la deposición de tejido graso (De Greef y Verstegen, 1993). Dado que el valor energético del pienso se mantiene constante o tiende a aumentar ligeramente con el peso del animal (**Tabla 2.6**), la relación proteína y lisina / energía en el pienso es mayor al principio del crecimiento y disminuye gradualmente hasta el final de cebo (Leek, 1999).

Tradicionalmente se asume que las necesidades de minerales y vitaminas se satisfacen complementando los aportes de las materias primas con materiales inorgánicos para los macrominerales (ej: carbonato cálcico, fosfato bicálcico u óxido de magnesio...) y con la inclusión de una pequeña proporción de corrector vitamínico-mineral para los microminerales y vitaminas. En este sentido el NRC (2012) realiza algunas modificaciones importantes en relación a su publicación de 1998, principalmente en cuanto a los valores de biodisponibilidad del fósforo, intentando reducir su excreción en el ambiente.

Un aspecto de sumo interés y que añade incertidumbre al proceso es la ingestión. Los cerdos en crecimiento y cebo, salvo excepciones, consumen el pienso “ad libitum” y se supone que el consumo voluntario viene gobernado principalmente por el hecho de satisfacer los requerimientos de energía del animal (NRC, 1998). También, el contenido en proteína y el balance de aminoácidos como la lisina pueden repercutir en el consumo de pienso, aunque en menor medida que la energía (Henry *et al.*, 1996). Intentar obtener una predicción suficientemente precisa del consumo real de pienso por los animales en

crecimiento y cebo, posiblemente, sea el primer factor a tener en cuenta para mejorar el proceso de alimentación a nivel de granja.

En definitiva, las desviaciones e imprecisiones que se cometan durante el proceso de alimentación ya sea en la formulación (estimación inadecuada de los requerimientos o del valor nutritivo de las materias primas), confección, administración e ingestión real del pienso por los animales, contribuirán a reducir la eficiencia biológica y económica del proceso. Por ello, optimizar la alimentación se convierte en un feed-back constante entre el nutricionista y los diferentes eslabones de la cadena del pienso, incluido el granjero.

2.2.6.2. *Numero de piensos*

Sin olvidar que cuando se formula un pienso se suele utilizar un margen de seguridad al alza en el nivel de nutrientes para satisfacer las necesidades de la mayoría de la población (Lenis, 1989; Santomá, 1994; Han *et al.*, 1998), la práctica del sistema de alimentación en fases está bastante consolidada en porcinos y tiene como objetivo ajustar de forma más precisa los requerimientos nutricionales del animal durante su crecimiento y engorde a través del uso de diferentes piensos, con objeto de optimizar los rendimientos productivos y reducir costes. En teoría la administración de un mayor número de piensos, diferentes en composición, durante el periodo de crecimiento y engorde ha de mejorar la eficiencia del proceso. Según Pomar *et al.* (2009), la tecnología actual permite diseñar, e incluso implementar a nivel de granja, programas de alimentación capaces de ajustar la cantidad correcta de pienso a las necesidades diarias de los cerdos (**Figura 2.10**).

Este planteamiento, además, minimiza la excreción de nutrientes al medio ambiente, en especial nitrógeno y fósforo, (Garry *et al.*, 2007). En un estudio llevado a cabo por Boisen *et al.* (1991) se demostró que, además de mejorar los rendimientos productivos, la

excreción de nitrógeno se puede reducir hasta un 8% con la utilización de cuatro piensos en lugar de solamente dos. También, Lee *et al.* (1993) recomendaron que tres o cuatro piensos utilizados en el crecimiento y cebo reduce la excreción de minerales en las heces.

En cualquier caso, a nivel práctico no es fácil implementar programas de crecimiento y engorde que incluyan más de tres o cuatro piensos por dos motivos: 1) la logística de preparación del pienso a nivel de fábrica y/o de transporte hasta las granjas no es simple; solamente empresas con un volumen grande de producción podrán hacer un uso eficiente de más de tres o cuatro piensos y 2) por cuestiones estrictamente económicas al evaluar el binomio coste-riesgo.

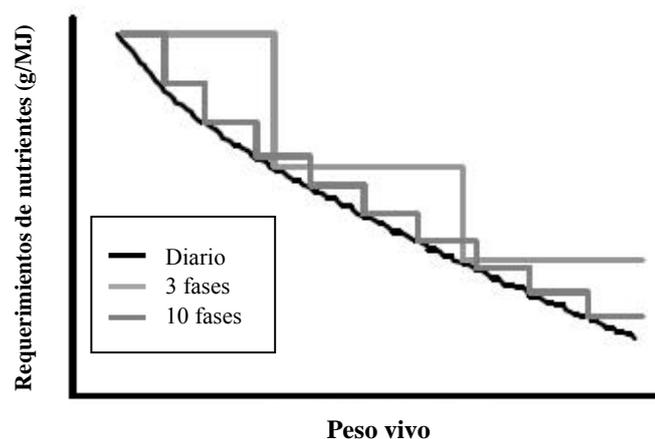


Figura 2.10. Concentración de nutrientes en piensos de cerdos de crecimiento y engorde de acuerdo con un sistema diario, con tres y diez piensos. Adaptado de Pomar *et al.* (2009).

En un trabajo llevado a cabo en EEUU (Coffey, 2008) evaluando las diferencias en los costes al pasar a utilizar de dos a doce piensos en el crecimiento y engorde se observó que es posible ahorrar hasta 1,00 €/cerdo al pasar de dos a tres piensos. Sin embargo, el

ahorro al pasar de tres a cuatro piensos se hace ya muy pequeño (0.35 €/cerdo) con una reducción gradual en el ahorro conseguido al pasar de cuatro a cinco (0.25 €/cerdo) y así sucesivamente hasta el 12°.

Por otra parte, también es cierto que el número de piensos de crecimiento y engorde dependen muchas veces de factores como los pesos de entrada y salida de los animales y, consecuentemente, el tiempo de permanencia de los cerdos en la nave. El tamaño de la granja (número de cerdos alojados) es otro factor determinante; empresas y granjas más grandes y homogéneas suelen utilizar un mayor número de piensos en crecimiento y cebo debido principalmente a una mayor facilidad logística (**Figura 2.11**).

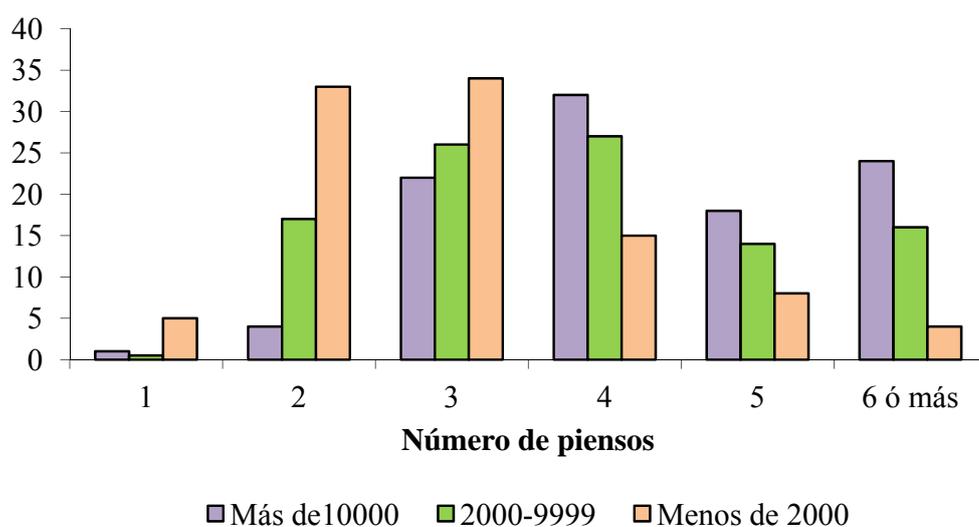


Figura 2.11. Relación entre el número de piensos administrados en crecimiento y engorde y el tamaño de las granjas. Adaptado del NAHMS (1995).

En definitiva, conforme aumenta el número de piensos diferentes administrados durante el periodo de crecimiento y cebo existe en teoría un potencial de mejora de los rendimientos productivos de los animales y de reducción de la contaminación ambiental por deyecciones. Sin embargo en la práctica el número de piensos utilizados suele variar entre dos y cuatro por motivos tanto logísticos como económicos.

2.2.6.3. Forma física del pienso

La forma de presentación del pienso puede afectar a los rendimientos productivos del cerdo en crecimiento y cebo. En este sentido, lo más habitual es administrar los piensos secos y en forma de harina o granulado (pellet), aunque en los últimos años también ha recibido especial atención la alimentación en forma líquida.

En la bibliografía existen suficientes evidencias a respecto de la influencia de la forma física de los piensos en los rendimientos productivos. En condiciones experimentales Rantanen *et al.* (1995) y van Heugten *et al.* (1997) mostraron que piensos en pellets se utilizaron más eficientemente que piensos en harina al mejorar el índice de conversión y la ganancia media diaria de peso, además de reducir la excreción de nutrientes en las heces por un incremento en la digestibilidad. De acuerdo con Schell y van Heugten (1998), la mejora del índice de conversión con el granulado puede variar entre un 4 y un 6% con respecto a la harina.

La utilización de alimentación en forma líquida para el porcino ha surgido como una vía para reducir los costes de producción, especialmente si en el proceso se utilizan coproductos generados por la industria agroalimentaria (Scholten *et al.*, 2002). En este sentido, la utilización de subproductos agroalimentarios puede contribuir a reducir los costes de alimentación entre un 10 y un 25 % (Scholten *et al.*, 2000; Palomo, 2007;

Rodríguez-Estévez *et al.*, 2007). Según Canibe *et al.* (2003), la alimentación líquida puede tener dos versiones; "no fermentada" (definida como la mezcla de alimento y agua inmediatamente antes de la alimentación) y "fermentada" (definida como la mezcla del alimento y del agua en un tanque a cierta temperatura y durante un cierto periodo de tiempo antes de la alimentación). Este sistema de alimentación está bastante consolidado en países como Alemania, Francia, Holanda, Bélgica e Dinamarca donde se estima que más del 60% de los cerdos de engorde son alimentados con alimentos líquidos (Lizardo, 2004). Sin embargo, los inconvenientes de este tipo de alimentación son los altos costes de compra y mantenimiento de las instalaciones y la demanda de personal preparado para utilizar un sistema informático con un cierto grado de sofisticación. Si además se utilizan coproductos el proceso se complica por la variabilidad de su composición y la estacionalidad de la oferta.

Los resultados obtenidos en campo, son variables e incluso contradictorios en algunos casos. Según Quémeré *et al.* (1988), el pienso granulado presenta ventajas en comparación con el pienso en harina, como se ha comentado anteriormente. Sin embargo, cuando el mismo pienso en harina se mezcla con agua y se oferta en forma líquida, los resultados son similares a los del pienso granulado. En la **Tabla 2.7** se presentan algunos estudios que evaluaron los rendimientos productivos y la prevalencia de salmonella en cerdos de crecimiento y engorde dependiendo de la forma física de presentación del alimento.

Como era previsible, las diferencias más notorias se observan en el índice de conversión, con mejores valores en los piensos granulados (pellet) en comparación a aquellos en harina y también a favor de los piensos líquidos en relación a los secos. Además, entre los piensos líquidos, los que incluyen coproductos fueron más eficientes que los en base a pienso sólido y agua.

Tabla 2.7. Estudios que evalúan el efecto de diferentes formas físicas de presentación del alimento sobre los parámetros productivos y la prevalencia de salmonella de cerdos en crecimiento y engorde.

Estudio	Tratamientos	CMD	GMD	IC	S
Farzan <i>et al.</i> (2006)	(1) Pienso líquido (2) Pienso seco	-	-	-	- 4,1 (1)
Jensen y Mikkelsen (1998)*	(1) Pienso líquido (2) Pienso seco	-	+ 4,4% (1)	- 6,9% (1)	-
Potter <i>et al.</i> (2010)	(1) Pienso harina (2) Pienso pellet	-	-	- 5,3% (2)	-
Rantanen <i>et al.</i> (1995)	(1) Pienso harina (2) Pienso pellet	- 6,3% (2)	-	- 4,3% (2)	-
Scholten <i>et al.</i> (1997)	(1) Pienso líquido (harina + agua) (2) Pienso líquido (coproductos)	-	+ 3,6% (2)	- 4,1% (2)	-
Yang <i>et al.</i> (2002)	(1) Pienso harina (2) Pienso pellet	-	-	- 6,0% (2)	-
	(2) Pienso pellet (3) Pienso pellet roto	-	-	- 5,1% (2)	-

Los valores en porcentajes corresponden al aumento o disminución de un determinado índice en relación al número del tratamiento que aparece entre paréntesis. Todas las diferencias presentadas en la tabla tuvieron una $P < 0,05$.

* Valores promedios obtenidos a partir de un comparativo entre 9 experimentos.

CMD: consumo medio diario de pienso.

GMD: ganancia media diaria de peso.

IC: índice de conversión.

S: prevalencia de Salmonella.

2.2.6.4. Importancia del agua de bebida

El agua es un elemento esencial para el cerdo (Vermeer *et al.*, 2009). El agua ingresa en el cuerpo bien a través de los alimentos (poca en el caso del porcino si exceptuamos la alimentación líquida) y, mayoritariamente, es ofertada fresca en el bebedero. El agua que no se retiene en el cuerpo (la mayor parte) lo abandona por las heces, la orina y la respiración; una cantidad testimonial, dado que el cerdo apenas suda, lo hace a través de la piel.

Desafortunadamente, demasiado a menudo no se da al agua la importancia que merece, tanto por su cantidad como por su calidad, pudiendo ser responsable de problemas productivos y/o patológicos en las granjas.

La importancia del agua se debe al hecho de ser el principal componente corporal, siendo un 80% en el lechón al nacimiento y un 51% cuando éste tiene aproximadamente 90 kg de peso (Shields *et al.*, 1983), y por estar implicada en innumerables procesos metabólicos como en el ajuste de la temperatura corporal, mantenimiento de la homeostasis mineral y excreción de productos del metabolismo (particularmente urea) (Brooks *et al.*, 1989; Kyriazakis y Savory, 1997).

A nivel productivo, la máxima ingestión de alimento en cerdos está muy relacionada con una oferta de suficiente agua en cantidad y calidad (Barber *et al.*, 1989). Según Carroll (2003) y Patience y Engele (2005), son muchos los factores que hacen variar la ingestión de agua (**Tabla 2.8**). Una inadecuada ingestión de agua se suele asociar a un reducido consumo de pienso, una baja ganancia diaria de peso y, consecuentemente, un peor índice de conversión.

Tabla 2.8. Factores que afectan el consumo ad libitum de agua.

Incremento del consumo	Reducción del consumo
Estrés por calor	Estrés por frío
Hambre	Agua tibia o caliente
Aburrimiento	Agua muy salada
Dieta alta en proteínas	-
Dieta alta en minerales	-
Agua moderadamente alta en minerales	-
Pienso en pellets	-

Adaptado de Patience y Engele (2005).

Otro aspecto importante es la disponibilidad de agua para los animales, para procurar que su consumo sea máximo. Normalmente los consumos medios diarios de agua en cerdos en crecimiento y cebo, en condiciones de termoneutralidad, (**Tabla 2.9**) varían dependiendo de su peso (Brumm *et al.*, 2000).

Tabla 2.9. Requerimientos mínimos de agua en cerdos de crecimiento y engorde de diferentes pesos, en condiciones de termo neutralidad y consumiendo un pienso equilibrado.

Peso (kg)	Consumo (litros/día)
15 a 20	2,5 a 3,0
20 a 50	3,0 a 4,0
50 a 100	5,0 a 7,0

Adaptado de Patience y Engele (2005).

Un aspecto cada vez más importante en porcicultura es la calidad del agua de bebida. Según estudios llevado a cabo por Mejia *et al.* (2006) y Vico *et al.* (2011), granjas con fuentes de agua que no eran provenientes de la red pública estuvieron asociadas con un alto nivel de contaminación por Salmonella en cerdos de cebo, llevando a empeorar los rendimientos productivos.

A nivel de granja, la calidad del agua depende, en gran medida, de su origen: si procede de la red pública, en cuyo caso no suele causar problemas en los cerdos, o de otros orígenes como pozos en la propia granja o directamente de ríos, lagos o manantiales diversos. Normalmente las granjas que no obtienen el agua de la red pública suelen proceder el tratamiento del agua, utilizando el cloro u otros compuestos equivalentes, con objeto de higienizarla.

2.2.7. Instalaciones

Las condiciones y características de las instalaciones es uno de los factores menos estudiados entre los responsables de la variación de los rendimientos. En ocasiones las instalaciones sin embargo pueden convertirse en el factor más importante, en especial cuando se afecta negativamente el bienestar de los animales (Averós *et al.* 2010).

Entre los aspectos más destacados, referidos a las instalaciones y su interacción con los animales, podemos citar la densidad de animales (Leek *et al.*, 2004; Averós *et al.*, 2010) o las condiciones de aislamiento térmico y de ventilación destinadas a controlar el ambiente interno de las naves (Noblet *et al.*, 2001) pero también otros factores como el tipo de suelo o el tipo y protocolo de manejo de comederos y bebederos.

Sin duda un factor muy importante es la antigüedad de la edificación y las modificaciones que se hayan llevado a cabo, ya que de forma indirecta indica la posibilidad real de control de las condiciones climáticas y de habitabilidad interna. De hecho indirectamente nos permite evaluar las características del sistema de ventilación o el aislamiento térmico, el tipo de suelo de los corrales e incluso, de forma menos convincente, el estado sanitario de la granja.

Sin embargo, existe muy poca información que haga referencia a la antigüedad de las edificaciones. Por ejemplo, en un estudio llevado a cabo por Maes *et al.* (2004) evaluaron el efecto de diferentes factores de riesgo sobre la mortalidad de cerdos de crecimiento y cebo y no encontrando diferencias entre ocho niveles de antigüedad (clasificados en periodos de cinco años para construcciones de entre 2 y 41 años).

2.2.7.1. Densidad de animales

La relación entre el número de animales alojados en una determinada área (densidad de animales) y su productividad ha sido ampliamente documentada en las últimas décadas (Turner *et al.*, 2003; Street *et al.*, 2008; White *et al.*, 2008). En general tanto densidades bajas como, especialmente, densidades altas empeoran los resultados productivos (Meunier-Salaun *et al.*, 1987; Gonyou y Stricklim, 1998; Hyun *et al.*, 1998b; Wolter *et al.*, 2003), siendo los factores más afectados el consumo de pienso y la ganancia de peso. Gonyou y Stricklim (1998) afirmaron que densidades menores de 0,76 m²/cerdo (o 1,32 cerdos/m²) reducen el consumo medio diario de pienso y la ganancia media diaria de peso de cerdos en crecimiento/cebo. También, White *et al.* (2008) constataron que un aumento del espacio por cerdo de crecimiento/cebo de 0,66 a 0,93 m² resultó en un incremento en el consumo de pienso y en la ganancia de peso.

Según Dinand Ekkel *et al.* (2003), la densidad óptima sería aquella que permitiera que los cerdos delimitaran perfectamente las tres áreas de convivencia dentro del corral; un área prioritaria de descanso, otra de alimentación y una tercera de deyecciones. En este sentido, según el BOE (2002) referente a las normas mínimas para la protección de cerdos, la densidad óptima de animales varía de acuerdo con la fase y el peso (**Tabla 2.10**), pudiendo variar desde 0,16 m²/animal para cerdos de menos de 10 kg hasta 0,85 m² para cerdos de 110 kg. Además, un informe elaborado por EFSA (2006) indica que, en condiciones de calor, sería necesario aumentar un 10% el espacio por animal.

Tabla 2.10. Densidad máxima aconsejada para diferentes intervalos de pesos. Comparación entre requerimientos técnicos y legales.

Peso (kg)	Densidad mínima (m ² /animal)	
	Técnico	Legal
< 10	0,16	0,15
10 – 20	0,28	0,20
20 – 30	0,36	0,30
30 – 50	0,50	0,40
50 – 85	0,72	0,55
85 – 110	0,85	0,65

Adaptado del BOE (2002) y de EFSA (2006).

Sin embargo, numerosos estudios demuestran que el efecto de la densidad de animales sobre el bienestar y los rendimientos productivos depende, indirectamente, de otros factores tales como la temperatura ambiente de la nave (Brumm y Miller, 1996; White *et al.*, 2008), el tamaño del grupo alojado en el mismo corral (Patherick *et al.*, 1989; Gonyou y Stricklin, 1998; Turner *et al.*, 2000, 2003; Street y Gonyou, 2008), el tipo de suelo (Corino *et al.*, 2003; Averós *et al.*, 2010) o el espacio de comedero (Morrison *et al.*, 2003).

La gran mayoría de autores afirman que, en verano, un aumento de la temperatura ambiente potencia el efecto negativo sobre los rendimientos productivos provocado por altas densidades de animales; de hecho, en verano se recomienda aumentar los requerimientos de espacio por cerdo alojado (Kerr *et al.*, 2005). En la **Tabla 2.11** se presentan de forma resumida los resultados de un estudio realizado por White *et al.* (2008) en el que se evaluó el efecto de dos densidades y dos temperaturas ambiente sobre los rendimientos productivos de cerdos de crecimiento y cebo.

Tabla 2.11. Efectos de la temperatura ambiente y de la densidad de animales sobre la ganancia diaria de peso (GDP), el consumo diario de pienso (CDP) y la relación ganancia de peso:consumo de pienso o eficiencia alimentaria (G:C).

	23,9° C		32,2° C		Nivel de significación	
	0,93m ²	0,66m ²	0,93m ²	0,66m ²	T	S
GDP (kg)	0,95	0,84	0,62	0,45	< 0,01	< 0,01
CDP (kg)	3,2	2,9	2,3	2,0	< 0,01	< 0,01
G:C (kg/kg)	0,29	0,28	0,26	0,23	< 0,01	< 0,01

Adaptado de White *et al.* (2008).

T = efecto de la temperatura; S = efecto del espacio disponible por animal.

Otro aspecto a considerar es que, en condiciones prácticas, la densidad de animales no siempre es uniforme entre corrales de la misma granja y, en todo caso, no es una información que suela registrarse en los engordes. Una forma más fácil y practica de obtener indirectamente esta información es a través de la densidad de la nave, es decir, el valor de la relación entre el número total de cerdos alojados en la nave y su capacidad teórica (Maes *et al.*, 2004).

2.2.7.2. Número de cerdos por corral

El tamaño del grupo o el número de cerdos presentes por corral en la nave de crecimiento/engorde, suponiendo una densidad correcta, también puede afectar los rendimientos productivos. McGlone y Newby (1994) indican que en la literatura desafortunadamente el número de cerdos por corral se confunde muy a menudo con la densidad de animales. En los últimos años la porcicultura industrial ha seguido la tendencia de aumentar el tamaño del grupo en los cebaderos (Penny 2000) aunque, los resultados

encontrados en la bibliografía destinados a estudiar la influencia del tamaño de grupo sobre los rendimientos productivos son bastante contradictorios (Turner y Edwards, 2000).

De acuerdo con Wolter y Ellis (2002), los grupos con más de 50 cerdos pueden ofrecer beneficios económicos, de bienestar y también de manejo. En grupos grandes, se minimiza el estrés de los individuos subordinados debido a que tienen más espacio en el corral para huir y evitar el contacto con los dominantes (Turner *et al.*, 2000). Por el contrario, otros estudios muestran que hay una pérdida de eficiencia a medida que se aumenta el tamaño del grupo. Este efecto se puede observar en los resultados de un estudio de Turner *et al.* (2003) en que se midió el impacto del tamaño del grupo de cerdos en la ganancia de peso y en el índice de conversión en las fases de transición, crecimiento y engorde (**Figura 2.12**). El estudio indica que al aumentar el tamaño del grupo se reduce el crecimiento diario y aumenta el índice de conversión, en especial durante el periodo de crecimiento.

Pedersen (1990) también encontró una reducción de la ganancia de peso con cerdos mantenidos en grupos de 48 animales comparados con grupos de 16. Así mismo, Turner *et al.* (2000) encontraron una reducción de un 6,6% en la ganancia de peso en grupos de 80 cerdos comparado con grupos de 20 que, además, fue independiente del espacio por cerdo. La disminución de la ganancia de peso observada en grupos grandes puede deberse al hecho de que los animales tienen una mayor actividad de locomoción entre las diferentes áreas del corral, que conlleva un mayor gasto de energía debido al ejercicio (Turner *et al.*, 2000).

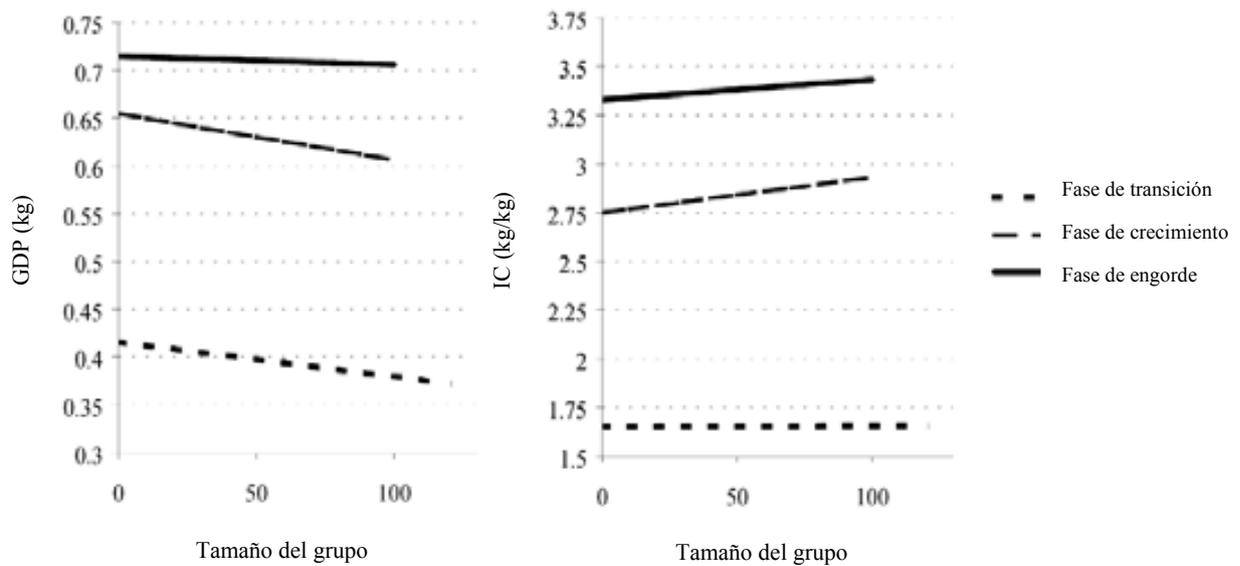


Figura 2.12. Impacto del tamaño del grupo sobre la ganancia media diaria de peso (GDP) y el índice de conversión (IC) durante las fases de transición, crecimiento y engorde. Adaptado de Turner *et al.* (2003).

Gonyou y Stricklyn (1998) indican que el concepto tamaño de grupo debería ser acotado y sugieren que debería ser considerarse tan solo comparando entre grupos pequeños (menos de 10 cerdos) y grandes (más de 10 cerdos).

Además de la densidad, otro factor que interacciona con el tamaño del grupo es el número y espacio de comedero (Morrison *et al.*, 2003). Un estudio llevado a cabo por estos autores señala que cuando había 9 cerdos por espacio de comedero en lugar de 15 el índice de conversión mejoró aproximadamente un 6,8%.

2.2.7.3. Tipo de suelo

El suelo de los corrales de crecimiento y cebo suelen ser de cemento/hormigón y en la inmensa mayoría de los casos disponen de una fracción significativa (entre el 20 y el 100%) de emparrillado (“slat”). Este emparrillado ha de cumplir con unas medidas adecuadas (un máximo de 18mm de superficie de luz y un mínimo de 80mm de superficie de costilla en naves de crecimiento y cebo) con objeto de facilitar la limpieza y minimizar la posibilidad de que los cerdos registren accidentes locomotores (BOE, 2002).

El principal interés del tipo de suelo radica en la proporción de “slat”, dado que indirectamente se relaciona con las emisiones de amoníaco y otros gases nocivos dentro de la nave, que afectan al bienestar y consecuentemente los rendimientos de los animales, debido a posibles problemas respiratorios y/o lesiones pulmonares. La legislación europea de protección ambiental sugiere reducir las emisiones de amoníaco de la naves porcinas (Navarotto *et al.* 2002). Son varios los estudios destinados a evaluar el efecto del tipo de suelo (específicamente el porcentaje de emparrillado; **Figura 2.13**) sobre los niveles de amoníaco y el rendimiento productivo de los cerdos.

Estudios como los de Sun *et al.* (2008) y Ye *et al.* (2009) que comparan las emisiones de amoníaco de corrales con suelos con “slat” total o parcial, obtuvieron menores emisiones y mejor calidad del aire en estos últimos. También, Aarnink *et al.* (1996) afirman que disminuyendo el área de “slat” del corral de 50 para 25% los niveles de amoníaco se redujeron casi un 11%. En ambos casos, los resultados pueden ser explicados por una reducción del área de contacto de los purines con el aire circundante bajo el suelo combinado con el hecho que el suelo compacto suele caracterizarse por ser el área limpia del corral (Xavier-Philippe *et al.*, 2011).



“Slat” total

“Slat” parcial

Figura 2.13. Diferencias en la proporción de “slat” presentes en los corrales de naves de crecimiento y cebo.

Según Hacker *et al.* (1994), si las condiciones ambientales no resultan limitantes, los cerdos definen con precisión tres áreas específicas en el corral; de alimentación, descanso y deyección, prefiriendo descansar en áreas de suelo compacto y eliminar las excretas en áreas de “slat”.

Sin embargo, otros estudios mostraron que la presencia de emparrillado en todo el corral determinó un efecto protector sobre los cerdos en comparación con el “slat” parcial, debido a un menor contacto de los animales con las heces y orina (Nollet *et al.*, 2004). Además, algunos estudios no encontraron diferencias entre las distintas proporciones de “slat” con respecto tanto a la presencia de más o menos lesiones pulmonares (Fraile *et al.*, 2009) o por *Salmonella enterica* (García-Feliz *et al.*, 2009), como en relación al consumo de pienso y la mortalidad (Oliveira *et al.*, 2009) de cerdos en crecimiento y engorde.

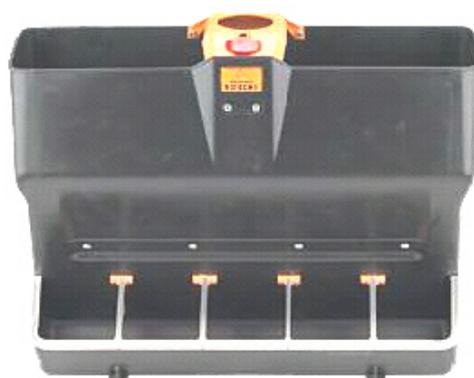
Este grado de contradicción de los resultados bien puede obedecer al hecho de que la respuesta de los animales a la proporción de “slat” no suele ser diáfana, dado que

interacciona con otros factores como el volumen y forma de la fosa (determinan la frecuencia de vaciado y la superficie de exposición al aire del purín), la temperatura ambiental, la densidad de animales o el sistema de ventilación (Aarnink *et al.*, 2006; Guingand *et al.*, 2010).

2.2.7.4. Tipo de comedero y bebedero

Un desafío importante de la porcicultura actual es estimular el consumo voluntario de pienso de los cerdos con objeto de obtener la máxima eficiencia biológica y productiva, ya que es de todos conocido que las genéticas más magras suelen alcanzar consumos inferiores diarios de pienso (Cisneros *et al.*, 1996; Tibau *et al.*, 1997; Latorre *et al.*, 2003). En este sentido, el potencial genético del cerdo, la concentración en energía y de nutrientes del pienso y las condiciones ambientales, probablemente son los principales factores determinantes del consumo; pero el tipo, diseño y disponibilidad de los comederos y bebederos pueden tener también una importancia capital y están directamente asociados a variaciones en los rendimientos productivos. La importancia de los comederos, y en menor medida de los bebederos, se hace máxima cuando se intenta diferenciar entre “consumo” e “ingestión”. A nivel de granja, el índice de conversión se obtiene a partir de la medida del consumo, que incluye la ingestión de pienso por parte de los animales más el desperdicio asociado al propio proceso de ingestión y al manejo del pienso; la diferencia entre consumo e ingestión se explica en gran medida por el tipo y manejo de los comederos. Gadd (2005) indica que, para garantizar una ingestión “*ad libitum*”, desperdicios de entre el 5 y 6% del pienso consumido son “normales” en granjas de crecimiento y engorde; sin embargo hay granjas que superan el 12% y otras que apenas registran el 2%. El mismo autor (Gadd, 2005) señala que las dos principales causas son el diseño y el mal ajuste de los comederos.

En cualquier caso, existen numerosos estudios en la literatura que evalúan el efecto del tipo de comedero y/o bebedero sobre el consumo de pienso y los rendimientos productivos del cerdo en la fase de crecimiento y cebo. En general, en las granjas de crecimiento y cebo encontramos bien comederos denominados multi-espacio (tolva) o bien uni-espacio (holandés), en este último caso con o sin bebedero incorporado.



Multi-espacio



Uni-espacio con o sin bebedero incorporado

Figura 2.14. Ejemplo de comederos utilizados habitualmente en las naves de crecimiento y cebo de cerdos en España.

Para Walker (1990), el hecho de que el consumo de pienso es similar en cerdos alimentados en ambos tipos de comederos pero que el índice de conversión es mejor en el comedero uni-espacio sugiere que el grado de desperdicio de pienso es superior en el comedero multi-espacio. Por otra parte, estudios llevados a cabo por Walker (1990), Payne (1991) y Gonyou y Lou (2000) concluyen que cerdos de cebo alimentados en comederos con un bebedero incorporado mejoraron sus rendimientos productivos. En este sentido,

Gonyou y Lou (2000) afirman que la incorporación de agua en los comederos reduce el tiempo destinado a comer y por tanto también el tiempo que el animal está ocupado en este menester. Además, en un estudio conducido por Yang *et al.* (2001), animales que tenían acceso a un comedero con bebedero incorporado presentaron mayor altura de la vellosidades intestinales, lo que sugiere que el pienso húmedo facilitaría la digestión y absorción de nutrientes. En otro estudio publicado por Kim *et al.* (2000), los cerdos que consumieron pienso en un comedero con bebedero incorporado, presentaron un 50% menos de desperdicio de agua en comparación con aquellos alimentados con pienso seco (comedero sin bebedero incorporado).

Con todo, algunos otros estudios reflejan beneficios favorables a los comederos multi-espacio. O'Connell *et al.* (2002) observaron mayor ganancia de peso y consumo de pienso, además de menos agresiones con este tipo de comedero. De acuerdo con Young y Lawrence (1994), eso ocurriría debido a un mayor grado de competencia por la reducción en el espacio de comedero por animal en los uni-espacio en comparación con los multi-espacio.

La **Tabla 2.12** muestra cómo los cerdos alimentados en comederos con pienso seco (sin agua incorporada) pasan más tiempo comiendo y hacen más visitas al día al comedero que aquellos alimentados en comederos que llevan un bebedero incorporado. Con comederos en seco los animales necesitan más tiempo para consumir su ración diaria (Hartog y Smits, 2005).

Tabla 2.12. Diferencia de rendimiento entre grupos de cerdos alimentados en un comedero uni-espacio sin o con bebedero incorporado.

	Comedero Seco	Comedero con chupete
Duración de la comida (min/día)	104	86
Número de visitas al día	60	37
Consumo de pienso (kg/día)	2,66	2,82
Ganancia media diaria (g)	873	917

Adaptado de Hartog y Smits (2005).

En cuanto al bebedero, los más habituales en las granjas de crecimiento y cebo son los bebederos tipo "chupete" (nipple), y en menor medida los tipo "cazoleta". En un estudio llevado a cabo por Brumm y Heemstra (1999) comparando los rendimientos de cerdos en crecimiento y cebo con ambos tipos de bebederos concluyen que animales con acceso al bebedero tipo "cazoleta" tuvieron similar crecimiento, inferior consumo de pienso, mejor índice de conversión y menor gasto total de agua que aquellos con acceso al bebedero tipo "chupete". En otro estudio, Brumm *et al.* (2000) concluyeron que cerdos de crecimiento y cebo con acceso al bebedero tipo "chupete" y sin un bebedero incorporado en el comedero presentaron una mejora en el índice de conversión y un incremento en el consumo de agua comparado con aquellos que tenían acceso al agua únicamente a través del comedero, no observando sin embargo diferencias en la mortalidad en ambos tratamientos.



Cazoleta



Chupete

Figura 2.15. Ejemplo de los bebederos más comúnmente encontrados en las naves de crecimiento y cebo de cerdos en España.

En definitiva, queda la sensación de que los estudios realizados en esta materia, además de no ser excesivos, a menudo no contemplan la descripción completa de todas las condiciones en que se han llevado a cabo. Los resultados, demasiado a menudo contradictorios, se explicarían por el hecho de que la ingestión de pienso es siempre un proceso de interacción entre el animal, el pienso y el ambiente. Mientras los factores asociados al pienso y al animal se pueden controlar con relativa facilidad, en especial si se dispone de un conocimiento suficiente sobre el comportamiento y la conducta de ingestión de los cerdos, aquellos asociados al ambiente son sin embargo, más difíciles de controlar simplemente por el hecho de que permanentemente interaccionan entre ellos y con los primeros.

Así, por ejemplo, la comparación entre dos comederos puede ofrecer resultados contrarios dependiendo tan solo de la edad o peso vivo del cerdo. Está bien establecido (Hyun *et al.*, 1997; Gonyou y Lou, 2000) que el cerdo joven, en transición o pre-crecimiento, dedica más tiempo a consumir alimento que el cerdo más pesado (engorde o

acabado). Aunque hay una componente individual evidente (Nielsen, 1995), el cerdo joven en crecimiento, comparado con el de engorde y acabado, realiza mas visitas diarias al comedero e ingiere menor cantidad de pienso por visita (Rauw *et al.*, 2006) y, por ello, registra una mayor ocupación y precisa mayor espacio de comedero por cerdo. En este sentido el comedero multi-espacio se asociaría a animales jóvenes y el uni-espacio a cerdos más pesados (Magowan *et al.*, 2008) o, dicho de otro modo y en teoría, cuando se utilizan comederos uni-espacio, para garantizar la máxima ingestión, la densidad (cerdos por comedero) debería ser inferior al principio del crecimiento que al final del cebo. Por otra parte la densidad de cerdos por corral también afecta a la eficiencia de utilización del comedero, ya que si es excesiva se reducen el número de visitas diarias y la ingestión por visita y cerdo (Hyun *et al.*, 1998b).

2.2.7.5. Sistema de ventilación, refrigeración y calefacción

La utilización correcta de la ventilación es el instrumento fundamental para el control ambiental de los alojamientos para cerdos, en especial en edificios que disponen de un buen aislamiento térmico. En este sentido, los principales objetivos de la ventilación son: a) controlar el acumulo de gases, partículas de polvo y olores potencialmente nocivos y aportar oxígeno a los animales, b) controlar el grado de humedad ambiental que facilita la respiración de los animales y preserva la durabilidad de la instalación y el utillaje y c) controlar la temperatura interior de las naves para procurar mantener los animales en la zona de confort climático y dentro del intervalo de neutralidad térmica. Las dos primeras funciones son prioritarias en condiciones de invierno y la tercera lo es en verano. Además, cuando variando el ritmo de ventilación no se consigue cumplir con los tres objetivos hay que acudir a otros sistemas auxiliares destinados a mantener la temperatura interna de la

nave dentro del intervalo de neutralidad; así en invierno se mantiene la ventilación en el mínimo que garantice los dos primeros objetivos y si la temperatura ambiente resulta más baja que la temperatura crítica inferior se aporta calefacción y en verano se aumenta considerablemente el ritmo de ventilación y, si persiste el estrés por calor, se implantan sistemas de refrigeración bien mediante ventilación tipo “túnel” o con paneles humidificadores u otros sistemas de refrigeración. En España, pocas granjas de crecimiento y cebo están equipadas con calefacción (solamente algunos pre-engordes o al inicio del “wean to finish”), paneles humidificadores u otros sistemas auxiliares de refrigeración (Bridges *et al.*, 2003).

Sin duda un buen sistema de ventilación es el mejor método para reducir la concentración de gases y humedad en el interior de la nave y para mantener la temperatura interna del edificio dentro del intervalo de neutralidad térmica (zona de confort térmico) de los animales (Wathes, 1994; Hadina *et al.*, 2003). En la **Tabla 2.13** se puede observar las recomendaciones mínimas de ventilación a diferentes temperaturas ambientes para cerdos de 11 a 120 kg de peso.

Tabla 2.13. Tasas de ventilación recomendadas para los ventiladores habituales.

Peso (kg)	Tasas de ventilación (m ³ /minuto)		
	Condiciones frías	Condiciones normales	Condiciones cálidas
11 – 25	0,09	0,43	0,99
25 – 68	0,20	0,68	2,12
68 – 120	0,28	1,00	3,40

Adaptado de Gadd (2007).

La separación en frías/normales/cálidas se refiere dentro de la zona de confort térmico, sin sufrir estrés por frío o por calor.

Según Banhazi *et al.* (2004), los niveles de gases nocivos (CO₂, NH₃, SH₂) en la nave son síntoma inequívoco de una insuficiente ventilación y son responsables directos de enfermedades respiratorias (Fablet *et al.*, 2012). Además, el aire interior de las naves puede actuar como un reservorio de microorganismos potencialmente patógenos (Wathes, 1994). Los niveles máximos recomendados de estos gases y el posible efecto que ejercen sobre los animales pueden consultarse en la “guía de las mejores técnicas disponibles en el sector porcino” publicada en 2006 conjuntamente por los ministerios de Agricultura, Pesca y Alimentación y el de Medio Ambiente.

El ritmo de ventilación diferirá sustancialmente dependiendo de las condiciones climáticas. En la **Tabla 2.14** figuran los valores recomendados para condiciones de clima templado (Menguy, 1981) o condiciones de clima mediterráneo (Ciudad, 1994). El ritmo de ventilación, además de ser muy superior en verano que en invierno, es mucho mayor en las condiciones climáticas mediterráneas; en especial durante el verano y en animales de más peso. En cualquier caso la mayoría de las instalaciones de engorde españolas no disponen de ventilación dinámica sino que suelen estar equipadas con ventilación estática con automatización de ventanas (Forcada *et al.*, 1997).

Los estudios que evalúan el efecto del sistema de ventilación sobre los rendimientos productivos de cerdos de cebo son escasos en la literatura. Choi *et al.* (2010), demuestran, en lechones en transición, mejores rendimientos en naves equipadas con ventilación dinámica que en aquellas con ventilación natural. El mejor resultado a favor de la ventilación automática se explica por un control más eficiente de temperatura y calidad del aire dentro de la nave. Oliveira *et al.* (2009) evaluaron, en condiciones mediterráneas, varios factores de riesgo de la mortalidad y el consumo de pienso de cerdos en crecimiento

y cebo y no encontrando ningún efecto significativo de la ventilación (natural vs automática) en ambos parámetros estudiados.

Tabla 2.14. Ritmo de ventilación recomendado (m^3 /cerdo y hora) para cerdos en crecimiento y cebo alojados, durante el invierno o verano, en climas templados (Menguy, 1981) o en condiciones mediterráneas (Ciutat, 1994).

	Peso vivo (kg)	Invierno		Verano	
		Ciutat (1994)	Menguy (1981)	Ciutat (1994)	Menguy (1981)
Transición	10	5	5	20	20
	20	7	7	40	30
Crecimiento/engorde	25	6	5	40	30
	50	14	8	105	60
	80	16	12	120	90
	100	20	15	150	100

Adaptado de Menguy (1981) y Ciutat (1994).

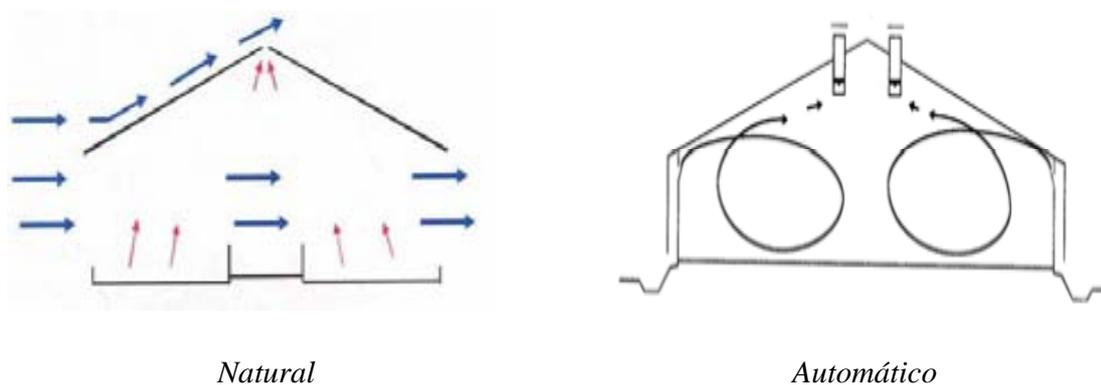


Figura 2.16. Tipos más comunes de ventilación encontrados en las naves de crecimiento y cebo de cerdos en España.

En definitiva, aunque en condiciones prácticas el sistema de ventilación pueda ser bastante uniforme y la presencia de sistemas auxiliares calefacción y refrigeración no sean muy comunes en la porcicultura española; tampoco hemos encontrado datos prácticos y objetivos que reflejen la importancia y magnitud del efecto que un mayor control de las condiciones climáticas y ambientales del interior de las naves pueda tener sobre los rendimientos productivos y el bienestar de los animales durante el crecimiento y el cebo.

2.2.7.6. Tamaño de la granja de crecimiento y engorde

El número de granjas y su tamaño así como el tipo de empresa al que se asocian es, posiblemente, el factor que más condiciona el flujo de animales a través de las distintas granjas, las condiciones de manejo de los cerdos y, en definitiva, los aspectos logísticos del proceso cría, engorde y comercialización de cerdos. Tan solo hace falta reparar en la comparación entre la estructura de engorde de dos situaciones prácticas, en cierto modo extremas: 1) un ciclo cerrado que cuente con algunos cientos de madres en una única S1 y 2) un sistema “en fases” de una empresa grande (varios miles de madres en distintas S1), comúnmente en régimen de integración. En el primer caso se trata de una sola o varias naves compartimentadas en salas y la instalación funcionará en flujo continuo con frecuentes entradas y salidas de animales; en el segundo caso cada nave se llena de una sola vez o en un tiempo muy reducido, a veces incluso a partir de una única S1, y se vacía de nuevo en poco tiempo. El efecto del “tamaño de granja” previsiblemente será diferente en ambas situaciones.

Normalmente la variable “tamaño de la granja” se puede medir de diferentes formas. Según Gardner *et al.* (2002), el criterio utilizado para cerdos en crecimiento y cebo es muy variable incluyendo por ejemplo: 1) el número de cerdos sacrificados al año, 2) el número

de cerdos alojados en la granja con edades comprendidas entre el destete y el sacrificio o 3) el número total de cerdos de la granja y número de cerdos alojados por nave o por lote.

El tamaño de la granja se considera un importante factor de riesgo sanitario y de bioseguridad, estando directamente ligado a la aparición de enfermedades (Gardner *et al.*, 2002), que pueden empeorar los rendimientos productivos. Los resultados encontrados en la literatura son bastante variables, debido a diferentes criterios utilizados para clasificar el tamaño de las granjas o a otros factores implicados como prácticas de manejo, protocolos de vacunación, alimentación y bioseguridad. En un reciente estudio, Fablet *et al.* (2012) observan un mayor riesgo de pleuritis cuanto más grandes son las granjas y/o lotes de crecimiento y cebo. Maes *et al.* (2004) encuentran una tendencia a reducirse la mortalidad en granjas pequeñas (el total de granjas estudiadas contenían entre 65 y 1288 cerdos alojados por lote) y Oliveira *et al.* (2007) observan una disminución en los días medios de crecimiento y cebo en granjas pequeñas (≤ 400 vs > 400 cerdos) debido a una mejora en la ganancia diaria de peso. A nivel de campo, granjas o lotes más pequeños permiten conseguir con más facilidad el "todo dentro/todo fuera" mejorando de esta forma el estatus sanitario, mientras que para llenar a las granjas o lotes grandes puede ser necesario un periodo más largo de tiempo o incluso la necesidad de tomar lechones de diferentes orígenes, comprometiendo de este modo el estatus sanitario. Sin embargo, en un posterior estudio Oliveira *et al.* (2009) no registran ningún efecto del número de cerdos alojados por lote (< 400 ; 400-600 o > 600 cerdos) ni en el consumo de pienso ni en la mortalidad. Por otra parte, Losinger (1998) incluso observan un mejor índice de conversión en granjas grandes (< 800 ; 800-2999 o ≥ 3000 cerdos). Sin embargo, este resultado podría ser

consecuencia de un potencial genético superior de los animales alojados en las granjas más grandes (Honeyman, 1996).

En conclusión, existen numerosos factores que inciden directamente sobre los rendimientos productivos de los cerdos en crecimiento y engorde y la importancia relativa de cada uno de ellos depende del índice productivo estudiado. De este modo, basado en los resultados obtenidos en la literatura, los factores que ejercen un mayor efecto son aquellos relacionados con la instalación (densidad de animales en los corrales, tipo de comedero o el porcentaje de emparrillado del suelo en los corrales), el manejo (época de entrada de los lotes en la nave, número de orígenes de los animales, sexo/género de los animales, genética del macho finalizador y consecuentemente el peso al sacrificio) y la nutrición, donde destaca la forma física de presentación de los piensos. Sin embargo, aunque los rendimientos productivos no siempre se ven afectados por todos estos factores simultáneamente, sino que dependiendo de las condiciones de producción unos ejercen un mayor efecto que otros; es recomendable tenerlos en cuenta y estudiarlos en conjunto.

2.3. Modelos matemáticos de predicción utilizados en ciencia animal

2.3.1. Definición

En los últimos años, ha habido un creciente aumento de estudios que utilizan modelos matemáticos para estudiar y evidenciar el efecto de una o varias características dentro de una determinada área de interés. En este sentido, el objetivo principal de estos modelos es representar de forma simplificada una realidad que desde el punto de vista matemático se

entiende como la descripción de un objeto o un fenómeno real a través del uso de la predicción y/o explicación de un determinado factor de interés (Villalba, 2000).

De este modo, el uso de la modelización propició que los investigadores en sistemas ganaderos desarrollasen conceptos, métodos y herramientas para dirigir la actividad ganadera como un todo (Gibon *et al.*, 1999) pues según Dent *et al.* (1995), el propio proceso de construcción del modelo contribuye a mejorar el entendimiento y la descripción de un determinado sistema.

Una ventaja fundamental del uso de modelos matemáticos dentro de un sistema es la posibilidad de poder trabajar con muchos factores, hechos, variables, parámetros y entidades así como el hecho de poder discernir las posibles interacciones entre ellos, difíciles de observar en la realidad.

Según France y Dijkstra (2006), para conocer con certeza el tipo de modelos que se pueden construir en biología, es necesario tener en cuenta la naturaleza del sistema global, los niveles de organización y las posibilidades de muestreo en cada uno de ellos. Los mismos autores afirman que en ciencia animal los modelos se caracterizan por contemplar distintos niveles de organización convenientemente jerarquizados (**Tabla 2.15**) donde, cualquiera de los niveles puede estar compuesto por distintos subsistemas del nivel inferior y, a su vez, puede ser un subsistema del nivel inmediatamente superior. Este sistema jerárquico tendría las siguientes propiedades: 1) cada nivel dispone de su propia base conceptual y tiene lenguaje específico, 2) cada nivel resulta de la integración de conceptos (“ítems”) referidos a niveles inferiores; a partir de un esquema reduccionista se asume que la descripción del nivel “i-1” puede aportar los mecanismos de respuesta del nivel “i” y 3) la obtención de un modelo realista, convenientemente contrastado, en el nivel “i” requiere el funcionamiento adecuado del nivel “i-1”, pero no viceversa.

Tabla 2.15. Niveles de organización jerarquizado en producción animal.

Nivel	Descripción del nivel
i + 3	Grupo de animales (granja, lote)
i + 2	Animal
i + 1	Órgano
i	Tejido
i - 1	Célula
i - 2	Organela
i - 3	Macromolécula

Adaptado de France y Dijkstra (2006).

2.3.2. Tipos y características

Clasificar los tipos de modelos no es sencillo. France y Dijkstra (2006) indican que dependiendo de su organización jerárquica existen tres categorías de modelos: 1) modelos teleonómicos, cuya descripción se realiza en una dirección ascendente y no son de gran interés en biología, 2) modelos empíricos, que examinan un solo nivel y 3) modelos mecanísticos que se describen en dirección descendente, consideran los procesos a un determinado nivel en relación a otros que ocurren en niveles inferiores.

En cualquier caso, los modelos utilizados en ciencia animal se clasifican básicamente en función de cómo son construidos. De este modo, según Black (1995) un modelo puede ser dinámico o estático, estocástico o determinista y mecanicista o empírico. En este sentido, la mayoría de los modelos desarrollados en ganadería son dinámicos, teniendo el efecto "tiempo" como variable principal (Villalba, 2000). En cuanto a los modelos estáticos, un buen ejemplo usado en ganadería son las típicas tablas de necesidades nutritivas de los animales (NRC, 1998, 2012; FEDNA, 2006).

Un modelo determinista es aquel que hace predicciones exactas de variables cuantitativas (peso del animal o la producción de leche), las variables que lo forman son de

carácter conocido y no depende del azar (France y Thornley, 1984; Malczewski, 1999). Algunos ejemplos de modelos, herramientas o técnicas deterministas son la programación lineal, análisis de Markov y el análisis coste/beneficio (Krone, 1980; López, 2001).

Un modelo estocástico contiene algunos elementos aleatorios o distribuciones de probabilidad dentro del modelo, es decir, dependen de un nivel de incertidumbre provocado por el azar y así, no solo predice el valor esperado de un factor, sino también su varianza (Villalba, 2000). En este caso concreto, se utilizan los modelos probabilísticos cuantitativos (Krone, 1980; López, 2001) que pueden ser aplicados en el control de tráfico y/o para la previsión del tiempo.

Según Morris (2006), los modelos mecanicistas buscan explicar las causas de determinados fenómenos. En su construcción se tiene en cuenta la estructura de todo el sistema involucrado, aunque se divida en sus componentes más importantes, se analiza el comportamiento de la totalidad del sistema a través del de sus componentes y las interacciones que se dan entre ellos (France y Dijkstra, 2006). Generalmente, los modelos mecanicistas utilizan sistemas de ecuaciones diferenciales y algébricas, exigiendo un conocimiento amplio y general del sistema a modelizar. Según Villalba (2000), estos modelos buscan describir un determinado nivel ("tejido") basado en las características y relaciones de estos con un nivel justamente inferior ("célula"), o sea, predecir la ganancia de peso de un lote de cerdos buscando factores que estén involucrados en la asimilación de nutrientes. Como ejemplo típico de modelos mecanicistas están los modelos del crecimiento del cerdo (Whittemore, 1983; Moughan *et al.* 1987; De Lange *et al.*, 2001; Wellock *et al.*, 2004; Strathe *et al.*, 2010).

Los modelos empíricos describen cuantitativamente un factor tras su observación y la obtención de datos por experimentación. Se basan en datos experimentales recogidos

generalmente en estudios de campo, validos solamente en las condiciones en que se han recolectado. Estos modelos han de ser actualizados a intervalos de tiempo para que puedan seguir siendo aplicables (France y Dijkstra, 2006). Al contrario de los modelos mecanicistas, en este caso no se explican los mecanismos involucrados en el proceso, al basarse en ecuaciones que describen las correlaciones y asociaciones entre dos o más variables que en ningún caso pueden ser generalizables (Villalba, 2000). Por lo tanto, parece razonable que para aumentar la flexibilidad y generalizar el poder efectivo de predicción a situaciones muy diversas, los modelos utilizados en producción animal deberían ser más de tipo mecanicista que empírico (Whitemore, 1986).

Los modelos matemáticos utilizados hasta el momento en producción animal han sido básicamente de naturaleza empírica adaptados a las diferentes situaciones estudiadas en distintos ámbitos o subsistemas (nutrición, genética, epidemiología,...). En la bibliografía se encuentra muchos estudios que utilizan modelos empíricos para predecir el efecto de distintos factores que afectan: i) los rendimientos productivos de cerdos de cebo a través del uso de regresiones lineales y no lineales (Losinger, 1998; Losinger *et al.*, 1998; Maes *et al.*, 2000, 2004; Larriestra *et al.*, 2005; Oliveira *et al.*, 2007, 2009) o bien ii) la prevalencia de enfermedades (Keessen *et al.*, 2011; Fablet *et al.*, 2012; Vico *et al.*, 2012), iii) la digestibilidad de nutrientes (Bell y Keith, 1989; Kemme *et al.*, 1997; McCann *et al.*, 2006) y iv) la ingestión voluntaria de pienso (Tsaras *et al.*, 1998; Yoosuk *et al.*, 2011).

Sin embargo, para poder utilizar los modelos desarrollados en una situación práctica, se hace necesario demostrar que se pueden utilizar para predecir con un nivel aceptable de confianza. Según Whiting (1997), la validación de un modelo es una de las etapas más importantes y al mismo tiempo más difícil en el ámbito de la modelización. La validación se puede llevar a cabo de diferentes maneras (Rodriguez Pérez, 2004): a) validación interna

– permiten la validación cruzada mediante la partición de la propia base de datos utilizada para desarrollar el modelo, con el objetivo de determinar si el modelo puede describir suficientemente los datos experimentales y b) validación externa – utilizan datos nuevos, procedentes de la misma población en que se desarrolló un dado modelo o bien utilizando datos procedentes de una población distinta, con el objetivo de cuantificar la predicción matemática del modelo testado con datos experimentales nuevos. Las diferentes validaciones permitirán obtener conclusiones respecto a la validez y aplicabilidad de los modelos.

En definitiva, todos los tipos de modelos se caracterizan por ser representaciones incompletas del sistema a modelizar, pero a pesar de esta limitación, el hecho de disponer de modelos fiables que permitan predecir resulta de gran utilidad en la toma de decisiones, mejorando de este modo, la eficiencia del sistema estudiado.

Capítulo 3

Objetivos

Durante la celebración del XXV curso de especialización "Avances en nutrición y alimentación animal" celebrado en Madrid en Noviembre de 2009 y organizado por la Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA), y por iniciativa de algunos destacados profesionales del sector, se puso de manifiesto: 1) la existencia de gran cantidad de información disponible a nivel de empresa (granja) que no se utiliza y que convenientemente tratada podría contribuir al avance del sector, 2) la voluntad de varias empresas del sector porcino de colaborar, no solamente poniendo a disposición sus datos, sino también participando activamente en las distintas fases del proyecto y 3) la determinación de investigadores de los grupos de producción y nutrición porcina de las Universidades Autónoma de Barcelona y Politécnica de Madrid por liderar el proyecto bajo la supervisión de FEDNA. Acto seguido, se planteó la necesidad de llevar a cabo un estudio que permitiera abordar este asunto de forma sistemática, con un criterio científico sólido y extrapolable, como mínimo, al conjunto de la porcicultura nacional.

La revisión bibliográfica realizada en el capítulo anterior ha puesto de manifiesto que: 1) la fase de crecimiento y engorde supone siempre más del 60% de los costes de la producción porcina, 2) los principales índices productivos de este periodo (índice de crecimiento, índice de conversión, mortalidad, tiempo de permanencia en granja,.....) ofrecen una variación importante entre granjas e incluso entre lotes de producción dentro de la misma granja, 3) son numerosos los factores, relacionados con las condiciones de producción, que afectan a estos índices y a sus variaciones, tanto de forma directa como interaccionando entre ellos y 4) se dispone del conocimiento y del potencial matemático para construir modelos matemáticos de ayuda a la toma de decisiones partiendo de los registros y la información obtenida a pie de granja.

Además, la utilización práctica de estos modelos a nivel de granja comercial o empresa ganadera debería ayudar al técnico y/o empresario ganadero a tomar decisiones al menos en dos sentidos: i) optimizar los costes haciendo un uso racional y equilibrado de los principales factores de producción disponibles y ii) conocer los principales factores limitantes del proceso y, así, poder mejorarlos.

En este contexto, el presente trabajo ha sido desarrollado para atender el siguiente **objetivo general**: “Conocer y cuantificar la importancia relativa de los distintos factores de la producción de los cerdos sobre los índices productivos durante la fase de crecimiento y cebo”. El trabajo requiere la obtención de información de un número representativo de granjas comerciales mediante la colaboración de empresas representativas del sector.

Más en detalle los **objetivos específicos** son:

1. Generar una base de datos, representativas de la industria porcina española que incluyan información de variables productivas (ej.: índice de conversión) y de factores de producción registrados bien por variables continuas (ej.: número de cerdos por lote o contenido energético del pienso) o bien por variables discretas (ej.: tipo de comedero o tipo genético).
2. Disponer de información actualizada, representativa y fiable que permita conocer la situación real del sector porcino en España en aspectos que las estadísticas oficiales difícilmente contemplan.
3. Ajustar modelos matemáticos, derivados de situaciones y enfoques diferentes, que puedan contribuir a facilitar la toma de decisiones de granjeros, técnicos o empresas ganaderas.

El proyecto en su conjunto tiene, además, un cuarto objetivo concreto cual es realizar un estudio anónimo de comparación (Benchmarking) de los rendimientos productivos y las condiciones de producción entre y dentro de las empresas participantes en el proyecto. Como es obvio este asunto no forma parte de esta memoria de tesis doctoral dado que constituye una información confidencial para las empresas participantes en el proyecto.

El planteamiento experimental del trabajo, el cronograma y la metodología general utilizada se describen en el próximo capítulo. En los tres capítulos siguientes se desgranaran los resultados y la discusión, para finalizar con un breve apartado de discusión general conjunta y las conclusiones.

Capítulo 4

Metodología general

4.1. Origen del estudio y obtención de la información

La porcicultura moderna se caracteriza por controlar el proceso productivo mediante una exhaustiva recogida de información a nivel de granja y matadero. La actualización constante y el análisis pormenorizado de registros, junto al estudio de costes, es sin duda el instrumento más utilizado para hacer una gestión eficiente de las granjas de madres y también de las transiciones y engordes. La información técnica que se suele recoger en transiciones y engordes suele ser menos exhaustiva que en las granjas de madres pero, si se utiliza con criterio, resulta igualmente importante para ayudar a la toma de decisiones. En los engordes se registran como mínimo los valores de ganancia media diaria, índice de conversión y mortalidad. Para conocer la ganancia media diaria se precisa determinar el peso vivo de entrada y de salida así como los días de ocupación del cebadero. El índice de conversión precisa además tener una estimación fiable de consumo de pienso. En muchos casos se registra además el día y peso de los animales muertos, el peso y rendimiento a la canal y otros parámetros como la dispersión de tiempo y pesos a la salida al matadero, los tratamientos veterinarios aplicados durante el periodo o el número y periodo de administración de los piensos.

En definitiva, el sector de producción en conjunto y cada una de sus empresas dedicadas al engorde de porcino disponen de una información más o menos completa cuyo valor potencial radica en que, una vez clasificada e interpretada, pueda ser utilizada por el técnico en la toma de decisiones. Los equipos técnicos de las empresas sin duda utilizan esta información para controlar y mejorar la eficiencia técnica y económica del proceso

productivo; sin embargo en pocas ocasiones tienen tiempo y recursos técnicos y humanos suficientes para obtener el máximo provecho de la información que ellos mismos generan.

En este contexto, durante el XXV curso de especialización FEDNA celebrado en Madrid en noviembre de 2009 y de acuerdo con personas que ostentan responsabilidades técnicas y gerenciales en algunas de las empresas más significativas del sector porcino nacional, se propuso iniciar un proyecto destinado a recoger un número suficientemente importante y representativo de datos referidos a los rendimientos productivos y condiciones de producción del engorde de cerdos en España y diseñar modelos matemáticos que pudieran ser utilizados como apoyo a la toma de decisiones en condiciones comerciales.

De este modo, en los meses siguientes se contactó, por carta y con el beneplácito explícito de FEDNA, con las 25 empresas más importantes del sector porcino dedicadas al crecimiento y engorde en España explicando los objetivos del proyecto e invitándoles a participar. No se contactaron empresas que no tuvieran una capacidad mínima de 250.000 cerdos engordados por año. Fundamentalmente se solicitó la posibilidad de utilizar los datos necesarios para llevar a cabo el estudio de una forma anónima y confidencial. De forma orientativa se pedía información de un mínimo de 50 granjas, lo más representativas posible de la realidad de cada empresa, y a poder ser varios ciclos de engorde por granja. A finales de enero de 2010 nueve de las empresas contactadas contestaron afirmativamente. Las nueve empresas acumulan alrededor del 20% de todo el ganado porcino engordado en España.

Durante el primer trimestre de 2010 se diseñó el procedimiento de obtención de datos de las nueve empresas centrado en tres puntos: i) elegir las variables de interés a considerar tanto en granja como a nivel de empresa, ii) preparar un modelo de encuesta (juntamente con un manual de instrucciones) en un formato que permita la recogida de registros reales y

fiables de forma ágil y eficiente y iii) diseñar un sistema que garantice la representatividad de los datos recogidos entre y dentro de las empresa participantes. Una vez confeccionada la encuesta por el equipo investigador se envió a las empresas participantes con objeto de conocer la posibilidad real de registrar las variables propuestas o bien proponer otras alternativas o complementarias y proceder a las modificaciones necesarias que garantizaran la recogida veraz y eficiente de la información. El objetivo fue llegar a un modelo patrón de encuesta consensuada entre el equipo investigador y las empresas participantes.

En mayo 2010, una vez consensuados y revisados los términos de la encuesta, el documento se hizo llegar a las empresas para su complementación. La recogida de información no se completó hasta enero de 2011.

4.2. Diseño y contenido de las encuestas

Las encuestas se diseñaron en tres formatos diferentes con objeto de facilitar el trabajo de recogida de información al equipo técnico de las empresas participantes. En concreto los datos se solicitaron, por granja y lote de engorde, y se podían aportar: a) directamente en papel (opción 1), b) rellenando la encuesta a través de un programa desarrollado en formato Excel (opción 2) o bien c) utilizando una hoja Excel sencilla (opción 3). Además, se preparó un manual de instrucciones donde se detallaban tres aspectos: i) un documento de total confidencialidad para cada empresa, ii) resaltar la importancia capital de que la elección de las granjas dentro de cada empresa fuera una muestra representativa del global de la empresa y iii) la definición y puntualización del significado de cada una de las variables a registrar para que fueran lo más comparables

posible. La información que incluye la encuesta se presenta en la **Tabla 4.1** y para más detalles, la encuesta completa y el manual de instrucciones se incluye en un "anexo" en el capítulo 10 de esta memoria de tesis doctoral.

Tabla 4.1. Información contenida en la encuesta.

Variables
Nombre de la empresa
Nombre o número de la granja
Ubicación de la granja
Código del lote evaluado
Fechas de entrada y salida del lote
<i>A) Información general</i>
Ciclo de la granja
Tipo de cerdo engordado
Separación de sexos/géneros en los corrales
Sexos/géneros presentes
Genética del macho finalizador
Numero de orígenes
Vacunaciones
<i>B) Instalaciones</i>
Capacidad del cebadero
Edad de las instalaciones
Cerdos por corral
Porcentaje de emparrillado del suelo
Tipo de comedero
Tipo de bebedero
Tipo de control de la ventilación
Presencia de paneles humidificadores
<i>C) Alimentación</i>
Numero de piensos utilizados
Fórmulas distintas por sexo/género
Forma física de los piensos
Contenidos de energía, proteína y lisina de los piensos
Frecuencia de tratamientos antibióticos
Vías de utilización de los antibióticos
Origen del agua de la granja
Tratamiento del agua en la granja
<i>D) Rendimientos productivos</i>
Peso medio inicial y final
Duración media y total del cebo
Numero de cerdos que entraron y salieron del matadero
Saldos
Consumo de pienso
Mortalidad

La elección de las variables se diseñó utilizando como información de referencia artículos científicos y técnicos publicados recientemente y la experiencia acumulada por el equipo investigador y el personal técnico de las empresas participantes. En principio se contemplan un grupo de variables “independientes” (X_i) y otras de “dependientes” (Y_i), incluyendo variables tanto “continuas” (por ejemplo el peso medio a la entrada y salida del cebadero, porcentaje de saldos, número de animales entrados en cada lote, número de piensos administrados durante el periodo,...) como “categóricas” (por ejemplo el tipo genético, tipo de comedero, tipo de bebedero, sistema de ventilación,...). Entre las “dependientes” (Y_i) se consideraron variables como el consumo de pienso, el índice de conversión, el crecimiento medio diario, los días de permanencia en el cebadero o la mortalidad.

A efectos de la encuesta, la información solicitada fue compartimentada en los siguientes apartados: a) información general de la granja, que englobaba algunos parámetros de manejo y sanidad (nombre y ubicación de la granja, fecha de entrada y salida del lote, tipo de granja y de cerdo engordado, línea genética del macho finalizador, separación por sexos si procede, factores sanitarios,...); b) instalaciones (número de animales por corral, tipo de suelo, comederos, bebederos y ventilación,...); c) alimentación (número y forma física de los piensos, contenido energético, proteico y de lisina, origen y tratamiento del agua, frecuencia de tratamientos antibióticos utilizados y vías de utilización,...) y finalmente d) rendimientos productivos (pesos inicial y final, saldos, duración del engorde, consumo de pienso, crecimiento, mortalidad,...).

En total, se obtuvo información de 764 lotes de crecimiento y cebo pertenecientes a 454 granjas con un número de lotes recogido por cada granja variando entre uno y tres. La información obtenida se refiere al periodo comprendido entre julio de 2008 y julio de 2010.

La muestra total fue de alrededor de 1.157.212 de cerdos, aproximadamente un 1,5% del número total de cerdos sacrificados en España durante un periodo de dos años. En la **Figura 4.1** se demuestra la localización de las granjas estudiadas, estando la mayoría de ellas localizadas en Aragón y Cataluña seguido por Castilla y León.

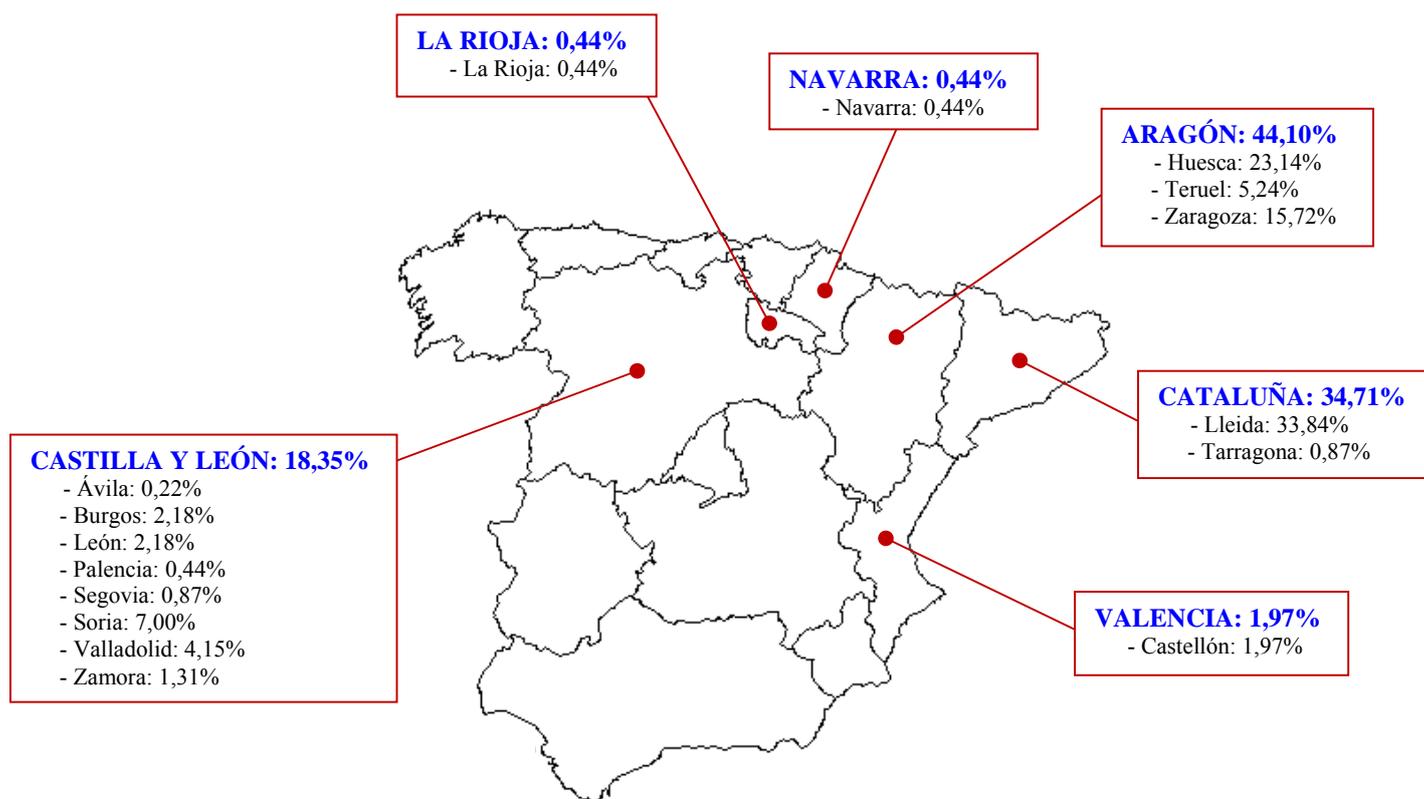


Figura 4.1. Porcentaje de granjas estudiadas por provincia española (n=454 granjas).

La muestra final de granjas no está homogéneamente distribuida por todo el Estado aunque sí contempla las Comunidades Autónomas con mayor producción (Cataluña, Aragón y Castilla y León). Sin embargo, existen zonas con una tradición arraigada en producción porcina, como por ejemplo la región de Murcia, en la que fue imposible obtener

información y en otras, como la propia Catalunya, la distribución de las granjas está muy sesgada con una preponderancia excesiva de la provincia de Lleida.

4.3. Procesado de datos y orientación de los estudios realizados

Entre enero y marzo de 2011 se procedió a la organización de los datos recibidos de cada empresa en una plantilla Excel por empresa. Inicialmente los datos de cada empresa fueron analizados por separado, efectuándose la codificación y estandarización de los mismos dentro de cada variable. A partir de las variables facilitadas por las empresas, se crearon nuevas variables (por ejemplo: época/trimestre de entrada de los lotes en el cebadero, consumo diario de pienso, ganancia media diaria de peso, índice de conversión, porcentaje de ocupación de las instalaciones,...). En los siguientes capítulos se aportan definiciones más detalladas de estas variables.

En atención a las empresas participantes en el proyecto, el equipo investigador se comprometió a realizar un ejercicio confidencial de “benchmarking”. Para cada parámetro productivo se registró la media y la desviación de cada empresa individual y se comparó con la media y la desviación de dicho parámetro para todo el conjunto de todas las empresas. Este trabajo se realizó durante los meses de febrero y marzo de 2011 y se entregó a cada empresa en abril del mismo año. Este trabajo, por razones obvias, no figura en esta Memoria.

En cuanto a los análisis estadísticos realizados, los datos obtenidos se analizaron en tres fases; i) análisis exploratorio, ii) desarrollo de modelos y iii) validación de algunos modelos desarrollados. La información referente a cada compañía fue recopilada en una

plantilla Excel global para la realización de los análisis estadísticos, que se hicieron utilizando el programa estadístico SAS (SAS, Cary, NC, USA, versión 9.2). Inicialmente, se realizó un análisis exploratorio de los datos obtenidos. Los métodos utilizados en esta fase comprendieron la exploración visual y el análisis univariable de los datos, con el objeto de conocer a priori las diferentes variables, su distribución y principales estadísticos descriptivos, y el análisis bivariado, para conocer posibles correlaciones entre las variables dependientes e independientes.

En una segunda etapa se ajustaron los modelos a partir de las variables que fueron codificadas y patronizadas en la primera etapa mediante aproximaciones por regresión lineal utilizando el método de máxima verosimilitud para el ajuste de los modelos desarrollados. La comparación del ajuste de los modelos se hizo a partir de la proporción de la varianza que era explicada por los distintos modelos, utilizando el coeficiente de determinación (R^2) como criterio de comparación. Una vez ajustados los modelos para cada variable dependiente, los residuos se representaron frente a los valores predichos para comprobar la homogeneidad de varianzas y la presencia de "outliers".

Para evaluar la capacidad de predicción de los modelos desarrollados, se llevó a cabo la tercera y última etapa relativa a la validación de los mismos, utilizando datos recogidos con posterioridad en algunas de las granjas de las mismas empresas participantes.

Para el estudio estadístico y confección de los modelos se contó con el asesoramiento del "Servicio de Estadística Aplicada de la UAB". Además, el tesando realizó una estancia en la "School of Agriculture & Food Science" de la "University College Dublin" (Irlanda) durante los meses de noviembre de 2011 y enero de 2012 con la idea principal de aprender algunos conceptos de la modelización matemática de interés para el desarrollo del proyecto.

Durante esta estancia se desarrollaron los modelos que se presentan en el capítulo 6 de la presente Memoria.

Los resultados de todo el proceso se exponen en los tres capítulos siguientes. En el primero (capítulo 5), se realiza una descripción sistemática de la información recogida a partir del total de lotes y granjas. Se trata de ofrecer una idea general sobre la actual situación de la producción española de cerdos de cebo en integración y disponer de información sectorial mínimamente representativa y fiable.

El segundo estudio (capítulo 6) fue diseñado para desarrollar los primeros modelos relacionados algunos parámetros de los rendimientos productivos con los factores de producción más importantes, sin tener en consideración el factor empresa. Con objeto de reducir la variabilidad de la base de datos original, se tipificaron algunas variables (por ejemplo: solamente cerdo industrial, base genética semejante,...) lo cual condujo a reducir el número total de lotes (316), granjas (246) y empresas (6) de la base de datos.

Finalmente en el tercer y último estudio (capítulo 7) se comparó los resultados obtenidos de modelos desarrollados a partir de una base de datos global con aquellos obtenidos en cada empresa separadamente utilizando aquellos factores que habían registrado suficiente variabilidad en cada una de ellas.

Cada capítulo de resultados incluye el objetivo, la metodología específica, los resultados propiamente dichos, la discusión de los mismos y las conclusiones parciales. La memoria finaliza con un capítulo de discusión conjunta y la enumeración de las conclusiones.

Capítulo 5

**Descriptive study of production factors
affecting performance traits in growing
finishing pigs in Spain**

5.1. Objectives

The objective of this chapter was to create a dataset of GF pig farms from several companies in Spain in order to have representative information of the present characteristics of the Spanish GF pig industry. Furthermore, the relationships among performance indexes and production factors were also described in a bivariate analysis.

5.2. Material and Methods

5.2.1. Data collection

Data were collected between July 2008 and July 2010 from a total of 452 GF farms. Recruited farms were integrated in nine out of the twenty five biggest pig companies in Spain, accounting for about 20% of the national GF pig production. Most of the farms were located in three Spanish regions, Aragón (44%), Cataluña (35%) and Castilla y León (18%), while a small group (3%) was located in other communities: Navarra, La Rioja and Valencia. One to three batches of animals per farm were included in the database adding up to a total of 764 batches. Batch was defined as a group of pigs from around 15-27 kg that entered a GF unit and was raised until they reached a suitable weight for slaughter. A total of 1,157,212 pigs, accounting for about 1.5% of the total number of pigs slaughtered in Spain during the two-year period, were used to evaluate the variability of both production factors and productive performance. Production factors were registered at farm level and productive performance was recorded at batch level.

All variables to be registered were selected after an extensive literature review. All variables had been proven to be variation factors in the final output of GF pig farms. On farm data were collected through a survey model prepared by the research team in agreement with field veterinarians and pig companies participating in the study. The survey was divided in four sections as indicated in Table 1; three of these sections were related to production factors and one was related to productive performance.

Regarding productive performance records, also included in **Table 5.1**, number of pigs placed (NPP) corresponded to the number of pigs which entered the unit in each batch. Averages initial and final body weight (IBW and FBW, kg/pig) were defined as the total batch weight divided by the number of pigs in each batch when entering the GF unit and prior to transportation to the slaughter facility respectively. Total feed intake (TFI, kg/pig) was calculated from the total feed delivered to each batch minus the amount of feed remaining in the silos when each batch was slaughtered, divided by the number of marketed pigs. Average daily gain (ADG) was calculated as the difference between IBW and FBW divided by the number of days between these measures. Feed conversion ratio (FCR, kg/kg) was obtained dividing the total feed delivered to each batch (kg) by the difference between the total kilograms of pigs sent to slaughter and the total kilograms of pigs that entered at the GF batch. The "total duration of GF" (TDURFAT, days) is calculated as the number of days elapsed between the entrance of the first group of pigs in the GF unit and the exit of the last group of pigs sent to the slaughterhouse. In contrast, the "average duration of GF" (ADURFAT, days) is calculated as the average number of days between the entrance in the GF unit and the exit to slaughter for different groups of pigs sent to the slaughterhouse, respectively. Culling rate (CR) represented the percentage of animals having market value lower than 100%. Causes for this devaluation may be: batch weight far

from the average body weight, previous disease, poor conformation, etc. The percentage barn occupation (BO) was calculated as the number of pigs in the barn divided by the total pig places in the barn multiplied by 100. Finally, mortality rate (MORT) was calculated as the difference between the number of growing pigs entering into the fattening house and the number of pigs sent to the slaughterhouse divided by the number of pigs that entered the GF unit multiplied by 100.

5.2.2. Data analysis

The dataset obtained from the survey was submitted to univariate and bivariate descriptive analysis. Descriptive analysis of classification variables was performed through frequency study using Proc Freq of SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC, USA, version 9.2) for variables included in the group general information, facilities and feeding in table 1. Farm was the experimental unit for all these variables. Descriptive analysis of continuous variables was performed through measures of central tendency (mean and median) and dispersion (standard deviation, quartiles and range). For continuous variables (productive performance) batch was the experimental unit. Bivariate analysis of continuous variables was done by Pearson correlation analysis using Proc Univariate, and Proc Corr of SAS. Bivariate analysis of continuous variables AFI, ADG, TDURFAT, FCR and MORT depending on classification variables and was done by using Proc Mixed of SAS with company as random effect and batch as experimental unit. Only company was considered as a random effect because many farms contributed to the study with only one batch of pigs, thus the random effect of farm could not be studied.

Table 5.1. Description of the variables recorded.

Variable	Variable definition
General information	
YEAR	Year of placement
TRIMESTER	Trimester of placement
HERD	Type of herd
PIGFAT	Type of commercial pig produced
SPLITSEX	Split-sex in pens
GENDER	Genders presents
BREED	Breed of the sire pigs
ORIGIN	Number of pig origins
AUJESVAC	Number of Aujeszky's dose vaccine
CIRCOVAC	Circovirus vaccine
MYCOVAC	Mycoplasma vaccine
Facilities	
AGEBARN	Age of the barn
PIGPEN	Number of pigs per pen
FLOOR	Floor conditions
FEEDER	Type of feeder
DRINKER	Type of drinker
VENT	Type of ventilation control
CS	Cooling system
Feeding	
FPHASE	Number of feed phases
FFORM	Form of the feeds
FREQATB	Frequency of antibiotic treatments
PATHATB	Pathways of antibiotics used
WATERSOU	Water source at the farm
WATERHIG	Water hygienization
NE	Content of net energy in each feed (kcal/kg)
CP	Content of crude protein in each feed (%)
TL	Content of total lysine in each feed (%)
Production performance/records	
NPP	Number of pigs placed
IBW	Initial body weight (kg/pig)
FBW	Final body weight (kg/pig)
ADURFAT	Average duration of the fattening period (days)
TDURFAT	Total duration of the fattening period (days)
CR	Culling rate (%)
BO	Barn occupation (%)
TFI	Total feed intake (kg/pig)
ADG	Average daily gain (kg/pig)
FCR	Feed conversion ratio (kg/kg)
MORT	Mortality rate (%)

5.3. Results and discussion

Results of categorical variables describing the farms are presented in **Table 5.2**. This study included information mainly about GF farms (94.7%) including pig batches distributed during all trimesters of 2008 and 2009. According to the MAGRAMA (2011), 11% of the pig farms in Spain were classified as farrow-to-finish farms. Thus a low proportion of this type of farms was expected. Concerning farm size, the median value of NPP was 1,217 with values ranging between 233 and 6,198 pigs per batch and 80% of the farms having between 500 and 2500 pigs per batch (**Figure 5.1**). In Spain, it has been observed a concentration of pig producers in the last years with a decrease in the total number of GF farms and an increase in the number of pigs per farm.

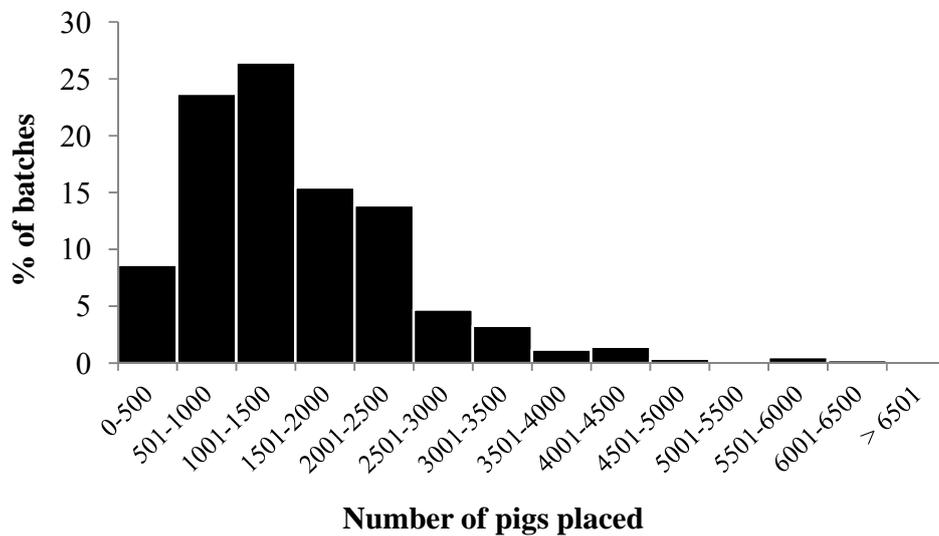


Figure 5.1. Distribution of the number of pigs placed per batch (764 batches).

The type of animal produced in each farm depends on the final objective of the producer. Spain is the world leader in production of dry-cured hams and for this purpose high final weight pigs are needed (Resano *et al.*, 2007). Thus, most farms (86.7%) produced "industrial pigs" (95-110 kg at slaughtering) and 13.3% produced "heavy fat pigs" (> 110 kg). The type of pig produced is also closely related to the gender and breed of the animals used. Gender segregation in pens (49.8%), use of entire males (59.5%) and Pietrain-sire pigs (70.0%) are used to produce "light" or "industrial" pigs while mixed-sex pens, presence of barrows and White (Landrace, Large White or their commercial crossings; 19.6%) and/or Duroc-sire pigs (7.8%) are combinations used to produce "industrial" or "heavy" pigs.

Concerning "facilities", information about age of farms in Spain is scarce in the literature and in many cases pig farms owners do not know the real age of their farms. In the present study, 38.5% of the farms did not have reliable information about age, approximately 42% of the farms were between ten and thirty years old and only 8.2% reported to be thirty years old or more. Presumably, many farms not able to report age were more than thirty years old. Most farms had pens with capacity for 13 to 20 pigs (87%), with $\geq 50\%$ of concrete slated floor (70%) and nipple drinker (89%). However, a higher heterogeneity was found in feeder type with 54% of farms having a "single-space" dry feeder, 20.6% having this feeder with an incorporated drinker and 24.3% having a "multi-space" conventional dry feeder. Pen size has been increased in recently built GF farms due to better outputs (Penny, 2000) but a low percentage (1.1%) of pens containing more than 20 pigs was found.

Table 5.2. Characterization of the descriptive variables recorded from 452 growing-finishing farms.

Variable	Categories
General information	
YEAR ¹	2008 (33.7%), 2009 (63.5%), 2010 (2.8%)
TRIMESTER ¹	Jan-Feb-Mar (18.3%), Apr-May-Jun (26.4%), Jul-Aug-Sep (18.1%), Oct-Nov-Dec (37.2%)
HERD	Nursery and growing-finishing (5.3%), Growing-finishing (94.7%)
PIGFAT	Industrial 95-110 kg (86.7%), Heavy > 110 kg (13.3%)
SPLITSEX	Mixed-sex (50.2%), Single-sex (49.8%)
GENDER	Male, female and barrow (11.7%), Male and female (59.5%), Barrow and female (23.5%), Missing (5.3%)
BREED ²	Pietrain (69.9%), White (19.6%), Duroc (7.8%), Pietrain x White (1.3%), Others (1.3%)
ORIGIN	One origin (54.4%), Two or more origins (45.6%)
AUJESVAC	One dose (11.1%), Two doses (21.9%), Three doses (65.3%), Missing (1.7%)
CIRCOVAC	No (76.4%), Yes (21.9%), Missing (1.7%)
MYCOVAC	No (76.2%), Yes (22.1%), Missing (1.7%)
Facilities	
AGEBARN	< 10 years (11.5%), Between 10 and 30 years (41.8%), > 30 years (8.2%), Missing (38.5%)
PIGPEN	≤ 12 pigs (9.3%), Between 13 and 20 pigs (87.2%), > 20 pigs (1.1%), Missing (2.4%)
FLOOR	Slatted < 50% (27.9%), Slatted ≥ 50% (69.9%), Missing (2.2%)
FEEDER	Multi-space (24.3%), Single-space (54.0%), Single space with incorporated drinker (20.6%), Others (0.2%), Missing (0.9%)
DRINKER	Nipple (88.7%), Bowl (6.6%), Only drinker incorporated in feeder (2.7%), Missing (2.0%)
VENT	Manual (27.9%), Automatic (71.2%), Missing (2.0%)
CS	No (87.8%), Yes (10.3%), Missing (1.7%)
Feeding	
FPHASE	Two (0.7%), Three (75.0%), Four (24.3%)
FFORM	Pellet (90.9%), Meal (9.1%)
FREQATB	Until twice (37.8%), Three or more times (61.3%), Missing (0.9%)
PATHATB	Water (1.1%), Feed (21.3%), Injection (0.2%), Water+Feed (13.9%), Feed+Injection (9.1%), Water+Feed+Injection (51.3%), Missing (3.1%)
WATERSOU	Well (23.2%), River (17.7%), Public water (36.5%), Others (8.4%), Missing (14.2%)
WATERHIG	No (37.8%), Yes (55.8%), Missing (6.4%)
NE ³	Feed 1 (2,403 ± 72.68), Feed 2 (2,376 ± 78.26), Feed 3 (2,360 ± 57.14)
CP ³	Feed 1 (17.12 ± 1.91), Feed 2 (16.15 ± 0.72), Feed 3 (15.60 ± 0.83)
TL ³	Feed 1 (1.12 ± 0.13), Feed 2 (1.10 ± 0.23), Feed 3 (0.93 ± 0.08)
NE ⁴	Feed 1 (2,414 ± 54.36), Feed 2 (2,399 ± 41.21), Feed 3 (2,419 ± 68.19), Feed 4 (2,428 ± 93.82)
CP ⁴	Feed 1 (17.63 ± 1.29), Feed 2 (17.21 ± 0.99), Feed 3 (16.63 ± 0.80), Feed 4 (15.66 ± 0.95)
TL ⁴	Feed 1 (1.17 ± 0.02), Feed 2 (1.03 ± 0.09), Feed 3 (0.96 ± 0.16), Feed 4 (0.85 ± 0.16)

¹ Considering batches as experimental units (n = 764).

² For "White breed" it was considered the follow breeds: Landrace or Large White or the crossing between them.

³ Means and standard deviations in each feed phase used by 555 batches belonging to 347 herds that had three feed phases at growing-finishing period.

⁴ Means and standard deviations in each feed phase used in 218 batches belonging to 116 herds that had four feed phases at growing-finishing period.

Both "number of pigs per pen" and "percentage of slatted floor" are important for other factors like the temperature, density of animals, ventilation control and number of feeders and drinkers. In the last years, there was an increase in single-space feeders with an incorporated drinker in GF pig farms because they have been associated to better feed intake. In fact multi-space feeders were normally found in older farms. Concerning environmental control, most farms (71%) had "automatic" ventilation but only 10.3% of farms had cooling systems available. In Spain, the use of automatic ventilation control and cooling systems in pig farms could be justified due the high temperatures observed between May and September.

Concerning feeding programs, most farms used three (75%) or four (24.3%) feeding phases based on pig age or weight depending on the company and almost all farms used pelleted feeds (91%). Liquid feed has been implanted in some GF farms in recent years but none of them were included in the database. Feeding programs included in this study follow FEDNA (2006) recommendations to some extent but they are difficult to compare because the time each feeding phase is used is very different among farms. Regarding the source of drinking water, 36.5% of farms used public tap water, in approximately 23% water came from a private well, 17.7% used water from a river and 8.5% from other sources. Moreover, 56% of farms treated the drinking water on farm, in coincidence with those farms which did not use public tap water. This variable indicates indirectly water quality used by pig farms and it could influence productive performance (Nyachoti *et al.*, 2005).

Regarding health status, the number of pig origins in each batch is a very important factor affecting health in GF farms (Maes *et al.*, 2000, 2004). In this sense, almost half of the farms (45.6%) received pigs from two or more origins. This fact may be reflecting the existence of small weaning farms not able to provide enough number of animals for a

particular GF unit. All farms vaccinated their pigs against Aujeszky's disease with proximately 11, 22 and 65% of farms vaccinated one, two and three dose, respectively. However, only around 22% of farms used circovirus and mycoplasma vaccine. Aujeszky's disease vaccination is so widely used because this disease is under mandatory reporting in Spain where the eradication program started in 1995 and was adapted and reinforced in 2003 (BOE, 1995). Circovirus disease (PCV2) was firstly described in Spain in 1997 and the infection is present in almost 100% of Spanish pig farms (Sibila *et al.*, 2004). However, commercial vaccine against PCV2 was recently developed and it is starting to be used to minimize the effects of this disease in pig production. With respect to *M. hyopneumoniae*, it is the principal etiologic agent of porcine respiratory disease complex being present in pigs farms worldwide (Thacker *et al.*, 2006). Vaccination is an important tool to its control enhancing performance by reducing prevalence and severity of lung lesions. However, vaccination is more often used in earlier phases and many animals may be already vaccinated once they reach GF phase. As far as the frequency of antibiotics treatment is concern, 61.3% of the farms treated three or more times the animals with some kind of antibiotic while 37.8% treated less than three times. Over half of the farms (51.3%) combined the use of feed, water and injection to administer antibiotics. This high use of antibiotics by different methods could be justified by the ban of the use of antibiotic growth promoter in the EU since 2006 causing an increase in both preventive and curative uses of antibiotics (Wierup, 2001).

Results for continuous variables describing productive performance were 19.0 ± 2.56 kg and 108.0 ± 6.20 kg for IBW and FBW respectively, 136 ± 12 and 154 ± 17 days for ADURFAT and TDURFAT respectively, $1.4 \pm 1.23\%$ (range 0.0 to 8.0 %) for culling rate,

99.7 ± 1.36% for BO, 244 ± 26.1 kg and 0.657 ± 0.0650 kg for TFI and ADG, 2.77 ± 0.178 for FCR and 4.3 ± 2.64 (range 0.0 to 16.5%) for MORT. This results were similar to those published by the Observatori del Porcí (2012) assessing the main performance parameters in around 12,475,503 GF pigs from Spain during 2011 with average values of: 18.3 and 105.0 kg for IBW and FBW respectively, 131.5 days for ADURFAT, 229.17 kg for TFI, 0.662 kg for ADG, 2.66 for FCR and finally 3.7% for MORT. **Table 5.3** shows the values of these variables for both industrial and heavy pig types. All values were different between both types of pigs except for mortality. Heavy pigs had a 3.6% shorter ADURFAT and a 12% longer TDURFAT, and had higher TFI (17.4%), ADG (14.9%), and FCR (6.5%) than “industrial” pigs. Because of these differences between industrial and heavy pigs, bivariate descriptive analysis results are presented in table 4 and 5 only for industrial pigs in order to avoid confounder effects.

Correlation analysis between continuous variables (**Table 5.4**) showed strong correlations (absolute values ≥ 0.60) among IBW-ADURFAT (- 0.60), FBW-TFI (0.71), ADURFAT-ADG (- 0.77), TDURFAT-ADG (- 0.60) and TFI-FCR (0.70). Most of these correlations may be expected, as could the correlation between feed intake and the duration of the GF period or the fact that IBW, and not FBW, is correlated to ADURFAT. In the other hand, the weakest correlations (absolute values ≤ 0.05) were observed between IBW-MORT (0.01), FBW-TDURFAT (0.01), FBW-MORT (- 0.03), BO-TFI (0.02), BO-ADG (- 0.05) and TFI-ADG (0.01). These low correlations are mostly due to a narrow distribution of variables like FBW or BO. For IBW-MORT the result may be not expected since the initial weight of the animals entering the GF unit does suppose a health challenge for the pigs (Larriestra *et al.*, 2005).

Table 5.3. Comparison of the main continuous variables registered between “industrial (I)” and “heavy (H)” fattening pigs through univariate statistical analysis.

Variable	Fattened pig	n	Mean	Std	Min	1 st quartile	Median	3 rd quartile	Max
ADURFAT	I	649	137 ^b	12.7	90	128	135	145	178
	H	111	132 ^a	9.8	110	125	131	139	155
TDURFAT	I	652	153 ^a	16.9	99	143	155	164	203
	H*	29	174 ^b	14.5	147	165	170	184	205
TFI	I	653	237 ^a	20.0	176	223	236	250	310
	H	111	287 ^b	14.8	231	278	287	296	358
ADG	I	649	0.641 ^a	0.051	0.503	0.605	0.638	0.676	0.804
	H	111	0.753 ^b	0.058	0.618	0.720	0.758	0.789	0.936
FCR	I	653	2.74 ^a	0.172	2.28	2.62	2.71	2.84	3.43
	H	111	2.93 ^b	0.115	2.71	2.86	2.93	3.01	3.23
MORT	I	653	4.3	2.7	0.0	2.4	3.6	5.4	16.5
	H	111	4.5	2.2	0.8	2.9	4.2	5.9	12.2

I: final body weight ranged from 95 to 110 kg.

H: final body weight higher than 110 kg.

Means in the same column and variable superscripted with different letters were significant ($p < 0.001$).

* Missing values were due to a company which did not provide information about TDURFAT.

Variables with their corresponding meaning are presented as follow: ADURFAT - average duration fattening period (days); TDURFAT – total duration fattening period (days); TFI - total feed intake (kg/pig); ADG - average daily gain (kg/pig); FCR - feed conversion ratio (kg/kg); MORT - mortality rate (%).

Table 5.5 shows descriptive bivariate analysis of TFI, ADG, FCR and MORT depending on classification factors. Pigs that grew during summer period (placed between April and June) presented lower values of TFI, ADG, FCR and MORT compared to those which grew in the winter period (placed between October and December). These results agree with the study published by Oliveira *et al.* (2009) in Spain and Maes *et al.* (2004) in Belgium. Both authors obtained lower mortality rates in batches housed between May and August.

Table 5.4. Pearson correlation coefficients for all production performance recorded in batches from “industrial” growing-finishing pigs.

Variables	IBW	FBW	ADURFAT	TDURFAT	CR	BO	TFI	ADG	FCR	MORT
IBW	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FBW	- 0.06	1	-	-	-	-	-	-	-	-
ADURFAT	- 0.60 ***	0.27 ***	1	-	-	-	-	-	-	-
TDURFAT	- 0.24 ***	0.01	0.57 ***	1	-	-	-	-	-	-
CR	- 0.11 *	- 0.07	0.24 ***	0.32 ***	1	-	-	-	-	-
BO	- 0.13 ***	0.14 ***	0.17 ***	- 0.11 ***	- 0.27 ***	1	-	-	-	-
TFI	- 0.24 ***	0.71 ***	0.45 ***	0.27 ***	0.20 ***	0.02	1	-	-	-
ADG	0.30 ***	0.33 ***	- 0.77 ***	- 0.60 ***	- 0.30 ***	- 0.05	0.01	1	-	-
FCR	0.21 ***	0.14 ***	0.12 ***	0.28 ***	0.34 ***	- 0.16 ***	0.70 ***	0.14 ***	1	-
MORT	0.01	- 0.03	0.13 ***	0.41 ***	0.39 ***	- 0.16 ***	0.29 ***	- 0.18 ***	0.53 ***	1

*** $P < 0.01$, ** $P < 0.05$

Variables with their corresponding meaning are presented as follow: IBW – initial body weight (kg/pig); FBW – final body weight (kg/pig); ADURFAT - average duration fattening period (days); TDURFAT – total duration fattening period (days); CR - culling rate (%); BO - barn occupation (%); TFI - total feed intake (kg/pig); ADG - average daily gain (kg/pig); FCR - feed conversion ratio (kg/kg); MORT - mortality rate (%).

According to Maes *et al.* (2004), barn windows are usually closed in cold periods in order to keep temperature leading to an accumulation of gases that can be harmful for the animals due to poor ventilation. Furthermore, pigs may reduce feed intake in warm periods in order to reduce body heat production depending mainly on environmental conditions inside the barns and diet composition. In our study, diet composition was not adjusted to environmental conditions and it may explain the TFI reduction. Concerning farm size, batches with less than 800 pigs presented higher ADG and lower TDURFAT and MORT with no changes in TFI. Maes *et al.* (2004) also found a lower mortality in batches containing less number of pigs (with farms ranging from 65 to 1288 pigs). Oliveira *et al.* (2007) also found better ADG in small batches (≤ 400 pigs vs. > 400 pigs) but Oliveira *et al.* (2009) registered no effect on MORT (< 400 pigs; 400-600 pigs; > 600 pigs). Small herds may allow performing an easier all in/all out management with animals from one origin improving health status.

As discussed above, split-sex pens, gender and breed of the sire pig were only found as factors in particular combinations because they are not selected in an independent way. Thus, these three variables were combined and presented as a single variable in **Table 5.5** in order to avoid a confounding effect. Combinations "B, F + MS + W" and "B, F + MS + D" showed the highest TFI, ADG showing also the worst FCR. According to Wise *et al.* (1996) productive efficiency depends on gender, age and body weight of pigs being barrows generally considered less efficient than females which are less efficient than entire males. Sex segregation in pens is also considered a good method to improve efficiency Niemi *et al.* (2010). Finally Edwards *et al.* (2006) found that Duroc-sired pigs had a higher body weight, ADG and backfat thickness than pietrain pigs, and it is known that Pietrain-

sired pigs are more efficient than other breeds by expressing a higher lean tissue growth (Gispert *et al.*, 1997). Thus combinations including mixed barrows and females with no Pietrain genetics were expected to be the less efficient ones.

Concerning facilities, pigs allocated in small pens (< 12 pigs) presented lower TDURFAT than those in pens containing between 13 and 20 pigs. Published studies relating the number of pigs per pen over performance considered a small pen with at most 20 pigs and a big pen with at least 50 pigs (Turner *et al.*, 2000). These authors found higher weight gain in small pens compared to big pens. Both categories used for pen size in the present study, pens with less than 13 pigs and those containing between 13 and 20 pigs, were considered "small" by Turner *et al.* and maybe the lack of differences is just a lack of data range. A higher TFI and ADG and a lower TDURFAT was observed in older than in newer barns despite the large number of missing values registered for this variable (38.5%). There were no effects on FCR and MORT. Older barns use to be smaller and were associated to a greater degree of precariousness in building conditions and characteristics of facilities. However, improvements applied to facilities were not considered in the current studies. A better assessment of the age of facilities and its status should be included in future studies.

Pigs placed in pens with < 50% of slated floor tended to have a higher ADG ($P = 0.08$) compared to those containing $\geq 50\%$. Oliveira *et al.* (2009) and Averós *et al.* (2010) did not find any influence of the percentage of slated floor on TFI and mortality. Percentage of slated floor is related to health problems caused mainly by the ammonia concentration.

Table 5.5. Associations between predictor variables (production factors) and the main outcome variables (productive performance) in batches from “industrial” growing-finishing pigs. Company was included as random effect and categorical variables which were not significant ($P > 0.10$) for any variable are not shown.

Variable	n	TFI			ADG			TDURFAT			FCR			MORT		
		Mean	SE	P-value	Mean	SE	P-value	Mean	SE	P-value	Mean	SE	P-value	Mean	SE	P-value
Trimester of placement				< 0.01			< 0.01			0.02			< 0.01			< 0.01
Jan-Feb-Mar	109	233 b	3.77		0.634 b	0.012		152 a	6.19		2.75 ab	0.039		4.8 a	0.57	
Apr-May-Jun	185	226 c	3.66		0.626 b	0.011		149 ab	6.15		2.70 b	0.038		3.5 b	0.56	
Jul-Aug-Sep	111	243 a	3.79		0.659 a	0.012		151 ab	6.19		2.75 ab	0.039		4.4 a	0.58	
Oct-Nov-Dec	248	240 a	3.61		0.660 a	0.011		148 b	6.14		2.78 a	0.038		4.8 a	0.56	
Number of pigs placed				0.26			< 0.01			< 0.01			0.12			< 0.01
< 800 pigs	146	234	3.49		0.656 a	0.011		141 c	6.31		2.73	0.039		3.9 b	0.56	
800-2000 pigs	348	235	3.28		0.643 b	0.011		152 b	6.26		2.75	0.038		4.5 a	0.54	
> 2000 pigs	159	238	3.51		0.636 b	0.011		156 a	6.31		2.77	0.039		4.8 a	0.56	
Gender/Split-sex/Breed ¹				<0.01			<0.01			0.40			< 0.01			0.51
M, F, B + SS + P	100	246 ab	6.89		0.591 c	0.027		155	20.94		2.70 bc	0.073		2.8	1.44	
M, F + SS + P	243	226 c	4.97		0.655 abc	0.020		154	14.83		2.65 c	0.052		4.0	1.02	
M, F + MS + P	180	229 c	3.46		0.644 bc	0.013		149	9.46		2.74 bc	0.035		4.6	0.68	
M, F + MS + W	24	241 b	4.86		0.664 ab	0.016		146	9.79		2.87 ab	0.045		5.2	0.83	
B, F + MS + W	53	253 a	4.10		0.678 a	0.014		147	9.60		2.92 a	0.040		4.8	0.75	
B, F + MS + D	24	242 b	4.87		0.674 a	0.016		143	9.79		2.88 a	0.046		4.1	0.83	
Number of animal origins				0.12			0.19			< 0.01			0.04			< 0.01
One origin	386	234	3.30		0.647	0.011		148	5.97		2.74	0.034		4.0	0.47	
Two or more origins	267	237	3.47		0.641	0.012		153	6.02		2.77	0.035		5.1	0.49	
Circovirus vaccine				< 0.01			0.40			< 0.01			< 0.01			< 0.01
No	481	238	3.83		0.649	0.012		148	6.49		2.76	0.043		4.5	0.67	
Yes	157	219	4.25		0.645	0.013		143	6.63		2.65	0.046		2.3	0.71	
Number of pigs per pen				0.74			0.12			< 0.01			0.49			0.18
≤ 12 pigs	76	236	4.21		0.655	0.012		145	6.20		2.73	0.043		3.9	0.60	
13-20 pigs	549	235	3.43		0.644	0.011		150	5.97		2.75	0.038		4.4	0.51	

Table 5.5. (Continued).

Variable	n	TFI			ADG			TDURFAT			FCR			MORT		
		Mean	SE	P-value	Mean	SE	P-value	Mean	SE	P-value	Mean	SE	P-value	Mean	SE	P-value
Age of the building				0.06			< 0.01			< 0.01			0.32			0.08
< 10 years	84	233 b	4.26		0.640 b	0.013		150 a	6.54		2.73	0.043		4.1	0.63	
10-30 years	298	235 ab	3.89		0.641 b	0.012		150 a	6.42		2.76	0.040		4.6	0.59	
> 30 years	61	242 a	4.51		0.665 a	0.013		142 b	6.63		2.77	0.045		4.0	0.66	
Floor				0.15			0.08			0.37			0.61			0.84
<50% slatted	220	237	3.52		0.649	0.011		149	5.87		2.75	0.038		4.4	0.54	
≥ 50% slatted	413	234	3.51		0.641	0.011		150	5.87		2.74	0.038		4.4	0.54	
Ventilation				0.02			0.33			0.53			0.01			0.07
Manual	235	239	3.45		0.641	0.012		149	5.97		2.78	0.036		4.7	0.53	
Automatic	408	233	3.21		0.648	0.012		150	5.90		2.72	0.035		4.1	0.50	
Frequency of antibiotics use				0.30			0.95			0.61			0.16			0.07
Until twice	234	233	4.16		0.643	0.013		148	6.11		2.72	0.045		3.8	0.56	
Three or more times	410	238	4.06		0.644	0.012		150	6.07		2.77	0.044		4.9	0.55	
Pathways of antibiotic use				0.50			0.09			< 0.01			0.54			0.04
Feed	170	239	4.94		0.658	0.019		135 b	6.90		2.76	0.051		3.3 b	0.64	
Water+feed	123	235	5.22		0.640	0.019		146 a	7.00		2.73	0.053		3.9 ab	0.68	
Water+feed+injection	325	236	5.53		0.632	0.022		164 a	7.92		2.79	0.058		5.7 a	0.72	
Water source				0.93			0.40			< 0.01			0.69			< 0.01
Well	106	234	4.38		0.645	0.015		149 a	6.13		2.71	0.045		3.5 b	0.39	
River	109	235	4.24		0.649	0.015		147 a	6.07		2.73	0.045		4.5 a	0.37	
Public water	258	233	3.70		0.652	0.014		143 b	5.90		2.72	0.042		3.7 b	0.29	
Others	59	233	4.49		0.662	0.015		139 b	6.15		2.72	0.046		3.4 b	0.41	

Levels from the variables that contained less than 10 batches were excluded of this table.

Means in the same column and variable superscripted with different letters were significant ($P \leq 0.05$).

¹ **Gender:** M, F, B – male, female and barrow / M, F – male and female / B, F – barrow and female. **Split-sex:** SS – single-sex / MS – mixed sex. **Breed of the sire pigs:** P – Pietrain / W – White / D – Duroc.

Ye *et al.* (2009) observed lower ammonia concentration and better air quality in partial slat pens than those with total slat and Aarnink *et al.* (1997a) stated that decreasing the percentage of slatted floor from 50 to 25% reduced the ammonia level by 11%. Partial slat may also help pigs to better define specific areas for resting allowing them to rest in a dry, solid floor Hacker *et al.* (1994). A lower TFI, FCR and MORT (trend) with no change in ADG or TDURFAT was observed in pigs placed in barns equipped with an automatic ventilation system compared to those with manual system. Results emphasize the importance of the ventilation system in pig's thermal sensation, as improving thermal comfort increases performance Choi *et al.* (2010). Moreover, according to Wathes (1994), ventilation system is the most efficient method to reduce the concentration of inside barn air pollutants.

Concerning health status variables, batches that were filled with pigs from just one farm origin had lower TDURFAT, FCR and MORT compared to those from two or more origins. Results from this study agree with some previous studies which observed the effects of the number and/or type of pig origins on mortality (Maes *et al.*, 2000, 2004; Oliveira *et al.*, 2007, 2009). According to Maes *et al.* (2000), there are specific pathogen sources in each origin farm and thus a mixture of pathogens and immunity status may occur in a GF batch with multiples origins, increasing the risk of disease and reducing performance. Vaccination was also an important health related factor. Batches which performed commercial circovirus vaccine in their pigs presented lower values for TFI, TDURFAT, FCR and MORT compared to those that did not. This reduction in mortality and the improvement in feed efficiency in vaccinated pigs also were observed by Segales *et al.* (2009) and Jacela *et al.* (2011). Batches that received two antibiotics treatments or less during the GF period tended to have a lower MORT than batches that were treated three or

more times. Moreover, it was observed a higher ADG and a lower TDURFAT and MORT in batches which received the antibiotics only through the feed than those in which they were administrated also through water and/or injection. It was not possible to obtain detailed information about the type of antibiotics used as well as the purpose of their use. Farms assessed in the present study did not use antibiotics as growth promoter (AGP) because of their ban in the European Union in 2006. However, according to Wierup (2001), banning the use of AGP's in animal feeds is often associated to an increase in both preventive and curative use of antibiotics. Probably, the better productive performance found in batches receiving only in-feed medication was due to a preventive use of antibiotics whereas water and injection medications were used more for curative purposes (Miller *et al.*, 2003). In any case, these results show that batches treated more times with antibiotics are related to poorer health status. Antibiotic treatment could be used as a monitoring parameter, and those farms using antibiotics three or more times in different consecutive batches may be worth to explore for possible alternatives strategies.

Finally, batches belonging to farms that obtained the drinking water from "public water supply" and "other" sources presented lower TDURFAT and those that obtained it from a river had higher MORT in comparison to other ones. Patience (1989) stated that poor water quality can impair health, reduce productivity and cause death in severe cases, leading to poor pig welfare and economic losses for the producer. Vico *et al.* (2011) observed that pig farms supplied with water sources that were not derived from "public supply" had higher level of contamination by *Samonella* in GF pigs, although the authors did not assess effects on productive performance. These differences can be justified by the chloride treatment that normally is performed to public water before its consumption.

5.4. Conclusions

The results showed that many of the production factors studied did affect performance, although some others which were not taken into account in the current study may also do so. The influence of some production factors were highly significant (*e.g.* trimester of placement, ventilation system and circovirus vaccination) and data can help to quantify their effects. However, other parameters (*e.g.* type of feeder or drinker, frequency of antibiotic use and fraction of slated floor) did not show significant effects over productive performance. Furthermore, some not expected results were found, as the effect of the number of pigs placed, favouring small farms, over both the total duration of the fattening period (differences up to two weeks) and the mortality rate (differences up to 19%) or the number of animal origins affecting almost exclusively the mortality rate (about 22% of difference between the levels). This data contribute to better describe the current situation of the Spanish GF pig production and will be useful for future analysis and studies.

Capítulo 6

**Factors affecting mortality, feed intake and
feed conversion ratio of grow-finishing pigs**

6.1. Objectives

The main objective was to determine the effect of pig management and farm facilities on total feed intake (TFI), feed conversion ratio (FCR) and pig mortality (MORT) of Pietrain sired GF pigs using multiple regression analysis. Results from this study could be used to provide applied scientists and pig companies with useful information to improve overall farm productivity.

6.2. Material and methods

6.2.1. Sampling and Data Collection

Animal Care and Use Committee approval was not obtained as this study utilized a database of survey results on existing commercial farm facilities and farm management practices.

Farm management data from a total of 246 GF herds consisting of 316 batches (1.28 batches per herd, range of one to three batches per herd) with a total of 459,148 Pietrain sired pigs in six Spanish integrated pig companies were recorded between July 2008 and December 2009 as outlined in **Tables 6.1** and **6.2**. The average number of batches per company was 52.7 (range of 17 to 168 batches per company) with an average of 76,525 (ranging from 18,852 to 243,364) total number of pigs placed per integrated company. The herds were located in four northern Spanish regions with similar temperature and humidity across all seasons; Aragón (44%), Cataluña (36%), Castilla y Leon (17%), and Valencia (3%) where the majority of Spanish pig meat is produced.

For the purpose of this study, batch was defined as a group of nursery pigs (19.5 ± 1.73 kg) that entered a GF unit and were raised until they reached a suitable weight for slaughter (104.0 ± 3.43 kg). Production conditions were recorded by herd, whereas pig performance records, year, and trimester of placement records were recorded by batch. All batches were managed in an all-in all-out basis. All herds and batches had the following factors in common: i) pigs were sent to the slaughterhouse between 95 and 110 kg of body weight, ii) pigs were either entire male or female, iii) batches had between 10 to 20 pigs per pen, iv) nipple drinkers were used in herds, v) there was an absence of a cooling system in herds, vi) three feed phases were used and vii) feed were in pellet form.

Performance traits studied were selected based on an extensive literature review (Losinger, 1998; Oliveira *et al.*, 2009). Herd data were collected by survey using a questionnaire model prepared by the research team in consultation with the field veterinarians of the companies that participated in the project. A descriptive summary of the categorical and continuous data used in the study are provided in **Table 6.1** and **Table 6.2** respectively.

Initial and final body weight (IBW and FBW) refers to pig live weight when entering the GF unit and immediately prior to transportation to the slaughter facility respectively. Total feed intake per pig in kilograms (TFI) was calculated from the total feed delivered to each batch minus the amount of feed remaining in the silos when each batch was slaughtered, divided by the number of marketed pigs. Feed conversion ratio (FCR) was obtained by dividing the total feed delivered to each batch by the difference between the total kilograms of pigs sent to slaughter and the total kilograms of pigs that entered at the GF batch. Mortality rate (MORT) was calculated as the number of nursery pigs that entered

the GF unit minus the number of pigs transported for slaughter divided by the number of pigs that entered the GF unit multiplied by 100.

Table 6.1. Descriptive values of independent categorical variables studied in 316 batches from 246 herds of grow-finishing pigs belonging to six integrated pig companies.

Potential risk factor	Categories (% of batches in each class)
Year of placement	2008 (25.6%) 2009 (74.4%)
Trimester of placement	January-February-March (12.7%) April-May-June (34.5%) July-August-September (10.1%) October-November-December (47.7%)
Number of animals placed	< 800 pigs (22.8%) 800-2000 pigs (53.5%) > 2000 pigs (23.7%)
Number of pig origins	One origin (52.2%) More than one origin (47.8%)
Sex segregation in pens	Split-sex (62.3%) Mixed-sex (37.7%)
Floor slat percentage	< 50% slat (21.6%) ≥ 50% slat (78.4%)
Type of feeder	Multi-space (19.6%) Single-space (64.3%) Single-space with incorporated drinker (16.1%)
Type of ventilation control system	Manual (28.3%) Automatic (71.7%)
Water source in the herd	Public water (30.9%) Others (69.1%)

Table 6.2. Descriptive values of independent continuous variables and dependent variables in 316 batches from 246 herds of grow-finishing pigs belonging to six integrated pig companies.

Variable	Mean	s.d. ¹	95% c.i. ²	Min. ³	Max. ⁴
Initial body weight (kg)	19.5	1.73	19.3-19.7	17.0	27.8
Final body weight (kg)	104	3.44	104-104.6	96.3	109.9
Length of fattening period (day)	133	9.94	132-134	109	164
Total feed intake (kg/pig)	227	16	225-229	179	278
Feed conversion ratio (kg/kg)	2.71	0.15	2.69-2.72	2.28	3.20
Mortality rate (%)	4.13	2.66	3.84-4.42	0.00	16.5
Square root of mortality rate	1.93	0.65	1.85-2.00	0.00	4.06

¹s.d. = standard deviation

²c.i. = confidence interval

³Min. = minimum

⁴Max. = maximum

6.2.2. Data analysis

Batch was considered the experimental unit for all analyses. Descriptive statistics were performed for continuous and categorical variables and their distributions were examined using the UNIVARIATE procedure of SAS (SAS, Cary, NC, USA, version 9.2). A square root transformation of the mortality data (sqrtMORT) was used to fit with the normality assumptions of linear regression.

Variables TFI, FCR and sqrtMORT were considered as the dependent variables. All other continuous and categorical variables (see **Tables 6.1** and **6.2**) were considered as predictor variables. Dependent variables were analyzed using linear mixed effects regression models (SAS, Cary, NC, USA, version 9.2) with company included as random effect. Variance components estimation was done using restricted maximum likelihood procedure.

Initially, a univariate regression model was used where each predictor variable was included as a single fixed effect, and variables that had $P \leq 0.25$ were selected for use in the multivariate analysis in the MIXED procedure of SAS (SAS, Cary, NC, USA, version 9.2). Pearson and Spearman correlations were performed among independent variables in the multivariate model to avoid multicollinearity between the continuous variables and confounding problems between the categorical variables. When two variables had a strong correlation coefficient (absolute value ≥ 0.60), only one was used in the multivariate analysis. This variable was selected by comparing P -values in the univariate analysis as well as taken into account its biological relevance with respect to the dependent variable. Subsequently, the model was developed using a manual stepwise model building procedure. All factors with a $P < 0.05$ were retained in the final model. Fixed-effect testing was based on the F-test with denominator degrees of freedom approximated by the Satterthwaite's procedure. Interactions between significant variables in the multivariate model were tested and included if $P < 0.05$. After fitting the models for each dependent variable, residuals were plotted against predicted values to check homogeneity of variances and the presence of outliers.

6.3. Results

6.3.1. Company

Company did not affect ($P > 0.10$) any of the dependent variables and therefore was not included in the final models. Correlations among independent variables were not high ($r < 0.60$) and all independent variables were studied to predict each of the response traits.

6.3.2. Total feed intake

The TFI per pig per batch was 227 ± 16.0 kg (ranging from 179 to 278 kg) (**Table 6.2**). Total feed intake was positively correlated with both sqrtMORT ($r = 0.38$, $P < 0.001$) and FCR ($r = 0.72$, $P < 0.001$).

Multivariate regression analysis indicated that TFI (**Table 6.3**) was influenced by trimester of placement ($P < 0.01$), sex segregations in the pens ($P < 0.001$), type of feeder ($P < 0.001$) and FBW ($P < 0.001$). The variables selected explained 63% of the total variability in TFI.

Categorical variable results with respect to dependent variables are presented based on differences found between the least-square means adjusted in each level (data not show). As expected the estimation of TFI by trimester showed that pigs placed in the first (January-March) and fourth (October-December) trimester had higher TFI (about 2.0%) than second and third trimester (**Table 6.3**). When sex segregation was practiced (split-sex pens), there was a reduction in TFI by 3.4%. Batches with pens arranged with multiple and single space feeders had greater TFI than batches arranged with single space feeders with incorporated drinkers (5.6%). However, the difference between multiple and single space feeders was negligible. Finally, the regression analysis indicated that for every 1 kg increase in FBW, TFI increased by 3.05 kg.

An interaction between IBW and trimester of placement on TFI was observed ($P < 0.01$) showing that pigs housed in the warm period (July-September) decreased TFI by -5.29 ± 1.62 kg per each increment of 1 kg of IBW ($P < 0.001$), whereas no effect of IBW on these traits was observed during the rest of the year.

Table 6.3. Estimates of the effects of the factors studied (s.e.¹) on total feed intake in kilograms per pig in 316 batches from 246 herds of grow-finishing pigs belonging to six integrated pig companies.

Factor	Level	Estimate (s.e. ¹)	Confidence interval 95%		
			Low	Upper	<i>P</i>
Intercept		-96.49 (29.08)	-153.71	-39.28	0.001
Trimester	Jan-Feb-Mar	0	–	–	–
	Apr-May-Jun	36.32 (22.57)	-8.10	80.75	0.109
	Jul-Aug-Sep	99.76 (30.96)	38.83	160.70	0.001
	Oct-Nov-Dec	10.76 (21.81)	-32.15	53.67	0.622
Sex segregation	Split-sex	0	–	–	–
	Mixed-sex	7.87 (2.17)	3.60	12.14	< 0.001
Type of feeder	Single-space + drinker	0	–	–	–
	Single-space	12.94 (2.32)	8.38	17.50	< 0.001
	Multi-space	12.89 (1.92)	9.11	16.68	< 0.001
Initial body weight		-0.38 (1.04)	-2.43	1.65	0.708
Final body weight		3.05 (0.19)	2.68	3.43	< 0.001
Initial body weight * Trimester	Jan-Feb-Mar	0	–	–	–
	Apr-May-Jun	-2.08 (1.17)	-4.38	0.23	0.077
	Jul-Aug-Sep	-5.29 (1.62)	-8.48	-2.10	0.001
	Oct-Nov-Dec	-0.48 (1.13)	-2.71	1.75	0.674

¹s.e. = pooled standard error.

6.3.3. Feed conversion ratio

The average FCR was 2.71 ± 0.15 (ranging from 2.28 to 3.20, **Table 6.2**). Feed conversion ratio was positively correlated with both TFI ($r = 0.72$, $P < 0.001$) and sqrtMORT ($r = 0.52$, $P < 0.001$).

Table 6.4 shows the multivariate regression results for factors associated with FCR, and indicate that FCR was influenced by trimester of placement ($P < 0.01$), sex segregation ($P < 0.001$), percentage of slat on the floor ($P < 0.05$), type of feeder ($P < 0.001$) and FBW ($P < 0.05$). The variables selected in the model explained 27% of the total variability of FCR.

Average estimation of FCR by trimester also showed that pigs placed in the first (January-March) and fourth (October-December) trimester presented poorer FCR (an increase of 2.4%) than those placed during the rest of the year. When sex segregation was not practiced (mixed-sex pens), FCR was 4.25% poorer. The slat percentage was important in determining FCR, pigs finished in farms with less than 50% slated floor had 1.9% better FCR. There was no noticeable difference between single and multiple spaced feeders however there was an improvement in FCR when a drinker was incorporated into the single space feeder (5.1%). Finally, for each 1 kg of increase in FBW, FCR was 0.005 poorer.

An interaction between IBW and trimester of placement on FCR was also found ($P < 0.01$) showing that pigs housed in the warm period (July-September) improved FCR (-0.068 ± 0.020 units) per each increment of 1 kg of IBW, whereas no effect of IBW on these traits was observed during the rest of the year.

Table 6.4. Estimates of the effects of the factors studied (s.e.¹) on feed conversion ratio (FCR) in 316 batches from 246 herds of grow-finishing pigs belonging to six integrated pig companies.

Factor	Level	Estimate (s.e. ¹)	Confidence interval 95%		
			Low	Upper	<i>P</i>
Intercept		1.589 (0.369)	0.853	2.307	< 0.001
Trimester	Jan-Feb-Mar	0	–	–	–
	Apr-May-Jun	0.353 (0.291)	-0.219	0.925	0.225
	Jul-Aug-Sep	1.282 (0.390)	0.515	2.049	0.001
	Oct-Nov-Dec	-0.047 (0.282)	-0.603	0.508	0.867
Sex segregation	Split-sex	0	–	–	–
	Mixed-sex	0.116 (0.028)	0.061	0.171	< 0.001
Percentage of slat	≥ 50% slat	0	–	–	–
	< 50% slat	-0.052 (0.023)	-0.097	-0.006	0.026
Type of feeder	Single-space + drinker	0	–	–	–
	Single-space	0.143 (0.032)	0.079	0.206	< 0.001
	Multi-space	0.138 (0.026)	0.085	0.190	< 0.001
Initial body weight		0.024 (0.013)	-0.002	0.050	0.071
Final body weight		0.005 (0.002)	0.0002	0.010	0.040
Initial body weight * Trimester	Jan-Feb-Mar	0	–	–	–
	Apr-May-Jun	-0.021 (0.015)	-0.051	0.008	0.161
	Jul-Aug-Sep	-0.068 (0.020)	-0.109	-0.028	0.001
	Oct-Nov-Dec	0.003 (0.015)	-0.026	0.032	0.833

¹s.e. = pooled standard error.

6.3.4. Mortality

The mean mortality rate was $4.13 \pm 2.65\%$ (ranging from 0 to 16.51%) (**Table 6.2**). Square root of mortality rate was positively correlated with TFI ($r = 0.38$, $P < 0.001$), and negatively with FCR ($r = -0.52$, $P < 0.001$).

Multivariate regression analysis indicated that sqrtMORT (**Table 6.5**) was mainly influenced by trimester of placement ($P < 0.01$), number of pig origins ($P < 0.01$), type of ventilation ($P < 0.001$) and number of animals placed ($P < 0.01$). The variables selected explained 20% of total variability of sqrtMORT.

Mortality was higher for batches placed between October and March than those placed between April and September (about 15.9% of difference). It was also observed that batches containing pigs from one origin had a 10.9% lower sqrtMORT than batches with pigs from two or more origins. Pigs housed in barns that had an automatic ventilation system had sqrtMORT (9.6%) than those in barns with manual ventilation systems. Batches with less than 800 pigs and between 800 to 2000 pigs had a reduction of sqrtMORT of 14.8 and 3.3%, respectively, in comparison to batches that had more than 2000 pigs.

Significant Interactions between both IBW and ventilation control ($P < 0.01$) and IBW and pig origins ($P < 0.01$) on sqrtMORT were also found showing that pigs housed in barns with manual ventilation systems had decreased sqrtMORT (-0.146 ± 0.040 units) and pigs in a batch from one origin increased sqrtMORT (0.128 ± 0.040 units) per each increment of 1 kg of IBW.

Table 6.5. Estimates of the effects of the factors studied (s.e.¹) on square root of mortality rate in 316 batches from 246 herds of grow-finishing pigs belonging to six integrated pig companies.

Factor	Level	Estimate (s.e. ¹)	Confidence interval 95%		
			Low	Upper	<i>P</i>
Intercept		3.609 (0.746)	2.141	5.078	< 0.001
Trimester	Jan-Feb-Mar	0	–	–	–
	Apr-May-Jun	-0.338 (0.108)	-0.550	-0.125	0.002
	Jul-Aug-Sep	-0.301 (0.136)	-0.569	-0.033	0.028
	Oct-Nov-Dec	0.022 (0.104)	-0.184	0.227	0.836
Number of pig Origins	≥ Two origins	0	–	–	–
	One origin	- 2.720 (0.822)	-4.337	-1.104	0.001
Type of ventilation	Automatic	0	–	–	–
	Manual	3.041 (0.857)	1.355	4.728	< 0.001
Number of animal Placed	> 2000 pigs	0	–	–	–
	800 – 2000 pigs	-0.067 (0.082)	-0.228	0.093	0.410
	< 800 pigs	-0.301 (0.103)	-0.503	-0.099	0.004
Initial body weight		-0.072 (0.039)	-0.148	0.004	0.065
Initial body weight * Ventilation control	Automatic	0	–	–	–
	Manual	-0.145 (0.044)	-0.233	-0.059	0.001
Initial body weight * Pig origins	≥ Two origins	0	–	–	–
	One origin	0.128 (0.042)	0.045	0.211	0.003

¹s.e. = pooled standard error.

6.4. Discussion

Production performance and economic data are routinely recorded at pig company and farm levels to provide useful information for farm management decision making. Several authors (Losinger, 1998; Losinger *et al.*, 1998; Maes *et al.*, 2004; Larriestra *et al.*, 2005; Oliveira *et al.*, 2007, 2009) have published data related to the effect and relevance of production factors on the final output of GF pigs. An important factor considered for selection of herds was the sire line used. In the present study, Pietrain was the most common sire line used by herds and all batches of pigs recruited had a Pietrain sire line since it is considered the most used line in Spain (Latorre *et al.*, 2004, 2009) due to its high genetic potential.

The fixed effect of trimester of placement was significantly associated with TFI, FCR, and sqrtMORT in this study. The fixed effects of sex segregation, type of feeder and FBW were associated with TFI and FCR, and the number of pig origins, type of ventilation control and number of pigs placed were associated with sqrtMORT. The low values of coefficient of determination (R^2) found for FCR ($R^2 = 0.27$) and sqrtMORT ($R^2 = 0.20$) may be explained by a limited variability in the database studied. Maes *et al.* (2004) and Larriestra *et al.* (2005) also obtained low R^2 values (0.20 and 0.13 respectively) evaluating factors that influence mortality. In contrast, Oliveira *et al.* (2009) found high R^2 values for mortality and total feed intake (0.41 and 0.80 respectively). In this sense, it is subjective to compare the R^2 from other studies because of differences in variability or the factors studied. Moreover, despite the low values of R^2 found in the present study, the effects studied were highly significant and consistent showing that in this case the R^2 from the models had limited importance.

Pigs arriving to the farm facilities in cold (October to March) seasons had higher TFI and sqrtMORT and poorer FCR. This is in agreement with Oliveira *et al.* (2009) who observed that pigs had higher TFI when placed in cold periods. During cold periods animals require more energy to keep their body temperature, therefore feed intake increases which can impair feed efficiency. Maes *et al.* (2004) and Oliveira *et al.* (2009) also found higher mortality in pigs placed during cold season compared to those placed during warm season, in Belgium and Galicia (Spain), respectively. High mortality in pigs kept during cold periods can be associated with respiratory diseases originating from poorly ventilated buildings (Maes *et al.*, 2004). Windows closed for a long period of time to avoid heat loss can lead to an accumulation of ammonia which can be harmful to animals.

Pigs fed in single-space feeders with incorporated drinker presented better profitability than pigs fed in single and multi-space feeder without drinker. Studies conducted by Gonyou and Lou (2000) and Myers *et al.* (2010) concluded that single-space feeders with incorporated drinker improved performance of GF pigs. Gonyou and Lou (2000) observed higher feed intake and growth rate in GF pigs fed in wet/dry feeders than those fed in dry feeders. According to these authors, the water drinkers incorporated in feeders decreases the time spent eating contributing to an increase in feed intake and weight gain. In contrast, Patterson (1991) did not find any benefit in pig performance using feeders with an incorporated drinker. Our study shows a lower TFI in pigs fed with single-space feeder with incorporated drinker, which disagrees with the results found by several studies (Walker, 1990; Anderson *et al.*, 1990; Gonyou and Lou, 2000). However, Payne (1991) observed an increase in average daily gain without increasing TFI of pigs fed in feeder with incorporated drinker, as consequence of a lower feed wastage. Thus, in the current study, it may be possible that the lower TFI found in pigs fed in single-space feeder with an

incorporated drinker may be due to the lower feed wastage; in other words, the higher feed intake observed in pigs fed in both single and multi-space without drinker may be in part due to the wastage, leading to a poorer FCR.

Batches with mixed-sex pens had higher TFI and poorer FCR than those in split-sex pens. Hill *et al.* (2007) suggested the reason for having split-sex pens was related to the advantages of optimizing diet composition among different sexes, mainly between barrow and female pigs. In fact, Andersson *et al.* (2005) found a similar performance between mixed or split-sex pens using male and female pigs. However, in the present study the same diet was fed to male and female pigs in split-sex pens. Previous studies also focused on the importance of split-sex on welfare issues due to the potential aggressiveness between males and females, indicating that rearing females separately avoided welfare problems and improved feed efficiency (Giersing and Andersson, 1998; Björklund and Boyle 2006).

The number of pig origins affected sqrtMORT showing that pigs originated from a one origin had lower mortality. This may be due to an increase in risk in introducing disease into a herd when pigs are sourced from multiple farms, and it may be also due to the fact that larger pig herds have to source their pigs from multiple origins to fulfill their requirements, and pigs in larger herds received less supervision from farm workers. Previous studies also found an increase in mortality with more than one pig origin (Maes *et al.*, 2000, 2004; Oliveira *et al.*, 2007, 2009). It has been suggested at each origin herd there are specific pathogen sources and thus in a GF batch with multiples origins, there may be a mixture of pathogens and immunity status, increasing the risk of transmission of disease and reducing performance (Harris and Alexander, 1999; Maes *et al.* 2000).

Pigs in smaller herds, with a batch size less than 800 pigs placed, had lower sqrtMORT than larger farms. Maes *et al.* (2004) also obtained a trend for a reduction in

mortality in batches containing a low number of pigs (ranging from 65 to 1288 pigs placed in their study) and Oliveira *et al.* (2007) found a reduction in the time to slaughter in small batches (≤ 400 pigs vs. > 400 pigs) associated with an improvement in growth rate. In contrast, Oliveira *et al.* (2009) found no effect of herd size (< 400 pigs; 400-600 pigs; > 600 pigs) on mortality and TFI. Losinger (1998) observed a better feed efficiency in large herds (< 800 pigs; 800-2999 pigs; ≥ 3000 pigs). Despite these contrasting results, small herds allow for easier management all in/all out systems, leading to improved health status. Moreover, to fill large batches may be necessary to use pigs from several origins which may reduce profitability.

Pigs placed in pens with less than 50% slatted floor had better feed efficiency compared to pens with more than 50%. In contrast, Oliveira *et al.* (2009) and Losinger (1998) did not find any influence of slatted floor percentage on TFI or mortality. The importance of different percentages of slatted floor is related with health problems caused by the ammonia. Aarnink *et al.* (1997b) found that decreasing the percentage of slatted floor from 50 to 25% reduced the ammonia level in the pen by almost 11%. However, in the current study it did not observe an effect of slatted floor percentage on sqrtMORT. In any case, the optimal proportion of slatted floor should be related to the density of pigs in the pen, since pigs use specific areas of the pen to feed, rest and defecate, where resting in a dry and solid floor is a priority (Hacker *et al.*, 1994). In addition to this the differences observed in FCR but not in sqrtMORT could be explained by the greater probability offered being lost through the slats leading to a greater feed wastage in pens with greater than 50% slatted floor.

Automatic ventilation systems in barns, led to a reduction in sqrtMORT. According to Saha *et al.* (2010) the purpose of the ventilation system is to maintain a particular temperature while controlling levels of humidity and removing gaseous contaminants introduced by the animal and their waste. Therefore, the efficient removal of gases will depend on the type of ventilation control system used. Choi *et al.* (2010) observed higher profitability in nursery pigs housed in barns with automatic ventilation compared to those housed in manual ventilation. However, Oliveira *et al.* (2009) did not find differences between manual and automatic ventilation control on MORT and TFI.

6.5. Conclusions

The performance of GF pigs improved when batches: i) were placed in the spring and summer season, ii) were raised in smaller farms (< 800 pigs), iii) sourced from one origin, iv) the pens had single-space feeders with incorporated drinker, v) the pens had less than 50% of slated floor, vi) a split-sex pen (males vs. females) management system was used and vii) pigs were housed in barns that had automatic ventilation systems. Furthermore, the results also indicate that variation in TFI and FCR was influenced by IBW and FBW whereas sqrtMORT was influenced only by IBW. Finally, the different companies had specific management and facilities characteristics among their integrated farms as consequence of the limited variability found in the database.

Capítulo 7

**Managing variability in decision making in
Spanish swine production companies**

7.1. Objectives

The objective of this chapter was to collect available information from a representative number of pig producing companies in Spain and determine the effect of animal management and farm facilities on feed conversion ratio (FCR) and mortality rate (MORT) in GF pigs belonging to different companies using two different approaches; company by company or using an overall database (OD).

7.2. Materials and methods

7.2.1. Sampling information and variables collected in the study

The database included information from a total of 686 batches from 404 GF farms integrated in seven Spanish companies (abbreviated as “Com” from “A” to “G”) adding up to a total of 1,040,116 pigs. Information was collected between July 2008 and July 2010 including one to three batches of animals per farm. In all batches, the animals remained in the GF unit from finishing the nursery phase until slaughter and were managed in an all-in all-out basis. Pig companies were located in Cataluña, Aragón, and Castilla y León, the Spanish regions where most pig meat is produced. Data were collected by survey using a questionnaire model prepared by the research team in consultation with the field veterinarians of the companies that participated in the project. The recorded variables were selected from literature. All of them had been proven to act as factors responsible for variation in the production cycle of GF pigs. For the description of the data, both

categorical and continuous variables were used in each company and their details are shown in **Tables 7.1** and **7.2** respectively.

7.2.2. Data processing and analyses

Information from the returned questionnaires was coded into a database (Excel, Microsoft Corporation). Data were exported for analysis into SAS (SAS, Cary, NC, USA, version 9.2). Batch was considered the experimental unit for all the analyses. Descriptive statistics were performed for continuous and categorical variables and their distributions were examined by using the MEANS and FREQ procedure of SAS respectively. Mortality rate data was square root transformed (sqrtMORT) in order to achieve normality assumptions of linear regression. Variables FCR and sqrtMORT were the studied dependent variables and all categorical variables plus IBW were considered as predictor variables being the last one, forced into the models. Dependent variables were analyzed using linear mixed effects regression models. Variance components estimation was done using restricted maximum likelihood procedure (REML).

Effects of independent variables on dependent variables were studied using two approaches: 1) data were analyzed separately for each of the seven companies studied, including in each company's model only those factors that presented variability for the company, and 2) data were analyzed combining data from all companies at the same time in one model using a overall database (OD). One of the companies was not included in the OD because it fattened pigs to higher FBW compared to the others and this kind of production present particular production conditions. On the other hand, variables not provided by one or more of the companies were not taken into account in the OD model in order to avoid reductions in sample size. Farm was not considered at any random level

because most of the farms contributed with only one batch to the database. Company was included initially as a random factor but it was not significant ($P > 0.10$) and then it was excluded from the models.

Initially, a univariate regression model was used where each predictor variable was included as a single fixed factor to predict. Variables that had $P < 0.25$ were selected to build the multivariable model. Before entering the variables into a multivariable model, bivariate Pearson's and Spearman's correlations were performed among independent variables in order to avoid multicollinearity problems between the continuous variables and confounding problems between the categorical variables. There were no high correlations between any of the continuous variables selected ($r < 0.60$) and all were included in the multivariate models. However, breed of the pig-sire, gender, and sex segregation in batches showed a relationship being used only in particular combinations. Thus, these variables were grouped as a single combined variable. The model was built using a manual stepwise regression model procedure; all factors with a $P < 0.15$ were retained in the final model. Fixed effects were classified as an important factor when they had a $P < 0.10$ in the final models. Finally, all two-way interactions between significant variables in the multivariable model were tested and included if $P < 0.05$. After fitting the conditional models for each dependent variable, both normality and homoscedasticity of the residuals were evaluated by plotting the standardized residuals versus the predicted values and by plotting a Q-Q plot of the residuals.

Table 7.1. Characterization of the descriptive variables recorded from 686 batches in 404 grow-finishing farms belonging to seven integrated pigs companies.

	Company						
	A	B	C	D	E	F	G
AC	Cataluña (48.3%) Aragón (51.7%)	Castilla y León (100%)	Cataluña (47.5%) Aragón (36.4%) Valencia (16.1%)	Aragón (100%)	Aragón (100%)	Cataluña (100%)	Aragón (10.1%) Castilla y León (82.3%) Other (7.6%)
TRIMESTER	Apr-May-Jun (34.8%) Oct-Nov-Dec (65.2%)	Jan-Feb-Mar (26.8%) Apr-May-Jun (24.7%) Jul-Aug-Sep (20.6%) Oct-Nov-Dec (27.8%)	Apr-May-Jun (56.6%) Oct-Nov-Dec (43.4%)	Jan-Feb-Mar (24.2%) Apr-May-Jun (25.3%) Jul-Aug-Sep (31.3%) Oct-Nov-Dec (19.2%)	Jan-Feb-Mar (25.7%) Apr-May-Jun (21.6%) Jul-Aug-Sep (31.1%) Oct-Nov-Dec (21.6%)	Apr-May-Jun (51.6%) Oct-Nov-Dec (48.4%)	Jan-Feb-Mar (27.8%) Apr-May-Jun (12.7%) Jul-Aug-Sep (27.8%) Oct-Nov-Dec (31.7%)
PIGFAT	Industrial (100%)	Industrial (100%)	Industrial (100%)	Industrial (100%)	Industrial (100%)	Industrial (100%)	Heavy (100%)
GENDER	Male and female (100%)	Male and female (64.9%) Barrow and female (35.1%)	Male and female (59.6%) Barrow and female (40.4%)	Male and female (100%)	Male and female (100%)	Male and female (100%)	Barrow and female (100%)
SPLITSEX	Split-sex (100%)	Mixed-sex (100%)	Mixed-sex (100%)	Split-sex (100%)	Mixed-sex (100%)	Split-sex (100%)	Mixed-sex (100%)
BREED	Pietrain (100%)	Pietrain (64.9%) White (35.1%)	Pietrain (36.4%) White (45.4%) Duroc (18.2)	Pietrain (100%)	Pietrain (100%)	Pietrain (100%)	White (100%)
CIRCOVAC	No (34.3%) Yes (65.7%)	No (100%)	No (80.8%) Yes (19.2%)	No (100%)	No (100%)	No (100%)	No (100%)
ORIGIN	One (39.6%) More than one (60.4%)	One (49.5%) More than one (50.5%)	One origin (22.2%) More than one (77.8%)	One origin (100%)	One origin (100%)	One origin (100%)	One (40.5%) More than one (59.5%)
AGEBARN	Not available	< 10 years (14.4%) 10 to 30 years (41.2%) > 30 years (44.3%)	10 to 30 years (100%)	< 10 years (28.3%) 10 to 30 years (71.7%)	< 10 years (39.2%) 10 to 30 years (60.8%)	< 10 years (29.0%) 10 to 30 years (71.0%)	< 10 years (27.8%) 10 to 30 years (72.2%)
PIGPEN	10 to 20 pigs (100%)	< 10 pigs (54.6%) 10 to 20 pigs (45.4%)	< 10 pigs (24.1%) 10 to 20 pigs (75.9%)	10 to 20 pigs (100%)	10 to 20 pigs (100%)	10 to 20 pigs (100%)	< 10 pigs (5.1%) 10 to 20 pigs (94.9%)

Table 7.1. (Continued).

	Company						
	A	B	C	D	E	F	G
FLOOR	≥ 50% slatted (100%)	< 50% slatted (29.9%) ≥ 50% slatted (70.1%)	< 50% slatted (45.7%) ≥ 50% slatted (54.3%)	< 50% slatted (37.4%) ≥ 50% slatted (62.6%)	< 50% slatted (100%)	< 50% slatted (48.3%) ≥ 50% slatted (51.7%)	< 50% slatted (12.7%) ≥ 50% slatted (87.3%)
FEEDER	Single-space (100%)	Multiple-space (58.8%) Single-space (19.6%) Single-space + drinker (21.6%)	Multiple-space (100%)	Single-space (100%)	Multi-phase (6.8%) Single-space + drinker (93.2%)	Single-space (19.4%) Single-space + drinker (80.6%)	Multi-space (16.9%) Single-space + drinker (83.1%)
DRINKER	Nipple (100%)	Nipple (40.2%) Bowl (36.1%) Without drinker (23.7%)	Nipple (100%)	Nipple (100%)	Nipple (100%)	Nipple (45.4%) Bowl (54.6%)	Nipple (100%)
VENT	Automatic (100%)	Manual (71.1%) Automatic (28.9%)	Manual (100%)	Automatic (100%)	Manual (75.7%) Automatic (24.3%)	Manual (9.7%) Automatic (90.3%)	Automatic (100%)
FPHASE	Three (100%)	Three (100%)	Four (100%)	Three (100%)	Three (100%)	Three (100%)	Four (100%)
FFORM	Pellet (100%)	Pellet (100%)	Pellet (100%)	Pellet (100%)	Pellet (100%)	Pellet (100%)	Meal (100%)
PATHATB	Water + feed + injection (100%)	Feed (50.5%) Water + feed (49.5%)	Water + feed + injection (100%)	Feed (100%)	Water + feed (100%)	Not available	Feed + injection (100%)
WATERSOU	Well (9.9%) River (53.5%) Public water (28.2%) Others (8.4%)	Well (85.6%) Public water (14.4%)	Not available	Public water (100%)	Public water (40.5%) Others (59.5%)	Public water (100%)	Well (100%)
NPP	< 800 pigs (19.8%) 800 to 2000 pigs (58.0%) > 2000 pigs (22.2%)	< 800 pigs (54.6%) 800 to 2000 pigs (45.4%)	< 800 pigs (15.2%) 800 to 2000 pigs (57.6%) > 2000 pigs (27.2%)	< 800 pigs (8.1%) 800 to 2000 pigs (43.4%) > 2000 pigs (48.5%)	800 to 2000 pigs (58.1%) > 2000 pigs (41.9%)	< 800 pigs (35.5%) 800 to 2000 pigs (54.8%) > 2000 pigs (9.7%)	< 800 pigs (11.4%) 800 to 2000 pigs (60.8%) > 2000 pigs (27.8%)

AC - autonomous community; TRIMESTER - trimester of placement; PIGFAT - type of pigs fattened; GENDER - genders present at batches; SPLITSEX - sex segregation in pens; BREED - breed of the pig-sire; CIRCOVAC - circovirus vaccine; ORIGIN - number of pig origins; AGE BARN - age of the herds; PIGPEN - number of pigs per pen; FLOOR - percentage of slatted floor; FEEDER - type of feeder; DRINKER - type of drinker; VENT - ventilation control system; FPHASE - number of feed phases; FFORM - feed form; PATHATB - routes used to perform treatments; WATERSOU - water source in the herd; NPP - number of pigs placed.

Table 7.2. Means and standard deviation of initial and final body weight (IBW; FBW), feed conversion ratio (FCR) and square root of the mortality rate (sqrtMORT) observed from 686 batches in 404 grow-finishing farms belonging to seven integrated pigs companies.

Company	N	Productive parameters							
		IBW		FBW		FCR		sqrtMORT	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
A	207	19.2	1.62	104.8	4.52	2.67	0.12	2.01	0.60
B	97	21.0	1.43	106.7	4.85	2.83	0.17	1.68	0.51
C	99	18.8	1.86	106.4	3.41	2.89	0.22	2.61	0.64
D	99	16.5	1.83	108.2	2.57	2.68	0.08	1.62	0.40
E	74	17.4	1.82	107.1	3.14	2.60	0.10	1.84	0.44
F	33	20.1	5.21	106.5	3.93	2.59	0.10	1.83	0.45
G	79	20.7	2.04	119.7	3.55	2.90	0.11	1.90	0.37
OD*	607	18.8	7.52	106.7	9.50	2.72	0.42	1.93	1.49

* OD - database of companies A to F. Initial body weight (IBW) refers to pig live weight when entering the GF unit. Final body weight (FBW) was the live weight recorded in the GF unit prior to transportation to the slaughter facility. Feed conversion ratio (FCR) was obtained dividing the total feed delivered to each batch (kg) by the difference between the total kilograms of pigs sent to slaughter and the total kilograms of pigs that entered a GF batch. Finally, mortality rate (MORT) was calculated as the number of nursery pigs that entered the GF unit minus the number of pigs transported for slaughter divided by the number of pigs that entered the GF unit.

7.3. Results

A total of 686 batches housed in 404 GF farms integrated in seven companies (about 98 batches and 148,588 pigs by company) were analyzed separately by company as well as grouped (n= 607 batches from 363 herds). Mean and SD for IBW and FBW for OD data were 18.8 ± 7.52 and 106.7 ± 9.50 kg respectively. Details for each company are shown in **Table 7.2**.

7.3.1. Feed conversion ratio

Mean and SD for FCR of the "OD" was 2.72 ± 0.42 kg/kg (ranging from 2.30 to 3.42 kg/kg). Averages and SD of FCR found for each company are shown in **Table 7.2**.

Multivariate regression analysis (**Table 7.3**) indicated that in "Com C" the FCR was 0.09 poorer on average when batches were located in Cataluña compared to Aragón ($P < 0.10$). The FCR was 0.07 better when pigs were placed between April-June at "Com C" ($P < 0.10$) and 0.09 when they were placed between January-March at "Com E" ($P < 0.01$) in comparison to those placed in October-December. Moreover, the effect of the season of placement on FCR varied depending of: 1) "circovirus vaccine" at "Com A"; 2) "breed of the pig-sire / gender / sex segregation" at "Com B" and 3) "initial body weight" at "OD". The use of a White and Duroc sire-pigs, presence of barrow and mixed-sex had 0.15 ($P < 0.01$) and 0.13 ($P < 0.10$) poorer FCR respectively compared to those batches that had a Pietrain sire-pig, males and mixed-sex at "Com C". Furthermore, the influence of the "breed of the pig-sire / gender / sex segregation" on FCR was modified by the season of placement ("Com B") and initial body weight ("OD"). The effect of the use of a vaccine against circovirus disease on FCR depended on the season of placement at "Com A". Batches

containing pigs from a unique origin had 0.10, 0.04 and 0.05 better FCR at "Com C" ($P < 0.10$), "Com G" ($P < 0.10$) and "OD" ($P < 0.01$) respectively than when they came from multiple origins. The "Com F" had a poorer FCR (0.07) in batches belonging to farms which were between 10 and 30 years old than those newer than 10 years ($P < 0.05$). Moreover, at "Com D" the effect of "herd age" on FCR was modified when IBW varied. A better FCR (0.04 ud) was found in batches from farms at "Com E" ($P < 0.10$) which did not obtain the water drink from the public supply. For "OD", there was an improvement in FCR by 0.08 and 0.06 when pigs were fed in a single-space feeder with an incorporated drinker compared to both multi and single-space feeder without any incorporated drinker respectively ($P < 0.001$). The FCR was 0.05 poorer in batches containing between 800-2000 pigs at "Com A" ($P < 0.05$) and about 0.16 poorer in batches containing more than 2000 pigs at "Com C" ($P < 0.05$) in comparison to batches containing less than 800 pigs. Finally, for every 1 kg increase in IBW, FCR was 0.020, 0.031, 0.025 and 0.025 poorer in "Com A", "Com D", "Com G" and "OD" respectively ($P < 0.001$).

Table 7.3. Parameter estimates (standard error in parenthesis) for the feed conversion ratio (FCR) in each company studied (n = 686 batches) and when companies A to F were grouped in the same database (OD, n = 607 batches)¹.

Variable	Companies							OD ²
	A	B	C	D	E	F	G	
Intercept	2.257 (0.10)***	3.093 (0.21)***	2.779 (0.25)***	2.157 (0.13)***	2.596 (0.12)***	2.541 (0.06)***	2.413 (0.12)***	2.257 (0.11)***
Autonomous community								
Cataluña	S	U	0.088 (0.05) [†]	U	U	U	S	S
Castilla y León	S	U	A	U	U	U	S	S
Valencia	S	U	- 0.065 (0.06)	U	U	U	S	S
Other	S	U	A	U	U	U	S	S
Aragón	S	U	-	U	U	U	S	S
Trimester of placement								
Jan-Feb-Mar	A	- 0.243 (0.05)***	A	S	- 0.089 (0.03)**	S	S	- 0.031 (0.12)
Apr-May-Jun	- 0.034 (0.02)*	- 0.327 (0.04)***	- 0.074 (0.04) [†]	S	- 0.023 (0.03)	S	S	0.150 (0.09)
Jul-Aug-Sep	A	- 0.310 (0.05)***	A	S	- 0.015 (0.03)	S	S	0.297 (0.10)**
Oct-Nov-Dec	-	-	-	S	-	S	S	-
BREGENSEG ³								
Pietrain – Male – Mixed-sex	U	-	-	U	U	U	U	-
Pietrain – Male – Split-sex	U	A	A	U	U	U	U	0.243 (0.10)*
White – Male – Mixed-sex	U	A	0.036 (0.06)	U	U	U	U	0.566 (0.34) [†]
White – Barrow – Mixed-sex	U	- 0.048 (0.05) [†]	0.155 (0.06)**	U	U	U	U	0.528 (0.23)*
Duroc – Barrow – Mixed-sex	U	A	0.133 (0.07) [†]	U	U	U	U	0.829 (0.26)**
Circovirus vaccine								
No	0.122 (0.02)***	U	S	U	U	U	U	S
Yes	-	U	S	U	U	U	U	S
Number of pig origins								
One origin	S	S	- 0.098 (0.06) [†]	U	U	U	- 0.039 (0.02) [†]	- 0.048 (0.01)**
More than one origin	S	S	-	U	U	U	-	-
Herd age								
< 10 years	A	S	U	-	S	-	S	A
10 to 30 years	A	S	U	0.505 (0.16)**	S	0.068 (0.03)*	S	A
> 30 years	A	S	U	A	S	A	S	A

Table 7.3. (Continued).

Variable	Companies							OD ²
	A	B	C	D	E	F	G	
Type of feeder								
Multi-space	U	S	U	U	S	S	S	0.075 (0.02) ^{***}
Single-space	U	S	U	U	S	S	S	0.058 (0.02) ^{***}
Single-space with drinker	U	S	U	U	S	S	S	–
Routes utilized to perform treatments								
Feed	U	S	U	U	U	A	U	A
Feed + Water	U	S	U	U	U	A	U	A
Feed + Water + Injection	U	S	U	U	U	A	U	A
Water source in the farm								
Well	S	S	A	U	A	U	U	A
River	S	S	A	U	A	U	U	A
Other	S	S	A	U	- 0.041 (0.02) [†]	U	U	A
Public supply	S	S	A	U	–	U	U	A
Number of animals placed								
< 800 pigs	–	S	–	S	A	S	S	S
800-2000 pigs	- 0.045 (0.02) [*]	S	0.092 (0.06)	S	S	S	S	S
> 2000 pigs	- 0.015 (0.02)	S	0.163 (0.07) [*]	S	S	S	S	S
Initial body weight	0.020 (0.005) ^{***}	- 0.004 (0.009)	- 0.001 (0.01)	0.031 (0.008) ^{***}	0.005 (0.01)	0.001 (0.003)	0.025 (0.005) ^{***}	0.025 (0.01) ^{***}
Trimester * Circovirus vaccine								
Apr-May-Jun / No vaccinated	0.142 (0.04) ^{***}	U	U	U	U	U	U	U
/ Vaccinated	–	U	U	U	U	U	U	U
Oct-Nov-Dec / No vaccinated	–	U	U	U	U	U	U	U
/ Vaccinated	–	U	U	U	U	U	U	U
Initial body weight * Herd age								
Initial body weight / < 10 years	U	U	U	–	U	U	U	U
/ 10 to 30 years	U	U	U	- 0.028 (0.01) ^{**}	U	U	U	U
Initial body weight * Trimester								
Initial body weight / Jan-Feb-Mar	U	U	U	U	U	U	U	- 0.0005 (0.006)
/ Apr-May-Jun	U	U	U	U	U	U	U	- 0.011 (0.005) [*]
/ Jul-Aug-Sep	U	U	U	U	U	U	U	- 0.018 (0.005) ^{**}
/ Oct-Nov-Dec	U	U	U	U	U	U	U	–

Table 7.3. (Continued).

Variable	Companies							OD ²
	A	B	C	D	E	F	G	
Trimester of placement * BREGENSEG								
Jan-Feb-Mar / Pietrain – Male – Mixed-sex	U	–	U	U	U	U	U	U
/ White – Barrow – Mixed-sex	U	0.228 (0.07) ^{***}	U	U	U	U	U	U
Apr-May-Jun / Pietrain – Male – Mixed-sex	U	–	U	U	U	U	U	U
/ White – Barrow – Mixed-sex	U	0.197 (0.09) [*]	U	U	U	U	U	U
Jul-Aug-Sep / Pietrain – Male – Mixed-sex	U	–	U	U	U	U	U	U
/ White – Barrow – Mixed-sex	U	0.280 (0.08) ^{***}	U	U	U	U	U	U
Oct-Nov-Dec / Pietrain – Male – Mixed-sex	U	–	U	U	U	U	U	U
/ White – Barrow – Mixed-sex	U	–	U	U	U	U	U	U
Initial BW * BREGENSEG								
Initial BW / Pietrain - Male - Mixed-sex	U	U	U	U	U	U	U	–
/ Pietrain - Male - Split-sex	U	U	U	U	U	U	U	- 0.015 (0.005) ^{**}
/ White - Male - Mixed-sex	U	U	U	U	U	U	U	- 0.025 (0.02)
/ White - Barrow - Mixed-sex	U	U	U	U	U	U	U	- 0.019 (0.01) [†]
/ Duroc - Barrow - Maxed-sex	U	U	U	U	U	U	U	- 0.035 (0.01) [*]

¹ Variables not significant with respect to FCR in all companies studied and in OD were not described at the table.

² OD - overall database. Data from "company G" was not included.

³ BREGENSEG - This variable combined "breed of the pig-sire", "genders present in batches" and "sex segregation in batches".

S - Variable was not selected to the final model; U - Variable non-used in the model (without variability); A - Variable or level not available.

(–) Factor level not affecting the intercept value of multiple regression models.

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; † $P < 0.10$.

7.3.2. Square root of mortality rate

Mean and SD for sqrtMORT for the "OD" was 1.93 ± 1.49 (ranging from 0.0 to 4.06).

Means and SD for sqrtMORT found for each company are shown in **Table 7.2**.

Multivariate regression analysis (**Table 7.4**) indicated that at "Com C", batches belonging to farms located in Cataluña had a higher sqrtMORT by 0.25 ($P < 0.10$) compared to farms from Aragón. It was observed a reduction in sqrtMORT when pigs were placed in warm seasons. In particular, when compared to pigs placed between October-December, pigs in "Com B" that entered on farms between April-June and July-September decreased sqrtMORT by 0.45 ($P < 0.001$) and 0.43 ($P < 0.01$) respectively; pigs placed from April to June reduced sqrtMORT by 0.25 and 0.35 in "Com C" and "Com F" respectively ($P < 0.05$); batches entered the farms from January to March had an increase of 0.30 in sqrtMORT ($P < 0.05$) in "Com E"; and it was also found a reduction in sqrtMORT by 0.26 ($P < 0.001$) and 0.28 ($P < 0.001$) when pigs were placed between April-June and July-September respectively in the "OD". Finally, the effect of season on sqrtMORT depended on the use of a circovirus vaccine at "Com A". Batches that contained pigs from a unique origin had a decrease by 0.16 ($P < 0.10$), 0.38 ($P < 0.01$), 0.16 ($P < 0.05$) and 0.37 ($P < 0.001$) in sqrtMORT in "Com B", "Com C", "Com G" and "OD", respectively, in comparison to those that had pigs from multiple origins. With respect to the herd age, batches belonging to "Com E" which were between 10 and 30 years old had a higher sqrtMORT by 0.18 compared to those newer than 10 years ($P < 0.05$). When batches from "Com B" were penned with less than 50% of slatted floor, sqrtMORT decreased by 0.18 ($P < 0.10$) than those penned with more than 50% of it. It was also observed a reduction in sqrtMORT by 0.23 ($P < 0.05$) and 0.25 ($P < 0.001$) when an automatic ventilation was available to batches belonging to "Com B" and "OD" respectively. There

was an effect with regard to the different routes used to perform antibiotics treatments, showing an increase in sqrtMORT by 0.19 ($P < 0.05$) when batches were treated with antibiotics through both in-feed and in-water at "Com B". A higher sqrtMORT at "Com A" (0.16; $P < 0.05$) was found in batches from farms that obtained drink water from a river than from farms that had a public supply. Moreover, the effect of the "water source" on sqrtMORT was modified by the IBW at "Com E". Regarding the number of pigs placed, when compared to batches containing less than 800 pigs, those containing between 800-2000 pigs had an increase in sqrtMORT by 0.23 ($P < 0.05$) at "Com B". In addition, it was also registered an increase by 0.36 ($P < 0.05$) and 0.29 ($P < 0.01$) in sqrtMORT in batches containing 800-2000 pigs and 0.63 ($P < 0.05$) and 0.33 ($P < 0.001$) in batches that contained more than 2000 pigs at "Com F" and "OD" respectively. Finally, for every 1 kg increase in IBW, sqrtMORT reduced 0.037 at "Com D" ($P < 0.10$) and 0.071 at "Com E" ($P < 0.05$).

Table 7.4. Parameter estimates (standard error in parenthesis) for the square root of mortality rate (sqrtMORT) in each company studied (n = 686 batches) and when companies A to F were grouped in the same database (OD; n = 607 batches)¹.

Variable	Companies							OD ²
	A	B	C	D	E	F	G	
Intercept	2.277 (0.46) ^{***}	1.916 (0.74) [†]	2.577 (0.67) ^{***}	2.232 (0.36) ^{***}	3.056 (0.64) ^{***}	1.478 (0.35) ^{***}	1.532 (0.42) ^{***}	2.255 (0.18) ^{***}
Autonomous community								
Cataluña	S	U	0.246 (0.13) [†]	U	U	U	S	S
Castilla y León	S	U	A	U	U	U	S	S
Valencia	S	U	-0.092 (0.18)	U	U	U	S	S
Other	S	U	A	U	U	U	S	S
Aragón	S	U	–	U	U	U	S	S
Trimester of placement								
Jan-Feb-Mar	A	-0.052 (0.12)	A	S	0.300 (0.13) [*]	A	S	- 0.073(0.06)
Apr-May-Jun	-0.040 (0.09) [†]	-0.448 (0.12) ^{***}	-0.249 (0.13) [*]	S	-0.145 (0.13)	-0.347 (0.16) [*]	S	- 0.260 (0.05) ^{***}
Jul-Aug-Sep	A	-0.433 (0.14) ^{**}	A	S	-0.166 (0.12)	A	S	- 0.283 (0.06) ^{***}
Oct-Nov-Dec	–	–	–	S	–	–	S	–
Circovirus vaccine								
No	0.566 (0.09) ^{***}	A	S	U	U	U	U	S
Yes	–	A	S	U	U	U	U	S
Number of pig origins								
One origin	S	-0.164 (0.11) [†]	-0.376 (0.15) ^{**}	U	U	U	-0.169 (0.08) [*]	- 0.373 (0.05) ^{***}
More than one origin	S	–	–	U	U	U	–	–
Herd age								
< 10 years	A	S	U	S	–	S	S	A
10 to 30 years	A	S	U	S	0.185 (0.09) [*]	S	S	A
> 30 years	A	S	U	S	A	S	S	A
Percentage of slatted floor								
< 50% slatted	U	-0.180 (0.10) [†]	S	S	A	S	S	S
≥ 50% slatted	U	–	S	S	A	S	S	S
Ventilation control system								
Manual	U	–	U	U	S	S	U	–
Automatic	U	-0.234 (0.12) [*]	U	U	S	S	U	- 0.246 (0.05) ^{***}

Table 7.4. (Continued).

Variable	Companies							OD ²
	A	B	C	D	E	F	G	
Route utilized to perform treatments								
Feed	U	–	U	U	U	A	U	A
Feed + Water	U	0.193 (0.10)*	U	U	U	A	U	A
Feed + Water + Injection	U	A	U	U	U	A	U	A
Water source in the farm								
Well	-0.068 (0.13)	S	A	U	A	U	U	A
River	0.164 (0.08)*	S	A	U	A	U	U	A
Other	0.042 (0.14)	S	A	U	-1.924 (0.84)*	U	U	A
Public supply	–	S	A	U	–	U	U	A
Number of animals placed								
< 800 pigs	S	–	S	S	S	–	S	–
800-2000 pigs	S	0.228 (0.10)*	S	S	S	0.364 (0.17)*	S	0.291 (0.06)***
> 2000 pigs	S	A	S	S	S	0.628 (0.29)*	S	0.333 (0.07)***
Initial body weight	-0.029 (0.02)	-0.0008 (0.03)	0.009 (0.03)	-0.037 (0.02)†	-0.071 (0.04)*	0.013 (0.02)	0.021 (0.02)	-0.001 (0.008)
Trimester * Circovirus vaccine								
Apr-May-Jun / No vaccinated	0.406 (0.20)*	U	U	U	U	U	U	U
/ Vaccinated	–	U	U	U	U	U	U	U
Oct-Nov-Dec / No vaccinated	–	U	U	U	U	U	U	U
/ Vaccinated	–	U	U	U	U	U	U	U
Initial BW * Water source								
Initial BW / Public water	U	U	U	U	–	U	U	U
/ Other	U	U	U	U	0.103 (0.05)*	U	U	U

¹ Variables not significant with respect to sqrtMORT in all companies studied and in OD were not described at the table.

² OD - overall database. Data from "company G" was not included.

S - variable was not selected to the final model; **U** - variable non-used in the model (without variability); **A** - variable not available.

(–) Factor level not affecting the intercept value of multiple regression models.

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; † $P < 0.10$.

7.4. Discussion

Data obtained showed that each company had its specific animal management and similar type of facilities in all the integrated farms. Thus, variability between companies was higher than within them. This homogeneity among farms integrated in the same company is a common practice in the Spanish pig companies. Oliveira *et al.* (2009) evaluated factors affecting both mortality rate and feed intake of GF pigs in an integrated Spanish company and also observed a narrow spectrum of husbandry and management practices among the different farms. Most studies about factors affecting profitability in GF pigs found in literature were performed using batches from farms belonging to a unique company (Maes *et al.*, 2004; Larriestra *et al.*, 2005). However, there are some studies (Losinger, 1998; Losinger *et al.*, 1998) using larger databases as those belonging to the US Department of Agriculture (USDA). When available, both approaches can be used and studying variability within and among companies separately can provide different but complementary information.

Trimester of placement was a very important factor responsible for variation in both FCR and sqrtMORT in four and five companies out of seven, respectively, and also in the OD. In most companies pigs placed in warm seasons had better performance. Maes *et al.* (2004) also found higher mortality in pigs placed during the cold season compared to the warm season, and suggested that it could be due to respiratory diseases originated by poorly ventilated buildings when trying to maintain indoor temperature. Thereby, its importance can vary among companies depending on facilities, management, or geographic location. All farms studied were located in northern Spain, and had similar outside temperature ranges.

Variables as breed of the pig-sire, gender, and sex segregation in batches were closely correlated among them and to the type of pig produced. Split-sex pens, use of entire males, and Pietrain-sire were normally used to produce “light” or “industrial” pigs whereas mixed-sex pens, presence of barrows and White (Landrace, Large White, or their commercial crossings) and/or Duroc-sire pigs were preferred combinations to produce “heavy” pigs, although these combinations were also used in industrial light-pig production. In the present study six companies produced “industrial” pigs and one company produced “heavy” pigs. Only industrial pig companies were included in the OD because of the specific production conditions of the heavy pig companies. According to Corrêa *et al.* (2006) and Gispert *et al.* (2007), Pietrain sire is the most used breed of sires due to its high genetic potential converting feed into muscle tissue instead of fat tissue, improving thus feed efficiency. Differences observed in the companies presenting variability on this factor and in OD confirm and quantify this effect in the conditions of the current study.

Only two companies performed circovirus vaccination (Com A and C) in the GF phase. Circovirus disease (PCV2) was first described in Spain in 1997 and the infection is present in almost 100% of Spanish pig farms (Sibila *et al.*, 2004). However, commercial vaccine against PCV2 was only recently developed and introduced to the market (Fenaux *et al.*, 2004). Currently, several companies produce this vaccine and it is used in different phases (sows, nursery piglets, and GF pigs). In the present study, companies that did not perform this vaccination in GF phase may have done it in sows or piglets. Studies conducted by Segales *et al.* (2009) and Jacela *et al.* (2011) obtained a reduction in mortality and an improvement in feed efficiency when circovirus vaccine was performed in GF pigs. Similar results were obtained for Com A but not for Com C and OD. Differences in

severity of the circovirus disease and/or in quality of the vaccine used by different companies could justify these differences.

Mixing piglets from different origins normally induces a mixture of pathogens and immune status, increasing transmission of disease and reducing performance (Harris and Alexander, 1999). Maes *et al.* (2000, 2004) found an increase in mortality in batches that had pigs from multiple origins in a study using data from one Belgium pig company. Our data shows that batches using pigs from a single origin had better FCR and sqrtMORT both in the OD and in most of the companies presenting variability in this factor.

Concerning facilities, percentage of slatted floor and type of ventilation system were determinants only in Com B. Batches that had lower than 50% of slatted floor or automatic ventilation control had lower sqrtMORT. In addition, automatic ventilation also led to a reduced sqrtMORT in OD. Results regarding to the proportion of floor covered by slatted and ventilation control in GF barns are contradictory in the literature and Losinger (1998), Maes *et al.* (2004), and Oliveira *et al.* (2009) did not observe any influence on performance. Type of feeder showed no effects on the single companies assessed in the current study, but it was an important factor in OD. Herds equipped with multi-space feeders presented poorer FCR. Gonyou and Lou (2000) and Myers *et al.* (2010) concluded that single-space feeders with drinker may improve performance in GF pigs. On the other hand, Maes *et al.* (2004) did not find any benefit using feeders with incorporated drinker.

Age of the barns, routes used to perform medication, and water source were factors not included in the OD model because they were missing values for a high number of batches. Thus, these factors were only studied at a single company level in order to obtain information about its effects. In three out of four companies, herds newer than 10 years had better FCR or lower sqrtMORT than herds more than 10 years old. This factor effect in

performance is rarely studied in literature. Maes *et al.* (2004) did not observe any effect of GF barns age on mortality rate. However, recently built facilities have modern equipment with a better environment control, biosecurity, and welfare which should lead to an improvement in performance. Batches using only in-feed medication also had lower sqrtMORT. According Miller *et al.* (2003), in-water and injection medication are more effective in sick pigs (for curative purposes) whereas in-feed medication is associated to preventive medication. Thus, the use of medication only in feed may be more of a consequence in herds with an excellent health. Results about water source were contradictory among companies and no clear conclusion can be drawn.

In our study, small batches presented lower mortality. Similar results were found by Maes *et al.* (2004) who obtained a trend of reduction in mortality in small batches. In contrast, Oliveira *et al.* (2009) did not register any effects on mortality and feed intake. An easier all in/all out management in small batches may improve health status.

Finally, IBW was considered as a covariate being included into the models in order to account for the large variability found in companies. Lower IBW increased sqrtMORT and improved significantly FCR in some companies, as pigs with a lower BW are more efficient to convert feed consumed in weight gain but they are more sensitive to the changes caused by the new facilities.

7.5. Conclusions

The variability among Spanish companies was much higher than within them and some factors presented no variability within companies. In this sense, models developed by

each company were more accurate and reliable than those obtained from the overall dataset using data belonging to different companies. Batches of grow-finishing pigs had better feed conversion ratio when: 1) were placed between April and September, 2) were originated from a Pietrain pig-sire, presence of males and segregated in pens, 3) came from a unique farm origin, 4) farms were newer than 10 years and 5) pigs had lower initial body weight. Batches of pigs had lower mortality rate when: 1) were placed between April and September, 2) pigs came from a unique farm origin, 3) the water was obtained from a well and/or public supply, 4) were raised in smaller farms (< 800 pigs) and finally 5) pigs had higher initial body weight. Furthermore, due to the structure of the Spanish pig companies having common management practices and facilities in their farms, more research is necessary to investigate the factors affecting performance within and between companies, increasing the number of companies, herds and batches surveyed, as well as the number of factors studied in nutrition, welfare, biosecurity, and health.

Capítulo 8

Discusión general

El seguimiento permanente de los índices productivos y económicos, no pone de manifiesto el impacto ejercido por un determinado factor de producción sobre dichos índices y no permite jerarquizar estos factores productivos en función de su contribución real al output del sistema. Por ello, la idea inicial de esta tesis fue avanzar en un enfoque destinado a cuantificar las relaciones más sobresalientes establecidas entre los distintos índices productivos y los factores y/o condiciones de producción. Para ello se recogió información de un grupo de granjas y de empresas porcinas españolas, se ordenaron los datos, se procedió a su estudio estadístico y se confeccionaron los modelos matemáticos correspondientes.

8.1. Programación y ejecución de los estudios

El objetivo inicial era recoger datos de al menos 1.000 granjas, correspondientes al producto de 20 empresas de las 25 contactadas por 50 granjas cada una. El resultado fue más modesto puesto que, tras más de un año de trabajo, conseguimos obtener datos de 764 lotes pertenecientes a 452 granjas de nueve diferentes empresas integradoras. La mayoría de las granjas se encontraban en las comunidades autónomas de Aragón y Cataluña (44 y 35% respectivamente), un 18% estaba en Castilla y León y el resto (alrededor de 3%) en Navarra, La Rioja y Valencia. Esa distribución coincidió parcialmente con la distribución del censo de cerdos de cebo en España en el año 2010 pues según el MAGRAMA (2012), el 30% del total de cerdos de cebo estaban en Aragón, el 27% en Cataluña y aproximadamente el 10% en Castilla y León. Siete de las nueve empresas se ubicaban en Cataluña y dos en Castilla y León.

La elección de las variables a registrar se decidió a partir de artículos científicos y técnicos publicados recientemente (Losinger, 1998; Losinger *et al.*, 1998; Maes *et al.*, 2000; Medel y Fuentetaja, 2001; O'Connell *et al.*, 2002; Miller *et al.*, 2003; Maes *et al.*, 2004; Larriestra *et al.*, 2005; Koketsu, 2007; Oliveira *et al.*, 2007; Garcimartín *et al.*, 2008; Quiles y Hervia, 2008; Street *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2009; Niemi *et al.*, 2010; Potter *et al.*, 2010; Jacela *et al.*, 2011) y la experiencia acumulada tanto por el equipo investigador como por los equipos técnicos de las empresas participantes. En principio se contemplaron un grupo de variables como “independientes” (X_i) y otras como “dependientes” (Y_i), incluyendo variables tanto “continuas” (por ejemplo el peso medio inicial y final, número de cerdos alojados, porcentaje de ocupación de las naves,...) como “discretas” (por ejemplo el tipo genético, tipo de comedero, tipo de bebedero, sistema de ventilación,...). Entre las variables “dependientes” (Y_i) se tuvo en cuenta variables como el consumo de pienso, el crecimiento medio diario, el índice de conversión, los días de permanencia en la fase y la mortalidad.

Este planteamiento general no es nuevo y de hecho existen modelos (**Tabla 8.1**) que relacionan distintos índices productivos con diferentes factores que afectan la producción durante la fases de crecimiento y engorde, en distintos países y utilizando diferentes bases de datos. Como se observa en la **Tabla 8.1**, la mayoría de los estudios utilizaron granjas y lotes de animales pertenecientes a una sola empresa integradora limitando de este modo la aplicabilidad de aquellos resultados a granjas de otras empresas y/o a otras regiones productivas.

Tabla 8.1. Ejemplos de estudios que evalúan la influencia de diferentes factores de producción en relación a los índices productivos más determinantes en la fase de crecimiento y engorde de cerdos.

Estudio	Índice productivo estudiado	Base de datos estudiada
Losinger (1998)	Índice de conversión (<i>kg/kg</i>)	Granjas americanas (base de datos del USDA)
Losinger <i>et al.</i> (1998)	Mortalidad (%)	
Maes <i>et al.</i> (2004)	Mortalidad (%)	Granjas belgas (base de datos de una empresa integradora)
Larriestra <i>et al.</i> (2005)	Mortalidad (%) y saldos (%)	Granjas americanas (base de datos de una empresa integradora)
Koketsu (2007)	Mortalidad (%)	Granjas japonesas (base de datos de la Universidad de Meiji)
Oliveira <i>et al.</i> (2007)	Consumo de pienso (<i>kg</i>), mortalidad (%) y duración del engorde (<i>días</i>)	Granjas españolas (base de datos de una empresa integradora)
Oliveira <i>et al.</i> (2009)	Consumo de pienso (<i>kg</i>) y mortalidad (%)	

Una vez obtenidos los datos respecto a los lotes y granjas en cada una de las empresas participantes, la información fue depurada y organizada en distintas bases de datos. En el primer estudio (capítulo 5), se hizo una descripción de toda la información recogida a partir de los 764 lotes de 452 granjas pertenecientes a nueve empresas a través del uso de frecuencias de las variables categóricas, promedios y correlaciones de las variables continuas y también de las relaciones entre las condiciones de producción y los principales rendimientos productivos. De este modo se contribuye a una mejor descripción de la actual situación de la producción española de cerdos de cebo y se hace disponible información sectorial representativa y fiable.

En este capítulo, observamos que factores como la genética del macho finalizador, el sexo/género y su separación en corrales, el número de piensos utilizados y su forma física

estuvieron directamente relacionados con el tipo de cerdo engordado o el peso final (Medel y Fuentetaja, 2001; Latorre *et al.*, 2003; Edwards *et al.*, 2006). En este sentido, el 82% de las granjas que produjeron cerdos industriales (95-110 kg) disponían de machos finalizadores Pietrain. En cuanto a los sexos/géneros presentes, el 70% de las granjas de cerdos industriales tenían machos enteros en lugar de castrados. Sin embargo en ninguna de las granjas de cerdos pesados había machos enteros. También se observó que la mitad de las granjas de cerdos industriales separaban los sexos/géneros por corrales mientras que el 100% de las granjas de cerdos pesados no hicieron este manejo. Aproximadamente el 84% de las granjas de cerdos industriales utilizaron un programa de alimentación en tres fases durante el crecimiento y engorde y la totalidad de granjas de cerdos pesados utilizaron cuatro fases.

Se observó también que las empresas de un modo general presentaron sus granjas y lotes bastante homogéneos, haciendo que la variabilidad entre empresas fuera mayor que dentro de cada empresa, en especial con respecto a los factores relacionados con la alimentación, la genética y el tipo de cerdo engordado, protocolos de vacunación y el peso vivo medio inicial y final de los cerdos. En la **Figura 8.1** se muestra la homogeneidad entre lotes y granjas de siete empresas con respecto a las variables categóricas estudiadas (se descartaron dos de las nueve empresas iniciales dado que el número de granjas no alcanzaba las 30). Las empresas "B" y "C" fueron las que presentaron mayor grado de heterogeneidad entre sus granjas en relación a las variables categóricas estudiadas.

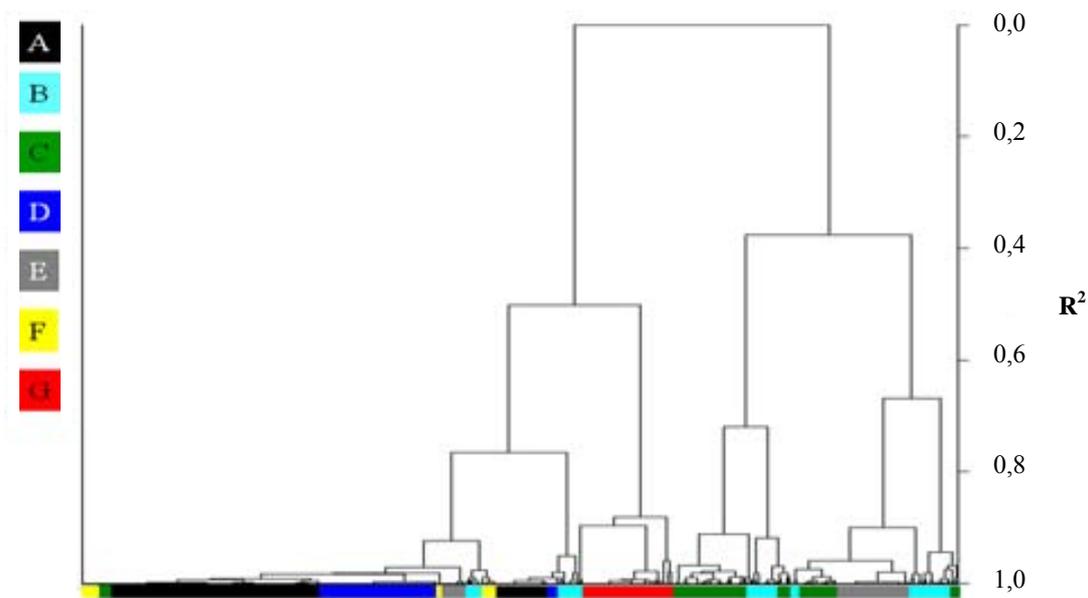


Figura 8.1. Dendrograma obtenido de la relación entre las variables categóricas en las diferentes granjas pertenecientes a una de las siete empresas integradoras evaluadas (A a G).

Según Oliveira *et al.* (2009), las características de manejo y de genética son comúnmente muy homogéneas entre granjas integradas en una empresa porcina. En los últimos años también se observa que factores como la alimentación y el control sanitario también son cada vez más homogéneos entre granjas de una misma empresa (Casal *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2007) e incluso que algunas de ellas intentan unificar determinadas características de las instalaciones (Larriestra *et al.*, 2005).

Sin embargo, en nuestra base de datos, el hecho de que la variabilidad observada entre empresas fuera mayor que dentro de ellas puede ser también una consecuencia directa de una deficiente recogida de datos o bien que la elección de las granjas realizada libremente por cada empresa realmente no fuera representativa del global.

El segundo estudio (capítulo 6) fue diseñado para desarrollar los primeros modelos destinados a predecir los índices productivos más relevantes; ganancia diaria de peso, consumo total de pienso, índice de conversión y mortalidad. Inicialmente se partió de toda la información disponible (las nueve empresas) pero, con objeto de reducir la variabilidad en la base de datos original se planteó uniformizar algunos factores de producción. En concreto se estableció como fija la genética del macho finalizador, los géneros de los animales presentes en los lotes y el intervalo de peso medio inicial y final, entre otras razones por el alto grado de correlación existente entre estas variables (Medel y Fuentetaja, 2001). En definitiva, la base de datos quedó reducida a 316 lotes de 246 granjas en seis empresas. De este modo, se fijaron las siguientes variables; i) tipo de cerdo engordado (95-110 kg de peso), ii) genética del macho finalizador (Pietrain), iii) géneros de los animales (machos enteros y hembras), iv) número de cerdos por corral (entre 10 y 20), v) tipo de bebedero (nipple) y vi) número y forma de los piensos utilizados (tres piensos en forma granulada).

Los resultados de este capítulo sugieren que variables como el "trimestre de alojamiento de los animales" influyeron directamente en las tres variables estudiadas (consumo total de pienso, índice de conversión y mortalidad) mientras que variables relacionadas a la "segregación de sexos por corrales", "tipo de comedero" y el "peso final al matadero" afectaron, como era de esperar, el consumo de pienso y el índice de conversión, no influyendo en la mortalidad. Sin embargo, variables relacionadas al "número de orígenes de los cerdos", al "tipo de control de la ventilación en las naves" y al "número de cerdos entrados por lote" (tamaño del lote) afectaron más claramente la mortalidad que el consumo e índice de conversión.

Debido a que la variabilidad entre empresas fue superior a la encontrada dentro de la empresa, se llevó a cabo el tercer y último estudio (capítulo 7), donde se compararon los resultados obtenidos de modelos desarrollados a partir de una base de datos global (conteniendo granjas y lotes de 6 empresas) con aquellos obtenidos en cada empresa separadamente utilizando en cada caso los factores que presentaban suficiente variabilidad dentro de cada empresa.

De este modo, las variables que fueron más determinantes en los índices productivos en más de una empresa y también en la base de datos global respecto al segundo y al último estudio podrían ser consideradas claves por las diferentes empresas porcinas del país. En este sentido y de forma resumida, observamos que el trimestre de alojamiento de los animales, la combinación entre la genética del macho finalizador, el sexo/género de los animales y la segregación de sexos por corrales, el número de orígenes de los cerdos y el peso inicial fueron considerados los factores más importantes tanto para el índice de conversión como para la mortalidad en la mayoría de las empresas estudiadas así como en el modelo global. Sin embargo, se observó que factores como la Comunidad autónoma donde se ubicaba la granja, la vacunación contra circovirus, la edad de las instalaciones, el origen del agua de la granja, el número de animales alojados por lote, el porcentaje de emparrillado de los corrales y el tipo de comedero y de control de la ventilación se caracterizaron por ser puntualmente importantes en alguna(s) de las empresas evaluadas o bien en el modelo global.

Finalmente, los modelos desarrollados en estos tres estudios (capítulos 5, 6 y 7) fueron considerados de carácter: i) estático (no se tuvo en cuenta el efecto tiempo), ii) deterministas (se hicieron predicciones exactas de las variables dependientes cuantitativas siendo todas las variables independientes de carácter conocido y no teniéndose en cuenta

ninguna distribución de probabilidades) y iii) empíricos (con predicciones basadas a partir de relaciones estadísticas obtenidas de una base de datos generada a partir de estudios de campo, siendo éstos válidos para datos recolectados bajo las mismas condiciones de la primera encuesta) (Villalba, 2000; France y Dijkstra, 2006).

Los modelos utilizados en este estudio son considerados más simples y más limitados que aquellos de carácter estocástico, dinámicos y mecanísticos y fueron elegidos inicialmente tanto por la falta de experiencia previa del grupo investigador en temas de modelizaciones como por la dificultad que entraña recoger, a nivel de empresa, un mayor número de variables en un corto periodo de tiempo, y que contemplaran algunos elementos aleatorios, requisito básico para el desarrollo de estos modelos más complejos.

8.2. Ejercicio de validación de algunas ecuaciones

Se ha realizado un ejercicio de validación externa utilizando datos de las mismas granjas pertenecientes a lotes de los años siguientes. Se ha contemplado la validación de las ecuaciones referidas al índice de conversión (IC) y la mortalidad (MORT) tan solo de tres empresas (empresas A, C y E referentes al capítulo 7 de esta tesis). Cada empresa envió datos de 14 a 24 granjas para la validación. La validación se realizó utilizando los datos enviados por cada empresa por separado en el modelo específico (desarrollado para la empresa en cuestión) y también en el modelo global (que contenía datos de seis empresas) (capítulo 7). De este modo, para cada variable dependiente se hizo el cálculo de la diferencia entre la R^2 del modelo original y aquella obtenida con los datos nuevos; si esta

diferencia es inferior a 0,10 el modelo considerado se supone un buen predictor de la variable dependiente evaluada (Copas, 1983).

Se observó que en todos los modelos validados las diferencias encontradas entre los coeficientes de determinación (R^2) fueron superiores a 0,10, indicando que la predictibilidad de las ecuaciones referidas al IC y a la MORT, ya sean las individuales por empresa o las globales, son mejorables.

Esta baja predictibilidad de las ecuaciones puede ser debida a que: i) el proceso de validación pudo estar condicionado por el hecho que los modelos, por empresa o global, registraron bajos valores de R^2 , probablemente como consecuencia de la reducida variabilidad observada en la base de datos utilizada para su desarrollo, ii) los datos utilizados para la validación tampoco registraron suficiente variabilidad con respecto a las variables incluidas en los modelos.

Sirvan dos ejemplos para ilustrar este último comentario: en un primer ejemplo (empresa A) las ecuaciones de predicción del IC y de la MORT incluyen como principales variables la época del año de entrada en el cebadero, la vacunación de circovirus y la interacción entre ambas. Los datos de los 18 lotes de validación presentaron variabilidad en cuanto a la vacunación por circovirus (la variable que resultó ser más importante en esta empresa, $P < 0.001$) pero todos los animales fueron alojados en los cebaderos durante el segundo semestre. El ejercicio de validación tan solo diferenció los lotes vacunados de aquellos no vacunados, como demuestra la **Figura 8.2**.

El segundo ejemplo se da con la empresa C, donde en cierto modo se da la situación opuesta, en especial en relación a la MORT (**Figura 8.3**). Se dispuso de los datos de 14 lotes para la validación de las ecuaciones pero apenas hubo variabilidad en el factor más importante de ambos modelos (IC y MORT) que fue el número de orígenes de los cerdos;

la totalidad de lotes se llenaron con cerdos oriundos de dos o más orígenes. Para realizar una correcta validación, sería necesario como mínimo disponer también de lotes/granjas con animales de un único origen para poder contrastar de este modo los diferentes coeficientes de regresión creados para esta variable juntamente con la de las otras variables presentes en los modelos.

Empresa A

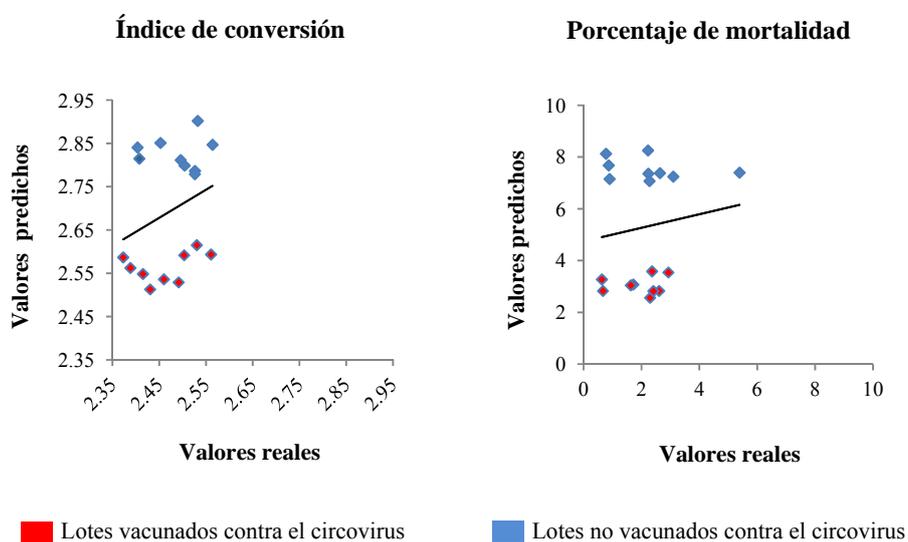


Figura 8.2. Valores reales y predichos del índice de conversión y porcentaje de mortalidad de 18 lotes de la empresa A utilizados para validar los modelos creados para la misma empresa.

Con todo, se observó que los modelos específicos para cada empresa predijeron mejor los índices a partir de los datos de validación de cada empresa en comparación al modelo

global, demostrando, de algún modo, que los modelos obtenidos con datos de una única empresa serían más fiables que el modelo global.

Empresa C

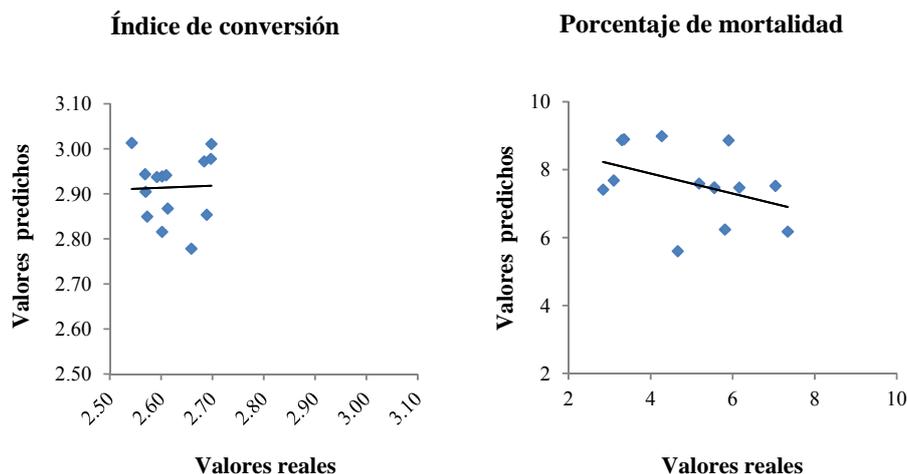


Figura 8.3. Valores reales y predichos del índice de conversión y porcentaje de mortalidad de 14 lotes de la empresa C utilizados para validar los modelos creados para la misma empresa.

Finalmente, señalar la gran importancia que tiene la recolección de los datos tanto para la definición del modelo como para su validación. En ambos casos es de suma importancia que los datos sean verdaderamente representativos del colectivo que se desea modelizar (grupo de granjas, empresa, zona geográfica...) y que ofrezcan variabilidad suficiente en todas aquellas variables independientes que tengan un alto valor predictivo.

8.3. Aspectos mejorables del trabajo y futuros estudios

Durante el desarrollo de este proyecto ha habido aspectos importantes que no han sido considerados, o tan solo lo han sido parcialmente, que han limitado la trascendencia y mayor generalización de los resultados. Han sido cuestiones tanto de naturaleza estructural como metodológica, imputables al propio diseño del estudio, al proceso de recogida de información o incluso a la falta de experiencia del equipo investigador. Entre estas limitaciones resaltamos las siguientes:

- a) La expectativa inicial era que participaran un número de empresas cercano a las 20 con objeto de recoger información de alrededor de mil granjas. La realidad fue que tan solo la mitad de estas empresas mostraron interés hasta el punto de proporcionarnos sus datos y, por tanto, el concepto de número uniforme de granjas por empresa (50) quedó desestimado y se aceptó el máximo número de granjas por empresa. Esta decisión, posiblemente conveniente para alcanzar un mínimo de granjas, restó representatividad a los datos.
- b) El esfuerzo realizado por las empresas en la recogida de datos ha sido considerable y en ningún caso criticable. Sin embargo la información obtenida, en muchos casos, le ha faltado precisión, en especial en lo que se refiere a algunos de los factores de producción ligados a cada granja en particular y no tanto a la empresa en general. Además, en este sentido, también se aprecia una clara diferencia entre empresas. La recogida de datos sin duda hubiera sido mucho más precisa si los miembros del equipo investigador se hubieran desplazado a cada una de las granjas para cumplimentar “in situ” parte del cuestionario.

Desafortunadamente no se ha dispuesto de tiempo y recursos para realizar esta tarea.

- c) Posiblemente, en lo que se refiere a la recolección de datos, el aspecto más criticable sea el no haber puesto énfasis especial en el número de lotes de engorde por granja (el muestreo ofreció tan solo entre uno y tres). Un mayor número de lotes por granja hubiera permitido disponer de más grados de libertad para desarrollar modelos jerárquicos como los publicados por Maes *et al.*, (2004), Larriestra *et al.*, (2005) y Oliveira *et al.*, (2009) que cuantifican las proporciones de la varianza de un determinado índice productivo explicada en los diferentes niveles: i) entre empresas, ii) entre granjas de una misma empresa, iii) entre lotes de una misma granja y finalmente iv) en un lote (residual). Este planteamiento permitiría explicar la mayor parte de la variabilidad generada por cada factor de variación que participe en un modelo dado. En la encuesta se solicitaba un mínimo de dos lotes por granja y de poder ser uno en condiciones de invierno y otro de verano. Sin duda hubiera sido mejor hacer más énfasis en el número de lotes por granja y menos en la estación del año.
- d) Aun cuando junto con la encuesta/cuestionario se adjuntó un “manual de instrucciones”, en el caso de algunas variables todavía hubo falta de concreción que permitía realizar más de una interpretación. Esta situación se ha dado con varias variables, alguna de ellas relacionada con la alimentación. Así por ejemplo una estimación del consumo de cada pienso utilizado en cada lote (en general entre tres y cuatro) hubiera permitido estimar el consumo real de energía neta, proteína bruta y de lisina total.

- e) Para poder realizar una validación precisa y homogénea, los datos recolectados y utilizados para validar los modelos previamente desarrollados deberían disponer de suficiente variabilidad en todas las variables incluidas en dichos modelos. De este modo se podrían contrastar los diferentes coeficientes (valores de los estimadores) de cada variable del modelo.

A partir de la experiencia acumulada durante este trabajo, los estudios de futuro se encaminarían a:

- 1) Centrar la atención en cada empresa por separado haciendo un esfuerzo especial en la recogida de información a nivel de granja individual y aumentando considerablemente el número de lotes por granja.
- 2) Hacer un esfuerzo por generalizar al máximo los hallazgos y modelos obtenidos para cada empresa por separado.
- 3) Desarrollar trabajos parecidos en realidades de producción diferentes. En este sentido, en el marco del proyecto AGL-2011 29960 y fruto de nuestra colaboración con la Universidade Estadual de Londrina, se está iniciando un estudio semejante en las condiciones de la porcicultura industrial brasileña con la participación de varias empresas.
- 4) Profundizar en la validación de los modelos desarrollados, empleando información representativa que mostrara variabilidad suficiente en aquellas variables que definen el modelo. Este ejercicio se llevaría a cabo al menos a tres niveles; i) utilización de los datos del año siguiente procedentes de la misma población, eso es, las mismas granjas evaluadas inicialmente, ii) utilización de datos provenientes de nuevas empresas y nuevas granjas que se adhiriesen al

estudio y iii) utilización de datos de una población fuera de España. Las diferentes validaciones permitirán obtener conclusiones respecto a la validez, grado de generalización y aplicabilidad de los modelos.

- 5) Progresar en el desarrollo de modelos menos estáticos y empíricos y, de poder ser, más dinámicos y mecanicísticos.

Finalmente, es de extrema importancia actualizar periódicamente los modelos, a partir de nueva información tanto de las condiciones de producción como de los índices productivos de las granjas en estudio. Para ello, se puede disponer de la información referida a las mismas granjas y empresas pero también sería importante contar con la colaboración de nuevas granjas y nuevas empresas.

Capítulo 9

Conclusiones generales

Los resultados obtenidos y su interpretación han permitido extraer siete conclusiones agrupadas en tres apartados:

9.1. Conclusiones de carácter general

- 1) La información utilizada en este trabajo indica que los índices productivos de una granja “tipo” de engorde de cerdos en España se caracterizan por un peso medio de entrada y salida de $19,0 \pm 2,56$ y $108,0 \pm 6,2$ kg, respectivamente y una duración media del ciclo de 136 ± 12 días. El consumo medio de pienso es de $244 \pm 26,1$ kg/cerdo; la ganancia media diaria de $657 \pm 65,0$ g; el índice de conversión de $2,77 \pm 0,178$ kg/kg y el porcentaje de mortalidad de $4,3 \pm 2,64\%$. En cuanto a los principales aspectos que condicionan el manejo, la instalación dispone de control automático de ventanas (71,2%), los corrales alojan entre 13-20 cerdos (87,2%) con $\geq 50\%$ del suelo emparrillado (70,0%), los comederos son de boca única sin agua incorporada (54,0%) y el bebedero de “chupete” (88,7%). La mayoría (75,0%) utilizan tres piensos en forma granulada (91,0%) y realizan tres o más series de tratamientos con antibióticos a lo largo del ciclo productivo (61,3%).
- 2) Los modelos matemáticos desarrollados ofrecieron coeficientes de determinación bajos (valores de R^2 entre 0,12 y 0,63), aunque en ningún caso inferiores a los obtenidos en la bibliografía consultada (valores entre 0,11 y 0,80). Por ello, aún cuando en condiciones de campo el valor predictivo de estos modelos es limitado, constituyen una buena herramienta para conocer, jerarquizar y, en menor medida,

cuantificar el efecto que ejercen los principales factores responsables de la variación observada en los índices productivos del engorde porcino.

- 3) Las granjas “integradas en” o “pertenecientes a” una misma empresa presentaron un alto grado de homogeneidad en algunos factores de producción, en especial aquellos relacionados con el origen genético de los animales (por ejemplo: genética del macho finalizador), el manejo (por ejemplo: segregación de sexos/géneros o peso vivo al sacrificio) y la alimentación (por ejemplo: número de piensos). Ello motivó que la variabilidad entre empresas fuera mayor que la registrada dentro de cada empresa y que los modelos desarrollados para cada empresa (capítulo 7) resultaran más válidos y fiables (mayores coeficientes de determinación, R^2) que aquellos obtenidos utilizando un modelo global (capítulos 6 y 7).

9.2. Conclusiones derivadas de los modelos globales

- 4) Los lotes que presentaron menor **consumo total de pienso** y mejor **índice de conversión** fueron aquellos que entraron en el cebadero entre los meses de abril y septiembre ($P < 0,01$), se sacrificaron a menor peso vivo ($P < 0,001$ y $P < 0,05$ respectivamente), dispusieron de un comedero uni espacio con bebedero incorporado ($P < 0,001$) y se separaron por sexos/géneros en distintos corrales ($P < 0,001$). Además los corrales con menos del 50% de emparrillado redujeron el índice de conversión en 0,05 ($P < 0,05$).

- 5) Los lotes que registraron menor **porcentaje de mortalidad** fueron aquellos que entraron en el cebadero entre los meses de abril y septiembre ($P < 0,01$), procedían de una única granja de madres ($P < 0,01$) y se alojaban en granjas con un censo menor de 800 cerdos ($P < 0,01$) que disponían de control automático de ventanas ($P < 0,001$).

9.3. Conclusiones derivadas de los modelos por empresas

- 6) Los factores que mejoraron el **índice de conversión**, en dos o más empresas, fueron:
- i) alojar los animales procedentes de un solo origen, entre los meses de abril y septiembre, en granjas construidas en los últimos diez años; ii) utilizar el Pietrain como macho finalizador, no realizar castraciones y segregar por sexos/géneros. Además, dado que el peso vivo al sacrificio fue una característica específica de cada empresa, el índice de conversión aumentó (empeoró) con el peso de entrada de los animales al cebadero. Por otra parte, también hubo factores concretos que ejercieron un efecto muy significativo pero solamente en una única empresa (ej. vacunación de circovirus en la empresa A, $P < 0,001$).
- 7) El **porcentaje de mortalidad** se redujo en dos o más empresas cuando se alojaron los cerdos en granjas pequeñas (menos de 800 plazas), entre abril y septiembre y procedentes de un mismo origen o granja de madres. En dos empresas se pudo constatar que disponer de agua procedente de la red pública disminuyó este índice. Además, conforme aumentó el peso de entrada de los animales se redujo la

mortalidad y, como en la conclusión anterior, la vacuna de circovirus fue determinante solamente en la empresa A ($P < 0,001$).

Capítulo 10

Anexos

ENCUESTA

Nombre de la empresa: _____

Nombre, o número de orden de la granja: _____

Ubicación de la granja: _____

Código del lote evaluado: _____

Fechas de entrada del primer y último animal del lote: _____

Fechas de salida del primer y último animal del lote: _____

A- INFORMACIÓN GENERAL

A1. Tipo de ciclo de la granja:

- (a) Ciclo cerrado
- (b) Dos fases (S2+S3)
- (c) Multifases (S3)

A2. Tipo de cerdo engordado (*kg aproximados al sacrificio*):

- (a) Verdeo (< 95 kg)
- (b) Industrial (95 - 110 kg)
- (c) Pesado (> 110 kg)

* Peso objetivo del cerdo engordado: _____

A3. Separación de sexos/géneros en los corrales:

- (a) Si
- (b) No

A4. Sexos/géneros presentes:

- (a) Machos, hembras y castrados
- (b) Machos y hembras
- (c) Castrados y hembras

A5. Genética del macho finalizador (*marcar más de una alternativa si es el caso*):

- (a) Pietrain
- (b) Razas blancas (Landrace, Large White o sus cruces)
- (c) Duroc
- (d) Pietrain x blanco
- (e) Otros (*¿Cuales?*)

A6. Número de orígenes de los cerdos:

- (a) Un origen
- (b) Dos orígenes
- (c) Más de dos (*¿Cuántos?*)

A7. Vacunación contra la enfermedad de Aujeszky (se "sí", ¿Cuántas dosis?):

- (a) Sí
- (b) No

- (a) Una dosis
- (b) Dos dosis
- (c) Tres dosis

A8. Vacunación contra el circovirus:

- (a) Sí
- (b) No

A9. Vacunación contra el mycoplasma:

- (a) Sí
- (b) No

B- CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN

B1. Capacidad del cebadero (*número de plazas por cada lote entrado*): _____

B2. Edad de las instalaciones:

- (a) < 10 años
- (b) Entre 10 y 30 años
- (c) Más de 30 años

* Edad real (en años): _____

* Últimas reformas (años transcurridos desde): _____

* ¿Qué fue cambiado en las instalaciones? _____

B3. Número de cerdos por corral (*marcar más de una alternativa si es el caso*):

- (a) < 10 cerdos / corral
- (b) Entre 10 y 20 cerdos / corral
- (c) > 20 cerdos / corral

* Número exacto de cerdos por corral: _____

B4. Porcentaje de emparrillado del suelo:

- (a) < 50% emparrillado
- (b) ≥ 50% emparrillado
- (c) 100% emparrillado

B5. Tipo de comedero:

- (a) Multi-espacio
- (b) Uni-espacio
- (c) Uni espacio con bebedero incorporado
- (d) Otro (*¿Cual?*)

- B6.** Tipo de bebedero:
(a) Chupete (nipple)
(b) Cazoleta
(c) Solamente bebedero incorporado al comedero
(d) Otro (*¿Cual?*)

- B7.** Tipo de control de la ventilación:
(a) Manual
(b) Automática

- B8.** Presencia de paneles humidificadores:
(a) Sí
(b) No

C- CARACTERÍSTICAS DE LA ALIMENTACIÓN:

- C1.** Número de piensos utilizados:
(a) Dos
(b) Tres
(c) Cuatro
(d) Más de cuatro (*¿Cuántos?*)

- C2.** Pienso distintos formulados para cada sexo/genero:
(a) Sí
(b) No

- C3.** Forma física de los piensos utilizados:
(a) Harina
(b) Granulado (pellet)
(c) Líquida

- C4.** Contenido en energía de cada uno de los piensos utilizados (Kcal/kg):
(a) Energía digestible
(b) Energía metabolizable
(c) Energía neta

* Valores: _____

- C5.** Contenido de proteína bruta de cada uno de los piensos utilizados (%):

* Valores: _____

- C6.** Contenido de lisina de cada uno de los piensos utilizados (%):
(a) Lisina total
(b) Lisina digestible

* Valores: _____

- C7.** Frecuencia de tratamientos antibióticos realizados durante el engorde:
(a) Sin tratamiento
(b) Menos de tres veces
(c) Tres o más veces

C8. Vías de utilización de los antibióticos (*si estos fueron utilizados*):

- (a) Agua
- (b) Pienso
- (c) Inyección
- (d) Agua y pienso
- (e) Agua e inyección
- (f) Pienso e inyección
- (g) Agua, pienso e inyección

C9. Origen del agua utilizada en la granja:

- (a) Pozo
- (b) Río
- (c) Red pública
- (d) Otro (*¿Cual?*)

C10. Tratamiento del agua en la granja:

- (a) Sí
- (b) No

D- RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS:

D1. Peso medio inicial del lote evaluado (kg): _____

D2. Peso medio final del lote evaluado (kg): _____

D3. Duración media del cebo (días): _____

D4. Duración total del cebo (días): _____

D5. Número de cerdos entrados: _____

D6. Número de cerdos enviados al matadero: _____

D7. Porcentaje de saldos (%): _____

D8. Consumo total de pienso (kg): _____

D9. Porcentaje de mortalidad (%): _____

MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA RELLENAR LOS FORMULARIOS DE ENCUESTA

Introducción

Con este proyecto, pretendemos generar una base de datos referida a las condiciones y resultados del crecimiento y cebo de cerdos en España con objeto de:

- 1) Disponer de información sectorial fiable que permita conocer la situación del sector, a modo de lo que ocurre en otros países (ejemplo: AgriStats,...), y a cada empresa participante conocer, de forma anónima, su posición relativa (ejercicio de “benchmarking”).
- 2) Construir modelos matemáticos que relacionen los principales índices de producción (crecimiento, índice de conversión, días en granja, peso vivo y/o canal;...) con las condiciones de cría y/o explotación (tipo comercial de cerdo, censo del cebadero, número de piensos, energía y lisina de los piensos, condiciones de las instalaciones, temperatura ambiente o verano vs invierno,...) y que puedan ayudar a la toma de decisiones.

Para ello hemos solicitado la colaboración de empresas del sector dispuestas a facilitarnos sus datos. Las características y condiciones de uso de esta información serán las siguientes:

- 1- El equipo investigador hará un **uso estrictamente confidencial de la información obtenida en las empresas**. En el menor plazo posible, dependiendo principalmente de la eficiencia en la recogida de información, el equipo investigador se compromete a llevar a cabo un **informe individual de “benchmarking” (comparación) para cada empresa**.
- 2- A cada empresa colaboradora se le solicita la **información de 50 granjas de engorde y en diferentes periodos de engordes por granja** (para poder diferenciar entre “condiciones de invierno” y “condiciones de verano” en las mismas granjas) que se hayan llevado a cabo **entre el 1 de julio de 2008 y el 31 de junio de 2010**.
- 3- **Entendemos la “granja” en un concepto amplio** y puede referirse a una única nave o un complejo de ellas, dependiendo de la manera en que se tenga registrada la información que se solicita. Por otra parte contemplaremos únicamente granjas que realicen el engorde de cerdos **entre los 15-25 Kg de peso vivo y el sacrificio**.
- 4- Para que el estudio tenga la máxima validez **las 50 granjas deberían ser una muestra representativa de “todas” las granjas de la empresa** (Ej: asumiendo que dentro de una empresa las granjas las podemos categorizar siguiendo una distribución normal, la elección sería: 10-15 consideradas “entre las mejores”, 10-15 consideradas “entre las peores” y el resto consideradas “medias”). Este planteamiento nos permite estudiar no solo la variabilidad “entre empresas” (muy útil para llevar a cabo un estudio de “benchmarking” o comparación), si no también la variabilidad “intra empresa” (mucho mas ligada a las condiciones concretas de producción, esenciales para construir modelos matemáticos que ayuden a la toma de decisiones).

5- Tal como se plantea **la recogida de datos** inicialmente habría que cumplimentar dos “encuestas” por granja. Sin embargo hay que hacer alguna apreciación al respecto:

a) Se pretende obtener la **máxima información veraz posible** y por tanto **no hay que rellenar necesariamente la “encuesta” en su totalidad**. Aquellos aspectos que bien se desconozcan o bien no se tenga un grado de certeza suficiente se dejarán en blanco y no por ello la información es menos útil.

b) **Es más importante obtener la información que el formato en que se facilite**. Si por ejemplo alguna de las empresas tiene parte o toda la información solicitada en un formato diferente (ej: Excel,...), resultará mas cómodo y efectivo (se evita errores) enviar directamente una copia del archivo que transcribirlo a la “encuesta”. En el mismo sentido si hay varias granjas que participan de las mismas condiciones generales, de instalaciones o alimentación tampoco hace falta rellenar todas las encuestas, únicamente reflejar la situación en una de ellas en las demás referirse a aquella.

6- **La “encuesta/cuestionario” se estructura en cuatro capítulos y cada capítulo incluye una serie de preguntas**. A continuación se detalla la información que se pretende obtener con cada pregunta.

- **Nombre de la empresa:**

Escribir el nombre completo de la empresa. No hace falta repetirlo en cada encuesta.

- **Nombre, o número de orden, y ubicación de la granja:**

Escribir el nombre de la granja, o en su defecto el número de orden que le de la empresa. Ubicación se refiere a municipio y provincia.

- **Código del lote evaluado:**

Referente al número del lote evaluado en una determinada granja (si hubiese más lotes evaluados).

- **Fecha de entrada del lote al cebadero:**

Registrar en qué fechas entraron los primeros y los últimos animales que compusieron el lote asignado.

- **Fecha de salida del cebadero:**

Registrar en qué fechas salieron los primeros y los últimos animales que compusieron el lote asignado.

A- INFORMACIÓN GENERAL

A1)

Se refiere a si la granja a estudio forma parte de un explotación de ciclo cerrado, un complejo S2+S3 (destete-transición + crecimiento y cebo) o es una S3 (solo crecimiento y cebo).

A2)

Se pregunta el tipo de cerdo comercializado que depende a grandes rasgos del peso medio “objetivo” al sacrificio. Marcar cual es el peso vivo teórico de salida de los cerdos al matadero y, si se conoce, registrar el peso concreto que se pretende obtener.

A3 y A4)

Reflejar si se separa los animales por sexos (machos, hembras, castrados) y cuales hay en el cebadero.

A5)

Marcar la/s raza/s (base genética) de los machos finalizadores. Si es el caso se puede marcar más de una alternativa de acuerdo con las razas que hay.

A6)

Se refiere al número de orígenes (número de granjas S1, de madres) de los que proceden los cerdos de la granja de engorde.

- **Único:** si los cerdos provienen de un solo origen (en el caso de granjas de ciclo cerrado o cuando los animales provienen de una única S1).
- **Dos orígenes:** si los cerdos provienen de dos S1.
- **Más de dos:** los cerdos provienen de tres o más S1 distintas. Si se conoce, registrar cuantos.

A7, A8 y A9)

Referentes a la utilización o no de una de las tres vacunas en los animales del lote en cuestión. En el caso de la vacuna de Aujeszky también se pregunta, en el caso de que se la haga, el número de dosis utilizado.

B- CARACTERISITICAS DE LA INSTALACIÓN

B1)

Se refiere al número de plazas de engorde que alberga cada lote entrado en la granja. Registrar el número concreto de plazas.

B2)

Con esta pregunta se quiere tener una idea de la antigüedad de las instalaciones. Si se conoce la fecha de construcción, registrar la antigüedad concreta en años. Con la anotación “últimas reformas” se intenta conocer, cuantos años se pasaron desde la última reforma y la última pregunta se refiere, si procede, lo que fue cambiado en la última reforma (ej: cambios en comederos, bebederos, suelos, sistema de ventilación,...).

B3)

La pregunta se refiere al número medio de animales por corral o lote. Si la granja dispone de lotes/corrales de distinto número de animales/plazas registrarlo en consecuencia.

B4)

La pregunta se refiere al % medio de emparrillado del suelo de los corrales (*en las fotos se ejemplifican dos diferentes tipos de emparrillados*).



100% emparrillado

Menos de 50% emparrillado

B5)

Por “comedero” se entiende los dos tipos genéricos que aparecen en las fotografías. En el caso de la tolva holandesa puede llevar incorporado o no un chupete funcional.



Comederos de varias bocas (multi-espacio)



Tipo holandés (uni-espacio)

B6)

Registrar el tipo de bebedero que hay en el cebadero (*en las fotos se ejemplifican dos diferentes tipos de bebederos*).



Tipo chupete (nipple)



Tipo cazoleta

B7)

Registrar el tipo de control de la ventilación utilizado en el cebadero diferenciando entre manual, con movimiento de ventanas manualmente o automática, ya sea por sobrepresión o por depresión.

B8)

Señalar si se utiliza algún sistema de refrigeración por humidificación en verano.

C- ALIMENTACIÓN

C1)

Reflejar cuantos piensos se utiliza a lo largo de todo el periodo de engorde.

C2)

Se refiere si hay distintas formulaciones de piensos para cada sexo/genero en el crecimiento/engorde.

C3)

Señalar la forma física de presentación (harina, gránulo, líquido) de cada uno de los piensos administrados.

C4)

Registrar los valores de energía (kcal/kg) para cada pienso administrado. Antes de registrar los valores, señalar si los registros corresponden a la energía digestible, metabolizable o neta.

C5)

Registrar los valores de proteína bruta (%) para cada pienso administrado.

C6)

Registrar los valores de lisina (%) para cada pienso. Antes de registrar los valores, señalar si los registros corresponden a lisina total o lisina digestible.

C7 y C8)

Marcar las veces que durante todo el periodo se ha tratado a los animales con antibióticos (C7) y en caso positivo, señalar la/s vía/s de administración (C8).

C9 y C10)

Marcar la procedencia del agua de bebida que se utiliza en la granja (C9). Señalar si el agua recibe algún tratamiento especial en la propia granja (C10).

D- RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS

Para todos los registros de este apartado se solicitan los valores globales medios y, solamente en el caso que se dispusiera de ellos, también los valores globales medios referidos a cada sexo o género (machos enteros y/o hembras y/o machos castrados).

D1)

Registrar los pesos vivos medios a la entrada al cebadero en el periodo evaluado.

D2)

Registrar los pesos vivos medios a la salida del cebadero en el periodo evaluado (*Obs: registrar el peso real de salida, sin el descuento de 2,5 kg*).

D3)

Registrar la duración media del cebo (días).

D4)

Registrar la duración total del cebo (días), es decir, días transcurridos entre la entrada de los primeros animales del lote en el cebadero desde la transición y la salida de los últimos animales al matadero.

D5)

Registrar el número de animales entrados en el lote en cuestión.

D6)

Registrar el número de animales mandados al matadero en el lote evaluado.

D7)

Registrar el porcentaje de saldos de los animales del lote evaluado. Entendemos por saldos aquellos animales que llegan al matadero y son claramente depreciados (no tienen un valor comercial del 100%) por alejarse mucho de la media en su peso vivo, conformación o cualquier otra propiedad.

D8)

Registrar el consumo total de pienso (kg) en el periodo (lote) evaluado. Si es posible, registrar también el consumo total de cada tipo de pienso utilizado.

D9)

Registrar la mortalidad (%) total global y, si se conoce, distribuirla a lo largo de los meses de duración del engorde.

Capítulo 11

Referencias bibliográficas

- Aarnink AJA, van den Berg AJ, Keen A, Hoeksma P, Verstegen MWA. 1996. Effect of slatted floor area on ammonia emission and on the excretory and lying behaviour of growing pigs. *Journal of Agricultural Engineering Research* 64, 299-310.
- Aarnink AJA, Wagemans MJM, van den Berg AJ. 1997a. Housing for growing pigs, meeting the needs for animal, stockman and environment. In: *Livestock environment 5, Volume 2. Proceedings of the 5th International Symposium*, May 29-31. pp: 86-92, Bloomington, USA.
- Aarnink AJA, Swierstra D, Van den Berg AJ, Speelman L. 1997b. Effect of type of slatted floor and degree of fouling of solid floor on ammonia emission rates from fattening piggeries. *Journal of Agricultural Engineering Research* 66, 93-102.
- Aarnink AJA, Schrama MJW, Heetkamp J, Stefanowska TTT. 2006. Temperature and body weight affect fouling of pig pens. *Journal of Animal Science* 84, 2224-2231.
- Affentranger P, Gerwig C, Seewer GJF, Schworer D, Kunzi N. 1996. Growth and carcass characteristics as well as meat and fat quality of three types of pigs under different feeding regimens. *Livestock Production Science* 45, 187-196.
- Anderson DM, VanLunen TA, Sproule D. 1990. Performance of grower finisher pigs obtaining feed from dry feeders or wet/dry feeders with different feeding spaces. *Canadian Journal of Animal Science* 70, 1197-1198 (Abstr).
- Andersson HK, Andersson K, Zamaratskaia G, Rydhmer L, Chen G, Lundstrom K. 2005. Effect of single-sex or mixed rearing and live weight on performance, technological meat quality and sexual maturity in entire male and female pigs fed raw potato starch. *Acta Agriculturae Scandinavica* 55, 80-90.
- APHIS. 1999. Pseudorabies Factsheet. *Report for USDA* (United States Department of Agriculture).
- Augspurger NR, Ellis M, Hamilton DN, Wolter BF, Beverly JL, Wilson ER. 2002. The effect of sire line on the feeding patterns of grow-finish pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 75, 103-114.
- Averós X, Brossard L, Dourmad JY, de Greef KH, Edge HL, Edwards SA, Meunier-Salaün MC. 2010. Quantitative assessment of the effects of space allowance, group size and floor characteristics on the lying behaviour of growing-finishing pigs. *Animal* 4, 777-783.
- Backstrom L and Bremer H. 1976. Disease recording of pigs at slaughter as a method of preventive medicine in the swine production. *Svensk Veterinärtidning tidningen* 28, 312-336.

- Banhazi T, Seedorf J, Rutley DL, Pitchford WS. 2004. Instrumentation kit for measuring airborne pollutants in livestock buildings. In: *Proceedings of ISAH Conference* (ed. Madec F). St. Malo, France.
- Barber J, Brooks PH, Carpenter JL. 1989. The effects of water delivery rate on the voluntary food intake, water use and performance of early-weaned pigs from 3 to 6 weeks of age. In: *The Voluntary Food Intake of Pigs* (eds. Forbes JM, Varley MA, Lawrence TLJ), Occasional Publications, *British Society Animal Production* 13, 103-104.
- Beach NM and Meng X-J. 2012. Efficacy and future prospects of commercially available and experimental vaccines against porcine circovirus type 2 (PCV2). *Virus Research* 164, 33-42.
- Bell JM and Keith MO. 1989. Factors affecting the digestibility by pigs of energy and protein in wheat, barley and sorghum diets supplemented with canola meal. *Animal Feed Science and Technology* 24, 253-265.
- Björklund L and Boyle LA. 2006. Effects of finishing boars in mixed and single sex groups and split marketing on pig welfare. *Acta Veterinaria Scandinavica* 48 (Suppl 1), 2. (Abstr).
- Black JL. 1995. Approaches to modelling. In: *Modelling growth in the pig* (eds. Moughan PJ, Verstegen MWA, Visser-Reyneveld MI), *EAAP publication no. 78*, pp. 11-22. Wageningen Pers. Wageningen, The Netherlands.
- BOE, 1995. Real Decreto 245/1995, de 17 de febrero, relativo al programa de control y erradicación de la enfermedad de Aujeszky. *Boletín Oficial del Estado* No. 60, 11/3/1995.
- BOE. 2002. Real decreto 1135/2002, de 20 de noviembre, relativo a las normas mínimas para la protección de cerdos. *Boletín Oficial del Estado* No. 278, 31/10/2002.
- Boisen S, Fernandez JA, Madsen A. 1991. Studies on ideal protein requirement of pigs from 20 to 95 kg live weight. In: *Proceedings of the 6th International Symposium, Protein Metabolism Nutrition*, pp. 299. Herning, Denmark.
- Borja E y Medel P. 1998. Avances en la alimentación del porcino: I. Lechones y cerdos de engorde. En: *XIV Curso de Especialización FEDNA*. Madrid, España.
- Bridges TC, Turner LW, Gates RS, Overhults DG. 2003. Assessing the benefits of misting-cooling systems for growing/finishing swine as affected by environment and pig placement date. *Applied Engineering in Agriculture* 19, 361-366.
- Brooks PH, Carpenter JL, Barber J, Gill BP. 1989. Production and welfare problems relating to the supply of water to growing finishing pigs. *Pig Veterinary Journal* 23, 51-66.

- Brumm MC and Miller PS. 1996. Response of pigs to space allocation and diets varying in nutrient density. *Journal of Animal Science* 74, 2730-2737.
- Brumm M and Heemstra J. 1999. Impact of drinker type on pig performance, water use and manure production. *Nebraska Swine Report*, 49-50.
- Brumm MC, Dahlquist JM, Heemstra JM. 2000. Impact of feeders and drinker devices on pig performance, water use, and manure volume. *Journal of Swine Health and Production* 8, 51-57.
- Canibe N and Jensen BB. 2003. Fermented and non-fermented liquid feed to growing pigs - effect on aspects of gastrointestinal ecology and on growth performance. *Journal of Animal Science* 81, 2019-2031.
- Carroll C. 2003. The importance of Water. In: *Proceedings of the Pig Farmers Conference*, Dublin, Ireland.
- Casal J, De Manuel A, Mateu E, Martín M. 2007. Biosecurity measures on swine farms in Spain: perceptions by farmers and their relationship to current on-farm measures. *Preventive Veterinary Medicine* 82, 138-150.
- Choi HL, Song JI, Lee JH, Albright LD. 2010. Comparison of natural and forced ventilation systems in nursery pig houses. *Applied Engineering in Agriculture* 26, 1023-1033.
- Cisneros F, Ellis M, McKeith FK, McCaw J, Fernando RL. 1996. Influence of slaughter weight on growth and carcass characteristics, commercial cutting and curing yields, and meat quality of barrows and gilts from two genotypes. *Journal of Animal Science* 74, 925-933.
- Ciudad JM. 1994. Control ambiental en explotaciones porcinas. *Policopiado*, 23 p.
- Clermont R and Desilets A. 1981. Epizootiological aspects of porcine respiratory diseases which were encountered in Quebec from September 1980 until February 1981. *Canadian Veterinary Journal* 23, 179-182.
- Cline TR and Richert BT. 2001. Feeding Growing finishing pigs. In: *Swine Nutrition* (eds. Lewis AJ and Southern LL) 2nd ed., pp. 717-724, CRC Press, Boca Raton, USA.
- Coffey RD. 2008. Tools to cope with current economics. In: *Proceedings of the Swine nutrition conference*. Indianapolis, USA.
- Copas JB. 1983. Regression, prediction and Shrinkage. *Journal of the Royal Statistical Society B* 45, 311-354.

- Corino C, Rossi R, Pastorelli G. 2003. Different types of flooring and space allowance in heavy pigs: effects on growth performances. *Italian Journal of Animal Science* 2 (Suppl. 1), 388-390.
- Correa JA, Faucitano L, Laforest JP, Rivest J, Marcoux M, Gariépy C. 2006. Effects of slaughter weight on carcass composition and meat quality in pigs of two different growth rates. *Meat Science* 72, 91-99.
- DAAM. 2012. Departamento de agricultura, ganadería, pesca, alimentación y medio natural. Disponible en <http://www20.gencat.cat/portal/site/DAR>.
- De Greef KH and Verstegen MWA. 1993. Partitioning of protein and lipid deposition in the body of growing pigs. *Livestock Production Science* 35, 317-328.
- De Lange CFM, Birkett SH, Morel PCH. 2001. Protein, fat and bone tissue growth in swine. In: *Swine Nutrition* (eds. Lewis AJ and Southern LL) 2nd ed., pp. 65-84, CRC Press, Boca Raton, USA.
- Dent JB, Edwards Jones G, McGregor MJ. 1995. Simulation of ecological, social and economic factors in agricultural systems. *Agricultural Systems* 49, 337-351.
- Diestre A, Oliver MA, Gispert M, Arpa I, Arnau J. 1990. Consumer responses 381 to fresh meat and meat products from barrows and boars with different levels of boar 382 taint. *Animal Production*, 50, 519-530.
- Dinand Ekkel ED, Spoolder HAM, Hulsegge I, Hopster H. 2003. Lying characteristics as determinants for space requirements in pigs. *Applied Animal Behaviour Science* 80, 19-30.
- Dionissopoulos L. 1997. Immune system stimulation and growth performance in swine. PhD thesis. University of Guelph. Guelph, Canada.
- Dunshea FR, Colantoni C, Howard K, McCauley I, Jackson P, Long KA, Lopaticki S, Nugent EA, Simons JA, Walker J, Hennessy DP. 2001. Vaccination of boars with a GnRH vaccine (Improvac) eliminates boar taint and increases growth performance. *Journal of Animal Science* 79, 2524-2535.
- Edwards DB, Tempelman RJ, Bates RO. 2006. Evaluation of Duroc- vs. Pietrain-sired pigs for growth and composition. *Journal of Animal Science* 84, 266-275.
- EFSA. 2006. European Food Safety Authority. In: Scientific opinion of the panel on animal health and welfare on a request from commission on the risks associated with tail biting in pigs and possible means to reduce the need for tail docking considering the different housing and husbandry systems. *The EFSA Journal* 611, 1-13.
- Fablet C, Dorenlor V, Eono F, Eveno E, Jolly JP, Portier F, Bidan F, Madec F, Rose N. 2012. Noninfectious factors associated with pneumonia and pleuritis in slaughtered pigs from 143 farrow-to-finish pig farms. *Preventive Veterinary Medicine* 104, 271-280.

- Fagundes ACA, Silva RG, Gomes JDF, Souza LWO, Fukushima RS. 2009. Influence of environmental temperature, dietary energy level and sex on performance and carcass characteristics of pigs. *Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science* 46, 32-39.
- Farzan A, Friendship RM, Dewey CE, Warriner K, Poppe C, Klotins K. 2006. Prevalence of Salmonella spp. on Canadian pig farms using liquid or dry-feeding. *Preventive Veterinary Medicine* 73, 241-254.
- FEDNA. 2006. Fundación Española Desarrollo Nutrición Animal. In: *Necesidades nutricionales para ganado porcino* (eds. Blas C, Gasa J, Mateos GG). Fedna, Madrid, España.
- FEDNA. 2010. Fundación Española Desarrollo Nutrición Animal, 2010. In: *Normas FEDNA para la Formulación de Piensos Compuestos* (eds. de Blas C, Mateos GG, Rebollar PG), 3rd ed. Fedna, Madrid, España.
- Fenaux M, Opriessnig T, Halbur T, Elvinger F, Meng XJ. 2004. A chimeric porcine circovirus (PCV) with the immunogenic capsid gene of the pathogenic PCV type 2 (PCV2) cloned into the genomic backbone of the nonpathogenic PCV1 induces protective immunity against PCV2 infection in pigs. *Journal of Virology* 78, 6297-6303.
- Forcada F. 1997. Alojamiento para ganado porcino. Mira editores. Zaragoza, España. 303 p.
- Fraile LJ, Crisci E, Weenberg J, Armadans M, Mendoza L, Ruiz L, Bernaus S, Montoya M. 2009. Effect of treatment with phytosterols in three herds with porcine respiratory disease complex. *Journal of Swine Health and Production* 17, 298-307.
- France J and Dijkstra J. 2006. Scientific progress and mathematical modelling: different approaches to modelling animal systems. In: *Mechanistic Modelling in Pig and Poultry Production* (eds. Gous R, Morris T, Fisher C). pp. 6-21. CAB International, Wallingford, UK.
- France J and Thornley JHM. 1984. Mathematical models in agriculture: a quantitative approach to problems in agriculture and related sciences. Butterworths. London, UK. 335 p.
- Gadd J. 2005. Pig production: what the textbooks don't tell you. Nottingham University Press. Nottingham, UK. 263 p.
- Gadd J. 2007. Ventilación: cifras y datos para el veterinario. *Suis*, 37, 6-10.
- García-Feliz C, Carvajal A, Collazos JA, Rubio P. 2009. Herd-level risk factors for faecal shedding of Salmonella enterica in Spanish fattening pigs. *Preventive Veterinary Medicine* 91, 130-136.

- Garcimartín MA, Ovejero I, Vázquez Minguela J, Daza A. 2008. Effect of floor type on the growth performance and health status of growing-finishing pigs. *Spanish Journal of Agricultural Research* 6, 559-565.
- Gardner IA, Willeberg P, Mousing J. 2002. Empirical and theoretical evidence for herd size as a risk factor for swine diseases. *Animal Health Research Reviews* 3, 43-55.
- Garry BP, Fogarty M, Curran TP, O'Doherty JV. 2007. Effect of cereal type and exogenous enzyme supplementation in pig diets on odour and ammonia emissions. *Livestock Production Science* 109, 212-215.
- Gerber P, Galinari G, Silva M, Campos F, Reis A, Lobato Z. 2009. Distribution of antibodies against porcine circovirus type-2 (PCV2) in single site and multi-site farrow-to-finish farms in Brazil. *Research in Veterinary Science* 87, 488-491.
- Gibon A, Sibbald AR, Thomas C. 1999. Improved sustainability in livestock systems, a challenge for animal production science – Introduction. *Livestock Production Science* 61, 107-110.
- Giersing M and Andersson A. 1998. How does former acquaintance affect aggressive behaviour in repeatedly mixed male and female pigs? *Applied Animal Behavior Science* 59, 297-306.
- Gillespie J, Opriessnig T, Meng XJ, Pelzer K, Buechner-Maxwell V. 2009. Porcine circovirus type 2 and porcine circovirus-associated disease. *Journal of Veterinary Internal Medicine* 23, 1151-1163.
- Gispert M, Valero A, Oliver MA, Diestre A. 1997. Problemas asociados a la falta de grasa en canales porcinas. *Eurocarne* 61, 27-32.
- Gispert M, Font i Furnols GM, Velarde A, Diestre A, Carrión D, Sosnicki AA, Plastow GS. 2007. Relationships between carcass quality parameters and genetic types. *Meat Science* 77, 397-404.
- Gonyou HW and Stricklin WR. 1998. Effects of floor area allowance and group size on the productivity of growing/finishing. *Journal of Animal Science* 76, 1326-1330.
- Gonyou HW, Lemay SP, Zhang Y. 2000. Effects of environmental on production and disease. In: *Diseases of Swine* (eds. Straw BE, D'Allaire S, Mengeling WL, Taylor DJ), 8th ed., pp. 829-836, Iowa State University Press, Ames, USA.
- Gonyou HW and Lou Z. 2000. Effects of eating space and availability of water in feeders on productivity and eating behavior of grower/finisher pigs. *Journal of Animal Science* 78, 865-870.
- Goodwin RFW. 1985. Apparent reinfection of enzootic-pneumonia free pig herds: search for possible causes. *Veterinary Record* 116, 690-694.

- Guinand N, Quiniou N, Courboulay V. 2010. Emissions comparées d'ammoniac et de gaz à effet de serre par des porcs charcutiers élevés au froid sur caillebotis partiel ou à la thermoneutralité sur caillebotis intégral. *Journées de la Recherche Porcine* 277-283.
- Hacker RR, Ogilvie JR, Morrison WD, Kains F. 1994. Factors affecting excretory behavior of pigs. *Journal of Animal Science* 72, 1455-1460.
- Hadina S, Vucemilo M, Pavicic Z, Tofant A, Matkovic K. 2003. Effect of microclimate on air quality in intensive pig production. *Stoaaar* 57, 91-99.
- Hamilton DN, Ellis M, Wolter BF, Schinckel AP, Wilson ER. 2003. The growth performance of the progeny of two swine sire lines reared under different floor space allowances. *Journal of Animal Science* 81, 1126-1135.
- Han IK, Kim JH, Chu KS, Xuan ZN, Sohn KS, Kim MK. 1998. Effect of phase-feeding on the growth performance and nutrient utilization in finishing pigs. *Journal of Animal Science* 11, 559-565.
- Han IK, Lee JH, Kim JH, Kim YG, Kim JD, Paik IK. 2000. Application of phase feeding in swine production. *Journal of Applied animal Research* 17, 27-56.
- Harris DL. 1988. Alternative approaches to eliminating diseases and improving performance of pigs. *Veterinary Record* 123, 422-423.
- Harris DL and Alexander TJ. 1999. Methods of disease control. In: *Diseases of Swine*. (eds. Straw BE, D'Allaire S, Mengling WL, Taylor DJ) 8th ed., pp. 1077-1110, Iowa State University Press, Ames, USA.
- Hartog L and Smits C. 2005. Estrategias de alimentación y manejo para alcanzar la uniformidad y calidad deseadas en porcino. En: *XXI Curso de especialización FEDNA*. Madrid, España.
- Henry Y, Seve B, Mounier A, Ganier P. 1996. Growth performance and brain neurotransmitters in pigs as affected by tryptophan, protein, and sex. *Journal of Animal Science* 74, 2700-2710.
- Henry SC and Tokach LM. 2006. Porcine circovirus-associated disease in Kansas. In: *Proceedings of the AD Leman Swine Conference*, pp. 110-111, Saint Paul, USA.
- Hill GM, Baido SK, Cromwell GL, Mahan DC, Nelssen JL, Stein HH. 2007. Evaluation of sex and lysine during the nursery period. *Journal of Animal Science* 85, 1453-1458.
- Holden P. 1991. Swine costs and production. *Agri-practice* 12, 46-48.
- Honeyman MS. 1996. Sustainability issues of U.S. swine production. *Journal of Animal Science* 74, 1410-1417.

- Hugo A, Ostho G, Jooste P. 1999. Effect of slaughter weight on the intramuscular fat composition of pigs. In: *45th international congress of meat science and technology*, pp. 496, Yokohama, Japan.
- Hurnik D, Dohoo IR, Bate LA. 1994. Types of farm management as risk factors for swine respiratory disease. *Preventive Veterinary Medicine* 20, 147-157.
- Huynh TTT, Aarnink AJA, Verstegen MWA, Gerrits WJJ, Heetkamp MJW, Kemp B, Canh TT. 2005. Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative. *Journal of Animal Science* 83, 1385-1396.
- Hyun Y, Ellis M, McKeith FK, Wilson ER. 1997. Feed intake pattern of group-housed growing-finishing pigs monitored using a computerized feed intake recording system. *Journal of Animal Science* 75, 1443-1451.
- Hyun Y, Ellis M, Curtis SE, Johnson RW. 1998a. Growth performance of pigs subjected to multiple concurrent environmental stressors. *Journal of Animal Science* 76, 721-727.
- Hyun Y, Ellis M, Johnson RW. 1998b. Effects of feeder type, space allowance, and mixing on the growth performance and feed intake pattern of growing pigs. *Journal of Animal Science* 76, 2771-2778.
- Jacela JY, Dritz SS, DeRouchey JM, Tokach MD, Goodband RD, Nelssen JL. 2011. Field evaluation of the effects of a porcine circovirus type 2 vaccine on finishing pig growth performance, carcass characteristics, and mortality rate in a herd with a history of porcine circovirus-associated disease. *Journal of Swine Health and Production* 19, 10-18.
- Jensen BB and Mikkelsen LL. 1998. Feeding liquid diets to pigs. In: *Recent Advances in Animal Nutrition*. (eds. Garnsworthy PC and Wiseman J), pp. 107-126 Nottingham University Press, Nottingham, U.K.
- Keessen EC, van den Berkt AJ, Haasjes NH, Hermanus C, Kuijper EJ, Lipman LJA. 2011. The relation between farm specific factors and prevalence of *Clostridium difficile* in slaughter pigs. *Veterinary Microbiology* 154, 130-134.
- Kemme PA, Radcliffe JS, Jongbloed AW, Mroz Z. 1997. Factors affecting phosphorus and calcium digestibility in diets for growing-finishing. *Journal of Animal Science* 75, 2139-2146.
- Kerr CA, Giles LR, Jones MR, Reverter A. 2005. Effects of grouping unfamiliar cohorts, high ambient temperature and stocking density on live performance of growing pigs. *Journal of Animal Science* 83, 908-915.
- Kim IH, Rantanen MM, Hancock JD, Goodband RD, Nelssen JL, Tokach MD, Hines RH. 2000. Feeder design, pelleting and season affect growth performance and water use in finishing pigs. *Korean Journal of Animal Science* 42, 827-834.

- Koketsu Y. 2007. Mortality trends and comparisons between mortality risk and mortality rate of fattening pig operations in farrow-to-finish herds. *Journal of Veterinary Epidemiology* 11, 90-95.
- Krone RM. 1980. Systems analysis and policy sciences: theory and practice. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA. 216 p.
- Kyriazakis I and Savory J. 1997. Hunger and thirst. In: *Animal welfare* (eds. Appleby MC and Hughes BO), pp. 49-62. CAB International, Wallingford, UK.
- Larriestra AJ, Maes DG, Deen J, Morrison RB. 2005. Mixed models applied to the study of variation of grower-finisher mortality and culling rates of a large swine production system. *Canadian Journal of Veterinary Research* 69, 26-31.
- Latorre MA, Medel P, Fuentetaja A, Lazaro R, Mateos GG. 2003. Effect of gender, terminal sire and age at slaughter on performance, carcass characteristics and meat quality of heavy pigs. *Animal Science* 77, 33-45.
- Latorre MA, Lázaro R, Valencia DG, Medel P, Mateos GG. 2004. The effects of gender and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs. *Journal of Animal Science* 82, 526-533.
- Latorre MA, Iguácel F, Sanjoaquin L, Revilla R. 2009. Effect of sire breed on carcass characteristics and meat and fat quality of heavy pigs reared outdoor and intended for dry cured meat production. *Animal* 3, 461-467.
- Lawhorn B. 1998. Swine pneumonia. *Texas Agricultural Extension Service*. Publication L-5203.
- Lawrence J. 1996. Economic evaluation of new technologies for pork producers: examples of all in-all out and segregated early weaning. *Journal of Swine Health and Production* 4, 175-180.
- Le Bellego L, van Milgen J, Noblet J. 2002. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 80, 691-701.
- Lee P, Kay RM, Cullen A, Fullarton P, Jagger S. 1993. Dietary manipulation to reduce nitrogen excretion by pigs and its effect on performance. *European Association of Animal Production* 69, 8-11.
- Leek ABG. 1999. The lysine:energy requirement of the growing and finishing pig: the effect of feeding strategy on growth performance and carcass characteristics. *MSc Thesis*, University College Dublin, Dublin, Ireland.

- Leek ABG, Sweeney BT, Duffy P, Beattie VE, O'Doherty JV. 2004. The effect of stocking density and social regrouping stressors on growth performance, carcass characteristics, nutrient digestibility and physiological stress responses in pigs. *Animal Science* 79, 109-119.
- Lenis NP. 1989. Lower nitrogen excretion in pig husbandry by feeding: current and future possibilities. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 37, 61-70.
- Lizardo R. 2004. Alimentación líquida para el ganado porcino. *Suis* 12, 12-31.
- López PL. 2001. Evaluación de los enfoques de funciones generalizadas de producción, balance nutrimental y balance nutrimental modificado, para la generación de dosis óptimas de fertilización para cultivos. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Losinger WC. 1998. Feed-conversion ratio of finisher pigs in the USA. *Preventive Veterinary Medicine* 36, 287-305.
- Losinger WC, Bush EJ, Smith MA, Corso BA. 1998. Mortality attributed to respiratory problems among finisher pigs in the United States. *Preventive Veterinary Medicine* 37, 21-31.
- Maes D, Deluyker H, Verdonck M, Castryck F, Miry C, Vrijens B, De Kruif A. 2000. Herd factors associated with the seroprevalences of four major respiratory pathogens in slaughter pigs from farrow-to-finish pig herds. *Veterinary Research* 31, 313-327.
- Maes D, Larriestra A, Deen J, Morrison RB. 2001. A retrospective study of mortality in grow-finishing pigs of a multi-site production system. *Journal of Swine Health and Production* 9, 267-274.
- Maes D, Duchateau L, Larriestra AJ, Deen J, Morrison RB. 2004. Risk factors for mortality in grow-finishing pigs in Belgium. *Journal of Veterinary Medicine Series B Infectious, Diseases and Veterinary Public Health* 51, 321-326.
- Maes D, Segales J, Meyns T, Sibila M, Pieters M, Haesebrouck F. 2008. Control of *Mycoplasma hyopneumoniae* infections in pigs. *Veterinary Microbiology* 126, 297-309.
- Magowan E, McCanna MEE, O'Connell NE. 2008. The effect of feeder type and change of feeder type on growing and finishing pig performance and behavior. *Animal Feed Science and Technology* 142, 133-143.
- MAGRAMA. 2011. El sector de la carne de cerdo en cifras, principales indicadores económicos en 2010. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid. Disponible en <http://www.eurocarne.com/informes/pdf/sector-porcino-2010.pdf>.

- MAGRAMA. 2012. El sector de la carne de cerdo en cifras, Principales indicadores económicos en 2011. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid. Disponible en http://www.magrama.gob.es/app/vocwai/documentos/Adjuntos_AreaPublica/INDICADORES%20ECON%20C3%93MICOS%20CARNE%20%20CERDO%202011.pdf.
- Malczewski J. 1999. GIS and multi-criteria decision analysis. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 408 p.
- Martínez J, Jaro PJ, Aduriz G, Gómez EA, Peris B, Corpa JM. 2007. Carcass condemnation causes of growth retarded pigs at slaughter. *The Veterinary Journal* 174, 160-164.
- Martínez J, Peris B, Gomez EA, Corpa JM. 2009. The relationship between infectious and non infectious herd factors with pneumonia at slaughter and productive parameters in fattening pigs. *The Veterinary Journal* 179, 240-246.
- Martínez-López B, Carpenter TE, Sánchez-Vizcaíno JM. 2009. Risk assessment and cost-effectiveness analysis of Aujeszky's disease virus introduction through breeding and fattening pig movements into Spain. *Preventive Veterinary Medicine* 90, 10-16.
- McCann MEE, McEvoy JDG, McCracken KJ. 2006. Factors affecting digestibility of barley-based diets for growing pigs. *Livestock Production Science* 102, 51-59.
- McCauley I, Watt M, Suster D, Kerton DJ, Oliver WT, Harrell RJ, Dunshea FR. 2003. A GnRF vaccine (Improvac®) and porcine somatotropin (Reporcin®) have synergistic effects upon growth performance in both boars and gilts. *Australian Journal of Agricultural Research* 54, 11-20.
- McGlone JJ and Newby BE. 1994. Space requirements for finishing pigs in confinement: behavior and performance while group size and space vary. *Applied Animal Behaviour Science* 39, 331-338.
- Medel P y Fuentetaja A. 2001. Efecto del perfil genético, del sexo, del peso al sacrificio y de la alimentación sobre la productividad y la calidad de la canal y de la carne de cerdos grasos. Factores que afectan en la producción de cerdo graso. *XVI Curso de Especialización FEDNA*. Madrid, España.
- Mejia W, Casal J, Zapata D, Sanchez GJ, Martin M, Mateu E. 2006. Epidemiology of *Salmonella* infections in pig units and antimicrobial susceptibility profiles of the strains of *Salmonella* species isolated. *Veterinary Record* 159, 271-276.
- Menguy Y. 1981. La maitrise de l' ambience conditionne les performances. *L'Élevage porcin* 102, 14-19.
- Meunier-Salaun MC, Vantrimponte MN, Raab A, Dantzer R. 1987. Effect of floor area restriction upon performance, behavior and physiology of growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 64, 1371-1377.

- Michalska G, Nowachowicz J, Chojnacki Z, Bucek T, Wasilewski PD. 2004. Analysis of the results of performance tested young crossbred boars. *Animal Science* (Suppl. 2) 49-53(Abstr.).
- Miller GY, Algozin KA, McNamara P, Bush EJ. 2003. Productivity and economic impacts of feed grade antibiotic use in pork production. *Journal of Agricultural & Applied Economics* 35, 467-482.
- Missotten JAM, Michiels J, Ovynga A, De Smeta S, Dierick NA. 2010. Fermented liquid feed for pigs. *Archives of Animal Nutrition* 64, 437-466.
- Möbeler A, Köttendorf S, Liesner VG, Kamphues J. 2010. Impact of diets' physical form (particle size; meal/pelleted) on the stomach content (dry matter content, pH, chloride concentration) of pigs. *Livestock Production Science* 134, 146-148.
- Morales J, Gispert M, Hortos M, Perez J, Suarez P, Piñeiro C. 2010. Evaluation of production performance and carcass quality characteristics of boars immunised against gonadotropin-releasing hormone (GnRH) compared with physically castrated male, entire male and female pigs. *Spanish Journal of Agricultural Research* 8, 599-606.
- Morris TR. 2006. An introduction to modelling in the animal sciences. In: *Mechanistic Modelling in pig and poultry production* (eds. Gous R, Morris T, Fisher C). pp. 1-5. CAB International, Wallingford, UK.
- Morrison RS, Hemsworth PH, Cronin GM, Campbell RG. 2003. The social and feeding behaviour of growing pigs in deep-litter, large group housing system. *Applied Animal Behaviour Science* 82, 173-188.
- Moughan PJ, Smith W, Pearson G. 1987. Description and validation of a model simulating growth in the pig (20–90 kg liveweight). *New Zealand Journal of Agricultural Research* 30, 481-490.
- Myers AJ, Goodband RD, Tokach MD, Dritz SS, Bergstrom JR, DeRouchey JM, Nelssen JL. 2010. The effects of feeder-trough space and gap setting on growth performance of finishing pigs. *Journal of Animal Science* 93(Suppl. 1), 562-563(Abstr.).
- NAHMS. 1995. National Animal Health Monitoring System. U.S. grower/finisher health and management practices. Available in http://www.aphis.usda.gov/animal_health/nahms/swine/downloads/swine95/Swine95_dr_PartII.pdf. Accessed on June 22nd 2012.
- Navarotto P, Fabbri C, Guarino M, Bonazzi G. 2002. Pavimenti a prova di ammoniaca. *Rivista di Suinicoltura* 43, 21-28.
- Nielsen BL. 1995. Feeding behaviour of growing pigs: effects of the social and physical environment. *PhD Thesis*, The University of Edinburgh, Edinburgh, UK.

- Niemi JK, Sevón-Aimonen ML, Pietola K, Stalder KJ. 2010. The value of precision feeding technologies for grow–finish swine. *Livestock Production Science* 129, 13-23.
- Noblet J, Le Bellego L, van Milgen J, Dubois S. 2001. Effects of reduced dietary protein level and fat addition on heat production and N and energy balance in growing pigs. *Animal Research* 50, 227-238.
- Nollet N, Maes D, De Zutter L, Duchateau L, Houf K, Huysmans K, Imberechts H, Geers R, de Kruif A, van Hoof J. 2004. Risk factors for the herd-level bacteriologic prevalence of Salmonella in Belgian slaughter pigs. *Preventive Veterinary Medicine* 65, 63-75.
- NRC. 1998. Nutrient Requirements for Swine. 10th ed. National Academies Press, Washington, DC.
- NRC. 2012. Nutrient Requirements for Swine. 11th ed. National Academies Press, Washington, DC.
- Nyachoti CM, Patience JF, Seddon IR. 2005. Effect of water source (ground versus surface) and treatment on nursery pig performance. *Canadian Journal of Animal Science* 85, 405-407.
- Observatori del porcí. 2012. Informe del sector porcí. Ejercicio 2011. Departamento de Agricultura, Ganadería, Pesca, Alimentación y Medio Natural, Barcelona. Disponible en http://www20.gencat.cat/docs/DAR/DE_Departament/DE02_Estadistiques_observatoris/08_Observatoris_sectorials/04_Observatori_porci/Informes_anuals/Fitxers_estatics/O_P_Inf_Anuar_2011_cast.pdf. Accesado en 10 de agosto de 2012.
- O'Connell NE, Beattie VE, Weatherup RN. 2002. Influence of feeder type on the performance and behaviour of weaned pigs. *Livestock Production Science* 74, 13-17.
- O'Connell MK, Lynch PB, O'Doherty JV. 2005. Determination of the optimum dietary lysine concentration for growing pigs housed in pairs and in groups. *Animal Science*. 81, 249-255.
- Oliveira J, Guitián FJ, Yus E. 2007. Effect of introducing piglets from farrow-to-finish breeding farms into all-in all-out fattening batches in Spain on productive parameters and economic profit. *Preventive Veterinary Medicine* 80, 243-256.
- Oliveira J, Yusa E, Guitián FJ. 2009. Effects of management, environmental and temporal factors on mortality and feed consumption in integrated swine fattening farms. *Livestock Production Science* 123, 221-229.
- Palomo YA. 2007. Alimentación líquida aplicada en ganado porcino. *Mundo Ganadero* 197, 40-42.

- Patterson DC. 1991. A comparison of offering meal and pellets to finishing pigs from self-feed hoppers with and without built-in watering. *Animal Feed Science and Technology* 34, 29-36.
- Patherick JC, Beatties AW, Bodero DAV. 1989. The effect of group size on the performance of growing pigs. *Animal Production* 49, 497-503.
- Patience JF. 1989. Water quality and quantity: importance in animal and poultry production. In: *Biotechnology in the Feed Industry* (ed. Lyons TP). pp. 121-138. Alltech Technical Publications, Nicholasville, USA.
- Patience J and Engele K. 2005. A checklist for water use. *Prairie Swine Center* 7, 2.
- Payne HG. 1991. The evaluation of single-space and wet-and-dry feeders for the Australian environment. In: *Manipulating Pig Production III* (ed. Batterham ES). pp. 158-161. Australasian Pig Science Association, Albury, Australia.
- Pedersen JS. 1990. 16 compared with 48 finishers per pen. *Landsudvalget for Svin. Danske Slagterier*, Report n. 182.
- Penny PC. 2000. Effect of modifications to pen design formation on the performance of weaned pigs housed in large group systems. *Journal of Animal Science* 78(Suppl. 1), 238 (abstr).
- Piao JR, Tian JZ, Kim BG, Choi YI, Kim YY, Han IK. 2004. Effect of sex and market weight on performance, carcass characteristics and pork quality of market hogs. *Asian Australasian Journal of Animal Sciences* 17, 1452-1458.
- PIGCAS. 2008. Report on practice of castration. Deliverable D2.4. In: *Project no. 043969: Attitudes, practices and state of the art regarding piglet castration in Europe*. Final draft, 5 March 2008.
- Plastow GS, Carrión D, Gil M, Garcí-Regueiro JA, Font M, Furnols I, Gispert M, Oliver MA, Velarde A, Guàrdia MD, Hortós M, Rius MA, Sárraga C, Díaz I, Valero A, Sosnicki A, Klont R, Dornan S, Wilkinson JM, Evans G, Sargent C, Davey G, Connolly D, Houeix B, Maltin CM, Hayes HE, Anandavijayan V, Foury A, Geverink N, Cairns M, Tilley RE, Morméde P, Blott SC. 2005. Quality pork genes and meat production-A review. *Meat Science* 70, 409-421.
- Pomar C, Hauschild L, Zhang G, Pomar J, Lovatto PA. 2009. Applying precision feeding techniques in growing-finishing pig operations. *Brazilian Journal of Animal Science* 38, 226-237.
- Potter ML, Dritz SS, Tokash MD, DeRouchey JM, Goodband RD, Nelsson JL. 2010. Effects of meal or pellet diet form in finishing pig performance and carcass characteristics. In: *KSU Swine Day 2010*. pp. 245-251. Kansas State University, Manhattan, USA.

- Quémeré P, Castaing J, Chastanet JP, Latimier P, Saulnier J, Willequet F, Grosjean F. 1988. Influence de la forme de presentation de l'aliment aux pores charcutiers: 1– Comparación farine sèche, soupe, granulé; 2– Incidences techniques et économiques. *Journées Recherche Porcine France* 20, 351-360.
- Quiles A y Hervia ML. 2008. Factores que influyen en el consumo de piensos en los cerdos. *Producción Animal* 248, 6-19.
- Quiniou N and Noblet J. 1999. Influence of high ambient temperatures on performance of multiparous lactating sows. *Journal of Animal Science* 77, 2124-2134.
- Quiniou N, Dubois S, Cozler YL, Bernier JF, Noblet J. 1999. Effect of growth potential (body weight and breed/castration combination) on the feeding behaviour of individually kept growing pigs. *Livestock Production Science* 61, 13-22.
- Rantanen M, Hancock J, Hines R, Kim I. 1995. Effects of feeder design and pelleting affect on growth performance and water use in finishing pigs. In: *KSU Swine Day 1995*. pp.119-120. Kansas State University. Manhattan, USA.
- Rauw WM, Soler J, Tibau J, Reixach J, Gomez Raya L. 2006. Feeding time and feeding rate and its relationship with feed intake, feed efficiency, growth rate, and rate of fat deposition in growing Duroc barrows. *Journal of Animal Science* 84, 3404-3409.
- Resano H, Sanjuan AI, Albisu LM. 2007. Consumer's acceptability of cured ham in Spain and the influence of information. *Food Quality and Preference* 18, 1064-1076.
- Rodríguez–Estévez V, Valerio D, Perea JM, García A. 2007. Consideraciones prácticas de la alimentación líquida en porcino. *Mundo Ganadero* 197, 44-49.
- Rodriguez Pérez MR. 2004. Desarrollo y validación de modelos matemáticos para la predicción de vida comercial de productos cárnicos. *Tesis doctoral*. Universidad de Córdoba. Córdoba, España.
- Saha CK, Zhang GQ, Kai P, Bjerg B. 2010. Effects of a partial pit ventilation system on indoor air quality and ammonia emission from a fattening pig room. *Biosystems Engineering* 105, 279-287.
- Santomá G. 1994. Programas de alimentación en broilers y “pollo alternativo”. En: *X Curso de especialización FEDNA*. Madrid, España.
- Santomá G y Pontes M. 2004. Interaccion nutricion-manejo en explotaciones para aves y porcino. 1. Introducción y factores ambientales. En: *Curso de especialización FEDNA*. Barcelona, España.
- Schell TC and van Heugten E. 1998. The effect of pellet quality on growth performance of grower pigs. *Journal of Animal Science* 76(Suppl. 1), 185(abstr.).

- Schoder G, Maderbacher R, Wagner G, Baumgartner W. 1993. Causes of losses in a pig fattening facility. *Dtsch Tierarztl Wochenschr* 100, 428-432.
- Scholten RHJ, Hoofs AIJ, Beurskens-Voermans MP. 1997. Bijproductenrantsoen voor vleesvarkens: invloed van voerniveau en aminozuregehalte. In: *Proefverslag P1.188*. pp. 1-12. Praktijkonderzoek Varkenshouderij. Rosmalen, Nederlands.
- Scholten RHJ, Schraum JW, van der Peet-Schwering CMC, den Hartog LA, Vesseur PC, van Leeuwen P, Verstegen MWA. 2000. The dose-response effect of fermented liquid wheat on growth performance and gastrointestinal health of weaned piglets. In: *Proceedings of the 8th Symposium of Digestive Physiology in Pigs* (ed. Lindberg JE). pp. 59. Uppsala, Sweden.
- Scholten RH, van der Peet-Schwering CM, den Hartog LA, Balk M, Schrama JW, Verstegen MW. 2002. Fermented wheat in liquid diets: effects on gastrointestinal characteristics in weanling piglets. *Journal of Animal Science* 80, 1179-1186.
- Segales J, Urniza A, Alegre A, Bru T, Crisci E, Nofrarias M, López-Soria S, Balasch M, Sibila M, Xu Z, Chu H-J, Fraile L, Plana-Duran J. 2009. A genetically engineered chimeric vaccine against porcine circovirus type 2 (PCV2) improves clinical, pathological and virological outcomes in postweaning multisystemic wasting syndrome affected farms. *Vaccine* 27, 7313-7321.
- Shields RGJr, Mahan DC, Graham PL. 1983. Changes in swine body composition from birth to 145 kg. *Journal of Animal Science* 57, 43-54.
- Sibila M, Calsamiglia M, Segalés J, Blanchard P, Badiella L, Le Dimna M, Jestin A, Domingo M. 2004. Use of a polymerase chain reaction assay and an ELISA to monitor porcine circovirus type 2 infection in pigs from farms with and without postweaning multisystemic wasting syndrome. *American Journal of Veterinary Research* 65, 88-92.
- Sibila M, Nofrarias M, Lopez-Soria S, Segales J, Riera P, Llopart D, Calsamiglia M. 2007. Exploratory field study on *Mycoplasma hyopneumoniae* infection in suckling pigs. *Veterinary Microbiology* 121, 352-356.
- SIP Consultors. 2010. Costes de produccion y resultado económico comparados entre España y Europa. Disponible en <http://www.sipconsultors.com/images/stories/articles/IVJornadaSIP/informeinterpig2010.pdf>.
- SIP Consultors. 2011a. Coste de producción del cerdo en enero 2011. Disponible en <http://www.sipconsultors.com/images/stories/articles/01-11/precio-coste1-11.pdf>.
- SIP Consultors. 2011b. Informe consolidado 2011. Disponible en <http://www.sipconsultors.com/images/stories/articles/Cons2011/cost2011.pdf>.

- SIP Consultors. 2011c. Evolución en los últimos años. Disponible en <http://www.sipconsultors.com/images/stories/articles/IVJornadaSIP/evolucionultimosaos.pdf>.
- SIP Consultors. 2012. Informe consolidado 2012. Disponible en <http://www.sipconsultors.com/images/stories/articles/Cons/2012/costees2012s.pdf>.
- Strathe AB, Danfar A, Sorensen H, Kebreab E. 2010. A multilevel nonlinear mixed-effects approach to model growth in pigs. *Journal of Animal Science* 88, 638-649.
- Street BR and Gonyou HW. 2008. Effects of housing finishing pigs in two group sizes and at two floor space allocations on production, health, behavior and physiological variables. *Journal of Animal Science* 86, 982-991.
- Sun G, Guo HQ, Peterson J, Predicala B, Lague C. 2008. Diurnal odor, ammonia, hydrogen sulfide, and carbon dioxide emission profiles of confined swine grower/finisher rooms. *Journal of the Air & Waste Management Association* 58, 1434-1448.
- Thacker E. 2006. Mycoplasmal diseases. In: *Diseases of Swine* (eds. Straw BE, Zimmerman JJ, D'Allaire S, Taylor DJ). 9th ed. pp: 701-717. Blacwell Publishing Ltd., Oxford, UK.
- Tibau J, Puigvert X, Soler J, Trilla N, Diestre A, Gispert M, Fernandez J, Manteca X. 1997. Incidencia de factores genéticos y de comportamiento en la eficiencia del crecimiento, la composición y la calidad de la canal y de la carne en distintas razas porcinas. *Anaporc* 171, 74-91.
- Tsaras LN, Kyriazakis I, Emmans GC. 1998. The prediction of voluntary food intake of pig on poor quality foods. *Animal Science* 66, 713-723.
- Turkstra JA, Zeng XY, van Diepen JTM, Jongbloed AW, Oonk HB, van de Wiel DFM, Melen RH. 2002. Performance of male pigs immunized against GnRH is related to the time of onset of biological response. *Journal of Animal Science* 80, 2953-2959.
- Turner SP and Edwards SA. 2000. Housing in large groups reduces aggressiveness of growing pigs. In: *Proceedings of the 51st Annual Meeting of the European Association for Animal Production*, The Hague, The Netherlands.
- Turner SP, Ewen M, Rooke JA, Edwards SA. 2000. The effect of space allowance on performance, aggression and immune competence of growing pigs housed on straw deep-litter at different group sizes. *Livestock Production Science* 66, 47-55.
- Turner SP, Horgan GW, Edwards SA. 2003. Assessment of sub-grouping behaviour in pigs housed at different group sizes. *Applied Animal Behaviour Science* 83, 291-302.

- USDA. 2003. Economic and Structural Relationships in U.S. Hog Production. United States Department of Agriculture. Available in <http://www.ers.usda.gov/publications/aer-agricultural-economic-report/aer818.aspx>.
- van Heugten E, Schell TC, Risley CR, Valancius JA. 1997. Effects of pelleting and fat supplementation on growth performance of growing finishing pigs. *Journal of Animal Science* 75(Suppl.1), 194.
- Vermeer HM, Kuijken N, Spoolder HAM. 2009. Motivation for additional water use of growing-finishing pigs. *Livestock Production Science* 124, 112-118.
- Vico JP, Rol I, Garrido V, San Román B, Grilló MJ, Mainar-Jaime RC. 2011. Salmonellosis in finishing pigs in Spain: prevalence, antimicrobial agent susceptibilities, and risk factor analysis. *Journal of Food Protection* 74, 1070-1078.
- Vico JP and Mainar-Jaime RC. 2012. Serological survey of *Salmonella* spp. infection in finishing pigs from northeastern Spain and associated risk factors. *Spanish Journal of Agricultural Research* 10, 372-382.
- Villalba D. 2000. Construcción y utilización de un modelo estocástico para la simulación de estrategias de manejo invernal en rebaños de vacas nodrizas. *Tesis Doctoral*. Universitat de Lleida, Lleida, España.
- Xavier-Philippe F, Cabaraux JF, Nicks B. 2011. Ammonia emissions from pig houses: influencing factors and mitigation techniques. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141, 245-260.
- Walker N. 1990. A comparison of single- and multi-space feeders for growing pigs fed non-pelleted diets ad libitum. *Animal Feed Science and Technology* 30, 169-173.
- Wathes CM. 1994. Air and surface hygiene. In: *Livestock housing* (eds. Wathes CM and Charles DR). pp. 123-148, CAB International, Wallingford, UK.
- Wellock IJ, Emmans GC, Kyriazakis I. 2004. Describing and predicting potential growth in the pig. *Animal Science* 78, 379-388.
- White HM, Richert BT, Schinckel AP, Burgess JR, Donkin SS, Latour MA. 2008. Effects of temperature stress on growth performance and bacon quality in grow-finish pigs housed at two densities. *Journal of Animal Science* 86, 1789-1798.
- Whiting RC. 1997. Microbial database building: what have we learned? *Food Technology* 51, 82-87.
- Whittemore CT. 1983. Development of recommended energy and protein allowances for growing pigs. *Agricultural systems* 11, 159-186.

- Whittemore CT. 1986. An approach to pig growth modeling. *Journal of Animal Science* 63, 615-621.
- Wierup M. 2001. The Swedish experience of the 1986 year ban of antimicrobial growth promoters, with special reference to animal health, disease prevention, productivity, and usage of antimicrobials. *Microbial Drug Resistance* 7, 183-190.
- Wise T, Klindt J, Lunstra DD, Buonomo FC, Yen JT. 1996. Thymic, gonadal, and endocrine relationships in gilts and boars administered porcine somatotropin. *Journal of Animal Science* 74, 2992-3000.
- Wolter BF and Ellis M. 2002. Impact of large group sizes on growth performance in pigs in the USA. *Pig News and Information* 23, 17N-20N.
- Wolter BF, Ellis M, Corrigan BP, DeDecker JM, Curtis SE, Parr EN, Webel DM. 2003. Effect of restricted postweaning growth resulting from reduced floor and feeder-trough space on pig growth performance to slaughter weight in a wean-to-finish production system. *Journal of Animal Science* 81, 836-842.
- Yang JS, Lee JH, Ko TG, Kim TB, Chae BJ, Kim YY, Han IK. 2001. Effects of wet feeding of processed diets on performance, morphological changes in the small intestine and nutrient digestibility in weaned pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 14, 1308-1315.
- Yang JS, Jung HJ, Xuan ZN, Kim JH, Kim DS, Chae BJ, Han IK. 2002. Effects of feeding and processing methods of diets on performance, morphological changes in the small intestine and nutrient digestibility in growing-finishing pigs. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 14, 1450-1459.
- Yanga ST, Gardner IA, Hurd HS, Eernisse KA, Willeberg P. 1995. Management and demographic factors associated with seropositivity to transmissible gastroenteritis virus in US swine herds, 1989–1990. *Preventive Veterinary Medicine* 24, 213-228.
- Ye Z, Zhang G, Seo IH, Kai P, Saha CK, Wang C, Li B. 2009. Airflow characteristics at the surface of manure in a storage pit affected by ventilation rate, floor slat opening, and headspace height. *Biosystems Engineering* 104, 97-105.
- Yoosuk S, Ong HB, Roan SW, Morgan CA, Whittemore CT. 2011. A simulation model for predicting the voluntary feed intake of a growing pig. *Acta Agriculturae Scandinavica Section A* 61, 168-186.
- Young RJ and Lawrence AB. 1994. Feeding behaviour of pigs in groups monitored by a computerized feeding system. *Animal Production* 58, 145-152.

