

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Estación Experimental del Zaidín (EEZ)

Instituto de Nutrición Animal (INAN)

y

UNIVERSIDAD DE GRANADA

Facultad de Ciencias

**UTILIZACIÓN DE MINERALES Y
OTROS NUTRIENTES EN EL LECHÓN
IBÉRICO SOMETIDO A DISTINTO
MANEJO NUTRICIONAL DURANTE
LA LACTANCIA**

ROSA CASTELLANO PÉREZ

GRANADA, 2012

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: Rosa Castellano Pérez
D.L.: En trámite
ISBN: En trámite

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Estación Experimental del Zaidín (EEZ)

Instituto de Nutrición Animal (INAN)

y

UNIVERSIDAD DE GRANADA

Facultad de Ciencias

Tesis Doctoral presentada por

ROSA CASTELLANO PÉREZ

Realizada bajo la dirección de las doctoras

ISABEL SEIQUER GÓMEZ-PAVÓN

ROSA MARÍA NIETO LIÑÁN



Facultad de Ciencias
Universidad de Granada



Estación Experimental del Zaidín
Instituto de Nutrición Animal
(Granada)



Consejo Superior de
Investigaciones
Científicas

Las doctoras Isabel Seiquer Gómez-Pavón y Rosa María Nieto Liñán, Científico Titular e Investigador Científico, respectivamente, del *Instituto de Nutrición Animal (INAN)* de la Estación Experimental del Zaidín (Granada), Consejo Superior de Investigaciones Científicas,

INFORMAN:

Que la memoria titulada **“Utilización de minerales y otros nutrientes en el lechón Ibérico sometido a distinto manejo nutricional durante la lactancia”** presentada por Rosa Castellano Pérez para optar al grado de Doctor, ha sido realizada bajo su dirección y, considerándola acabada, autorizan su presentación para que sea juzgada por la comisión correspondiente.

Y para que así conste, firman en Granada, a 12 de julio de 2012.

Isabel Seiquer Gómez-Pavón

Rosa María Nieto Liñán

La realización de la presente Tesis Doctoral se ha llevado a cabo gracias a la concesión de una beca adscrita a un proyecto de excelencia concedido por la Junta de Andalucía (AGR-3078). El trabajo expuesto ha formado parte del proyecto ***“Determinación de las Necesidades minerales del Lechón Ibérico durante el periodo de lactancia. Implicaciones de la ingestión de algunos minerales en el estrés oxidativo”***.

La dirección de esta Memoria de Tesis Doctoral la han llevado a cabo las Doctoras Isabel Seiquer Gómez-Pavón y Rosa M^a Nieto Liñán, del Instituto de Nutrición Animal (INAN), de la Estación Experimental del Zaidín (Granada), del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Para su realización ha sido fundamental la inestimable colaboración de las empresas Sánchez Romero Carvajal Jabugo, S.A. (Sevilla) y Sucesores de Miguel Vílchez Riquelme, S.A. (Granada).

Los resultados preliminares de los ensayos que recoge la presente Tesis Doctoral han sido presentados en los siguientes congresos:

CASTELLANO, ROSA, HARO ANA, SEIQUER ISABEL, AGUINAGA ARANCHA, DELGADO-ANDRADE CRISTINA, NIETO, ROSA, AND AGUILERA JOSÉ F. Mineral body composition of suckling Iberian piglets reflects differences of milk composition due to environmental temperature. 7th International symposium on the mediterranean pig. Córdoba, 2010.

AGUINAGA ARANCHA, HARO ANA, CASTELLANO, ROSA, SEIQUER ISABEL, NIETO, ROSA AND AGUILERA JOSÉ. Nutrient composition of the Iberian sow's milk. Effect of environmental temperature. 60TH Annual meeting of the european association for animal production. Barcelona (Spain), 2009.

y, así mismo, forman parte de las siguientes publicaciones:

CASTELLANO, R., AGUINAGA, M.A., NIETO, R., AGUILERA J.F. AND SEIQUER, I. Utilization of milk minerals by the Iberian suckling piglet. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. En evaluación. Manuscript number:

CASTELLANO, R., AGUINAGA, M.A., NIETO, R., AGUILERA J.F., HARO, A AND SEIQUER, I. Effects of intermittent suckling on body composition of Iberian piglets weaned at 35-d of age. *J. Anim. Sci.* En evaluación. Manuscript number: E-2012-5336.

CASTELLANO, R., AGUINAGA, M.A., NIETO, R., AGUILERA J.F. AND SEIQUER, I. Changes in body content of iron, copper and zinc in Iberian suckling piglets under different nutritional managements. *Anim Feed Sci Technol*. En evaluación. Manuscript number: ANIFEE-12-4272.

A los hombres de mi vida

AGRADECIMIENTOS

Ha sido un largo camino hasta llegar a escribir estas líneas, por eso, gracias a todos y cada uno de los que habéis hecho posible el llegar hasta aquí.

En primer lugar, agradecerles a mis directoras de Tesis, Isabel Seiquer Gómez-Pavón y Rosa María Nieto Liñán, su esfuerzo, dedicación, apoyo, comprensión, ánimos y conocimientos, que me han aportado durante estos cuatro años de trabajo. Gracias Isa, por ser más que una jefa, por tu carácter tan optimista y alegre, por permitirme lanzarme al laboratorio para aprender y sacar miles de cosas adelante, por animarme en los últimos momentos y sobre todo, por comprender y apoyar mi situación tan especial con una sonrisa. A Rosa, miles de gracias por crear tiempo de la nada, por estar siempre dispuesta ante cualquier duda, por aportar ese punto de tranquilidad necesario cuando todo se complica y por ser ante todo más persona que jefa. No puedo dejar atrás a Pepe Aguilera, gracias por aportar una de las cosas más importantes a lo largo de este trabajo: siempre una sonrisa repleta de conocimientos y buenos consejos.

En segundo lugar, quiero agradecer a la empresa *Sánchez Romero Carvajal Jabugo, S.A. (Sevilla)*, por ceder sus instalaciones en la *Finca de Montecastilla* en la que he realizado mi trabajo experimental de Tesis. Agradezco igualmente, a la Junta de Andalucía por financiar mi trabajo de investigación mediante una beca asociada a un proyecto de excelencia.

Por otro lado, y para que no se me olvide nadie, quiero agradecer a todos los miembros (a los que aún están y a los que pasaron) del Instituto de Nutrición Animal (INAN) su ayuda, amistad y cariño durante todo este tiempo. En especial, a Ana Haro y Arancha, por vuestra implicación en este trabajo, por las muchas horas invertidas en él y en tantos otros que hemos compartido. A Juan Vera, por darme la bienvenida con una brocha y estar siempre disponible para arreglar cualquier desastre. A Rafa, por soportar las miles de llamadas en busca de respuestas, muchas veces obvias. A las chicas de las ocho de la mañana: M^ª Ángeles y Mari, por esos minutos arreglando el mundo entre risas, mil gracias. Y a las chicas de las nueve de la mañana, por ser más que compañeras de trabajo, por escucharme, ayudarme, cuidarme mientras tenía unos pocos kilos de más, por soportar cada ojera, cada mal día y siempre darme una palabra de apoyo, esas son mis chicas: Cristina, Irene, Rebeca, Rocio, Mamen y Raquel. Pero también gracias a mis chicos: Alex, por ser mineralex, por estar siempre para decirme

“Rosita que ya queda nada y lo estás haciendo muy bien”; a Migue, por “ya sabes, lo que necesites cuando lo necesites”; y a Roberto, gracias por el abrazo que me diste cuando lo necesitaba, pocos amigos están hasta ese nivel. A Pilar Navarro, porque nadie me dice como ella lo bicho que soy...y me encanta. A todos con los que he compartido laboratorio de cerquita: Esme, Triana, Jose M^a (y toda la gente de prácticas); y a todos aquellos con los que siempre nos acabamos encontrando y compartiendo buenos ratos: Eli, Mari Carmen, María Jesús, Tamara, Julia, Pablo, Leticia, Eva, Gonzalo, Lucre, Manolo..., gracias.

Gracias también, a la gente que me aceptó en sus laboratorios con los brazos abierto (Florence Gondret y Ted Elsasser), que a pesar de lo difícil de estar en otro país, la experiencia aportó grandes amigos como Stash, Eva, Brena y Joana.

Y como no, gracias a mi gente de fuera de estas paredes: la primera, a mi hermana, por cuidarme más que como una hermana mayor, por estar siempre y por esforzarse al máximo (te has ganado un lugar privilegiado en mi vida). A mi más que familia (Mamá, Anton y Loli), por la tranquilidad de saber que siempre estáis para lo que sea y cuando sea. A mi abuelo, por ser mi pilar, mi referente y mi padre (vas siempre conmigo). A mis chachotas (las dos Anas), por adoptarme como nieta y sobrina, y quererme como a tal. Y a mi ampliación de familia: Pili, Cristian, Loli, Ángel, Patro, Alex, Javi, y mis pequeñas (Lucía y Marta), gracias por formar parte de mi día a día. Y gracias también a mis niños, que ya sí que no lo son: Lucía y Álvaro, y a sus padres, Juanmi y Carmen, por hacer que pasara de ser la niñera a Rosa, parte de su familia. Gracias también, a la familia que se elige, a esos amigos que yo tengo la suerte de contarlos con un par de manos: Marta, Tony, Gloria, Víctor, Pili, Yolanda, Oscar, Covi, Carol, Marga, Carlos, Pablo, Pérez, Tati, Franci, Ana, Jose y como no a mis pequeñas no tan pequeñas: Blanca, Vera, Lucía y Cristina. Gracias por cada vez que os habéis preocupado por mí, por cada ánimo, cada risa y cada día compartido...es un placer y orgullo tener amigos como vosotros.

A Gustavo, qué decirte si tú escribiste un libro sólo para mí, que menos que un trozo de este sea sólo para ti, gracias.

Antes de terminar, no puedo olvidarme y agradecer a todos con los que comencé en este mundito en la Facultad de Ciencias (Nutrición Vegetal), sobre todo gracias Ana, aportaste y lo sigues haciendo, mucho a mi vida. Gracias Luismi, por la inmensa suerte de haber compartido un sueño y un trozo de vida juntos.

Gracias Alberto, por ser la persona que siempre va cogiéndome la mano y apretándola fuerte para que sepa que está en cada segundo conmigo. Gracias por tu sonrisa, por mantenerla siempre a pesar de los momentos tan difíciles que hemos pasado. Y mil millones de gracias por apoyarme, aconsejarme, y quererme por encima de todo. Gracias por ser mi Al.

Y por último gracias a mis pequeños, a mi Akiles (que nunca se separa de mi y su compañía felina hace que todo se relaje un poco) y a mi hijo, Álvaro, tenerte en mi vida es lo más increíble, maravilloso y cansado que he tenido, gracias por aparecer.

“El más bello sentimiento que uno puede experimentar es sentir el misterio. Esto es la fuente de todo arte verdadero, de toda verdadera ciencia. Aquel que nunca ha conocido esta emoción, que no posee el don de maravillarse ni de encantarse... sus ojos están cerrados...”

Albert Einstein (1879–1955)

PADRE DE LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

“Tenemos la inmensa oportunidad de *hacer y vivir* la investigación”

Luis Miguel Cervilla Medina (1981–2010)

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	34
CAPÍTULO 2 – REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	42
2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES Y SITUACIÓN ACTUAL DEL CERDO IBÉRICO	44
2.2. PERFIL METABÓLICO DEL CERDO IBÉRICO	50
2.3. FASES DE CRÍA DEL CERDO IBÉRICO	53
2.4. LA LACTANCIA	55
2.4.1. Manejo de los animales durante el periodo de lactancia	56
2.4.2. Sistemas de alimentación durante la lactancia	57
2.4.3. Alimentación en lechones	60
2.5. NUTRICIÓN MINERAL EN EL CERDO IBÉRICO	68
2.5.1 Calcio	69
2.5.1.1. Funciones	69
2.5.1.2. Necesidades	70
2.5.1.3. Deficiencias	71
2.5.1.4. Toxicidad	72
2.5.2. Fósforo	72
2.5.2.1. Funciones	73
2.5.2.2. Necesidades	74
2.5.2.3. Deficiencias	74
2.5.2.4. Toxicidad	75
2.5.3. Magnesio	75
2.5.3.1. Funciones	76
2.5.3.2. Necesidades	76
2.5.3.3. Deficiencias	77
2.5.3.4. Toxicidad	77
2.5.4. Hierro	78
2.5.4.1. Funciones	78
2.5.4.2. Necesidades	78
2.5.4.3. Deficiencias	79

2.5.5.4. Toxicidad	80
2.5.5. Cobre	81
2.5.5.1. Funciones	82
2.5.5.2. Necesidades	82
2.5.5.3. Deficiencias	83
2.5.5.4. Toxicidad	83
2.5.6. Cinc	84
2.5.6.1. Funciones	84
2.5.6.2. Necesidades	85
2.5.6.3. Deficiencias	86
2.5.6.4. Toxicidad	87
CAPÍTULO 3 – ASPECTOS METODOLÓGICOS	90
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL	93
3.1.1. Pesada de los animales	96
3.1.2. Cálculo de la ingesta de leche	97
3.1.3. Recolección y análisis de las muestras de leche	97
3.1.4. Cálculo de la ingesta de nutrientes de la leche	97
3.1.5. Cálculo de la ingesta de pienso de iniciación	98
3.2. COMPOSICIÓN CORPORAL Y RETENCIÓN DE NUTRIENTES Y ENERGÍA	101
3.3. TÉCNICAS ANALÍTICAS	106
3.3.1. Energía y macronutrientes	106
3.3.2. Minerales	107
CAPÍTULO 4 – UTILIZATION OF MILK MINERALS BY THE IBERIAN SUCKLING PIGLET	112
4.1. ABSTRACT	114
4.2. INTRODUCTION	115
4.3. MATERIALS AND METHODS	116

4.4. ANALYTICAL TECHNIQUES	118
4.5. STATICAL ANALYSIS	119
4.6. RESULTS AND DISCUSSION	120
4.7. LITERATURE CITED	126

CAPÍTULO 5 – EFFECTS OF INTERMITTENT SUCKLING ON BODY COMPOSITION OF IBERIAN PIGLETS WEANED AT 35-D OF AGE

	128
5.1. ABSTRACT	130
5.2. INTRODUCTION	132
5.3. MATERIALS AND METHODS	133
5.3.1. Animals and experimental design	134
5.3.2. Chemical analysis	135
5.3.3. Statistical analysis	136
5.4. RESULTS	137
5.4.1. Piglets and performance	137
5.4.2. Piglets body composition and retention of energy and nutrients	138
5.5. DISCUSSION	143
5.6. LITERATURE CITED	148

CAPÍTULO 6 – CHANGES IN BODY CONTENT OF IRON, COPPER AND ZINC IN IBERIAN SUCKLING PIGLETS UNDER DIFFERENT NUTRITIONAL MANAGERMENTS

	152
6.1. ABSTRACT	154
6.2. INTRODUCTION	156
6.3. MATERIALS AND METHODS	158
6.3.1. Animals and experimental design	158
6.3.2. Analytical techniques	159
6.3.3. Statistical analysis	160
6.4. RESULTS	162

6.4.1. Piglets and performance	162
6.4.2. Piglets body composition on Fe, Cu and Zn	163
6.4.3. Retention of Fe, Cu and Zn	160
6.5. DISCUSSION	166
6.5.1. Iron	167
6.5.2. Copper	169
6.5.3. Zinc	170
6.6. LITERATURE CITED	174
CAPÍTULO 7 – DISCUSIÓN GENERAL	180
7.1. COMPOSICIÓN DE LA LECHE DE CERDA IBÉRICA: FRACCIÓN MINERAL	183
7.2. COMPOSICIÓN MINERAL DE LOS LECHONES BAJO EL TRATAMIENTO DE LACTANCIA EXCLUSIVA	187
7.3. COMPOSICIÓN CORPORAL DE LOS LECHONES BAJO EL TRATAMIENTO DE INTERMITENCIA	194
7.4. COMPOSICIÓN EN MINERALES TRAZA DE LOS LECHONES BAJO TRATAMIENTOS DE LACTANCIA EXCLUSIVA, CONVENCIONAL Y DE INTERMITENCIA	195
7.4.1. Hierro	195
7.4.2. Cobre	196
7.4.3. Cinc	199
CAPÍTULO 8 – RESUMEN Y CONCLUSIONES	204
CAPÍTULO 9 – SUMMARY AND CONCLUSIONS	214
CAPÍTULO 10 – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	224

Abreviaturas utilizadas

Ca = calcio.

Cu = cobre.

Cd = cadmio.

EB = energía bruta.

ED = energía digestible.

E_g = energía de la grasa.

E_{gf} = energía de la grasa final.

E_{gi} = energía de la grasa inicial.

EM = energía metabolizable.

ER = retención de energía.

ER_G = retención de energía en forma de grasa.

ER_p = retención de energía en forma de proteína.

Fe = hierro.

ML = materia liofilizada.

Mg = magnesio.

Mn = manganeso.

MS = materia seca.

N = nitrógeno.

P = fósforo.

PB = proteína bruta.

PS = peso seco.

PV = peso vivo.

PVV = peso vivo vacío.

RD = Real Decreto.

S = azufre.

Si = silicio.

Zn = cinc.

CAPÍTULO 1

Introducción y Objetivos

Las diferencias existentes entre genotipos porcinos en ritmo de crecimiento, desarrollo de componentes orgánicos y tejidos, así como en composición corporal, adquieren su máxima expresión cuando la comparación se establece entre las razas seleccionadas para alcanzar ritmos elevados de crecimiento, formación de tejido magro y alta prolificidad y el cerdo Ibérico (Nieto et al., 2003; Barea et al., 2006; Conde-Aguilera et al., 2011a). Estas notables diferencias pueden explicarse, al menos en parte, por algunas peculiaridades fisiológicas o metabólicas de esta raza porcina autóctona descritas por nuestro grupo de investigación (Rivera-Ferre et al., 2006 y 2005; Fernández-Figares et al., 2007). Como consecuencia de ello, tienen lugar divergencias muy acusadas en sus necesidades nutritivas que, en consecuencia, deben ser establecidas específicamente para cada genotipo. En este sentido, nuestro grupo de investigación ha establecido recomendaciones de ingesta proteica y energética para el cerdo Ibérico en distintas fases de su vida productiva (Nieto et al., 2002; Barea et al., 2007; García-Valverde et al., 2008; Conde-Aguilera et al., 2011a).

Recientemente, hemos abordado el estudio del lechón Ibérico lactante al ser ésta una etapa decisiva en la vida del animal y sobre la que se tenía escasa información derivada de estudios sistemáticos. El peso alcanzado por el lechón al finalizar el periodo de lactancia es uno de los factores que determinan el crecimiento y posterior desarrollo del mismo; se ha demostrado que existe una relación inversa entre el peso obtenido al final de la lactancia, y el tiempo requerido para obtener un peso determinado en las siguientes fases (Mahan y Lepine, 1991; Lawlor y col., 2002).

Bajo condiciones similares de explotación, el crecimiento del lechón Ibérico durante la lactancia es menor que el observado para genotipos porcinos convencionales o magros (Buxadé y Daza, 2001). Entre los factores que influyen en la capacidad de crecimiento del lechón se encuentran el tamaño de la camada y el peso

al nacimiento. Existe una estrecha relación entre ambos, pues a mayor tamaño de camada menor será el peso de los neonatos (Milligan y col., 2002a). Sin embargo, ninguno de estos dos factores parecen estar relacionados con el menor crecimiento de los lechones Ibéricos lactantes: el tamaño de la camada en el genotipo Ibérico es más reducido que el observado en razas porcinas convencionales, oscila entre 6,5 y 7,5 lechones por camada (Laguna Sanz, 1998; Buxadé y Daza, 2001); y en cuanto al peso de los lechones neonatos, en la raza Ibérica, este parámetro oscila entre 1,3 y 1,4 kg (Buxadé y Daza, 2001; Barba y col., 2002), valores que no difieren sustancialmente de los observados para razas mejoradas, que se encuentran en el rango de 1,38 a 1,52 kg (Manners, 1963; Noblet y Etienne, 1986; Valros y col., 2002). Por lo tanto, el menor crecimiento del lechón ibérico debe atribuirse a otras causas, entre las que cabe considerar la capacidad de producción de leche de la madre o de crecimiento del lechón, o factores de origen nutricional, como menor ingesta de leche en términos absolutos, niveles inferiores de nutrientes en leche o una menor capacidad de utilización de los mismos.

En este sentido, estudios recientes realizados en nuestro grupo de investigación indican que aunque la producción de leche de la cerda ibérica es algo inferior a la descrita en la bibliografía para genotipos magros, la ingesta de leche por lechón es similar a la de los lechones de razas convencionales, ya que en el cerdo Ibérico el tamaño de camada es menor (Aguinaga et al., 2011a). Por lo tanto, la ingesta de leche no es un factor limitante para el crecimiento del lechón Ibérico. En estos estudios también se ha observado que el contenido en proteína y energía en la leche de cerda Ibérica se encuentra dentro del rango de valores descritos en la literatura para cerdas de razas convencionales, por lo que la ingesta diaria de nutrientes del lechón tampoco parece ser un factor limitante de su crecimiento. Sin embargo, se constató que los lechones Ibéricos requieren más leche por gramo de ganancia corporal, ya que las tasas de eficiencia de utilización de los nutrientes de la leche obtenidas en este genotipo fueron menores que las descritas para genotipos mejorados (Aguinaga et al., 2011a). La eficiencia total de utilización de la proteína de la leche de cerda Ibérica es entre un 20-28% inferior a las observadas en lechones lactantes de genotipos magros, lo que sugiere una capacidad de deposición proteica comparativamente inferior en el

lechón Ibérico, que limitaría el crecimiento de los tejidos, siendo His, Arg, Gly y Ala los aminoácidos más limitantes (Aguinaga et al., 2011b).

De los resultados obtenidos en estos experimentos se deduce que la baja tasa de crecimiento observada en el lechón Ibérico lactante, en comparación con lechones de razas magras o convencionales, no se justifica por una menor ingesta de leche o por un déficit comparativamente más elevado de los nutrientes que proporciona la misma, sino que es el resultado de su limitada capacidad de deposición proteica y de una baja eficiencia en el uso de la proteína y energía de la leche para su incorporación a los tejidos del animal.

Un aspecto no considerado en los estudios realizados sobre el lechón Ibérico lactante ha sido las características de la leche de cerda Ibérica en cuanto a su composición en minerales, así como la del lechón Ibérico al destete, y la eficiencia de utilización de los minerales presentes en la leche materna por el organismo del lactante. Si existen variaciones en estas características, el estudio de estos factores podría contribuir a establecer las necesidades nutricionales del lechón Ibérico durante este periodo, lo que sería de gran ayuda en la formulación de piensos de iniciación. De hecho, existen evidencias de que el metabolismo mineral en el cerdo Ibérico presenta aspectos diferenciados respecto al de cerdos de tipo convencional. En otros trabajos realizados en nuestro grupo de investigación, realizados en fases posteriores de desarrollo del animal, en el intervalo comprendido entre los 15 y 50 kg de peso vivo, hemos establecido que las necesidades de Ca y P del cerdo Ibérico en crecimiento son claramente inferiores a las definidas para genotipos porcinos magros (Nieto et al. 2008). Estos resultados pueden estar relacionados con el menor potencial de crecimiento y menor desarrollo del tejido óseo de esta raza, y de ellos se deriva que puede reducirse sustancialmente la presencia de dichos elementos en la dieta de estos animales, lo que resulta de particular importancia en el caso del P, dado el impacto que el vertido de este elemento causa sobre el medio ambiente.

Por otra parte, es conocido que el destete representa uno de los momentos más críticos en la vida productiva del lechón, al enfrentarse éste a una serie de nuevas

situaciones y cambios fisiológicos que pueden llegar a comprometer seriamente su supervivencia. En condiciones naturales, este proceso se produce de forma gradual entre las 12 y 17 semanas de edad (Mormède y Hay, 2003), de modo que tiene lugar una transición progresiva que permite al animal alcanzar un óptimo desarrollo enzimático e inmunológico del tracto gastrointestinal. En el cerdo Ibérico, cuando se llevan a cabo sistemas de producción intensiva, se acortan los tiempos de lactación para intentar llegar al destete a las cuatro semanas tras el parto (al igual que en el cerdo blanco), permitiéndose además, un mayor número de cubriciones por año. En el caso de producciones extensivas o semiextensivas, el destete se produce en torno a la sexta semana (40-45 días).

Existen estrategias de manejo que tratan de minimizar las consecuencias negativas de los cambios que ocurren tras el destete, como pueden ser el suministro de pienso de iniciación en la etapa previa al destete y el control sanitario de las nuevas instalaciones en las que los lechones serán alojados. Estas prácticas tratan de mitigar la reducción de la ingesta de nutrientes, la disminución en la tasa de crecimiento y la susceptibilidad a sufrir diarreas (Nabuurs, 1998), que con frecuencia se observan en los primeros días tras el destete. Una ingesta suficiente de dieta sólida durante el periodo de lactancia puede facilitar una transición más gradual al destete, favoreciendo la ingesta de alimento sólido tras la implantación del mismo, lo que puede contribuir al mantenimiento de la estructura del tejido intestinal (Nabuurs et al., 1993) y a la estimulación de la producción de enzimas para la digestión de hidratos de carbono complejos y proteínas, procedentes de los ingredientes no lácteos del pienso (Sloat et al., 1985). Sin embargo, el consumo de dieta sólida durante la lactación es normalmente bajo y altamente variable entre lechones y camadas (Aherne et al., 1982; Barnett et al., 1989; Appleby et al., 1992). Una forma de incrementar la ingesta de alimento sólido en este periodo es la práctica de la lactancia intermitente. Bajo esta denominación se conoce al procedimiento por el que se mantiene a los lechones separados de las madres durante un periodo de tiempo fijo a lo largo del día, en la segunda mitad de la lactación. La mayoría de los estudios describen que mediante este procedimiento aumenta de manera significativa la ingesta de pienso de iniciación de los lechones (Thompson et al., 1981; Kuller et al., 2004) aunque no siempre se han

obtenido resultados positivos sobre la ingesta de alimento tras su implantación. Se ha descrito, además, que la implantación de la lactancia intermitente puede tener efectos negativos sobre el peso de los lechones al destete (Kuller et al. 2004, 2007), ya que el déficit en la ingesta de leche que supone la separación de la madre no siempre llega a ser compensado con el incremento en la ingesta de pienso.

En la presente Tesis Doctoral se estudiará, por una parte, la utilización de la fracción mineral de la leche de cerda Ibérica cuando ésta constituye el único alimento del lechón. Se valorará, además, si la implantación progresiva del tiempo de restricción a la madre, practicada al final de un periodo de lactancia de 34 días de duración, afecta a la estimulación de la ingesta sólida y al rendimiento productivo de los lechones Ibéricos al destete. Específicamente se estudiará si esta práctica de manejo da lugar a diferencias en la composición corporal de los lechones al finalizar la lactancia, prestando especial atención a los elementos minerales. Sobre esta cuestión no se ha descrito ningún resultado en la bibliografía en relación a lechones de genotipo convencional ni Ibérico.

Dentro de este contexto, el objetivo general de esta Tesis Doctoral es el de aportar información sobre el metabolismo mineral del lechón Ibérico lactante y profundizar en el efecto que la práctica de la lactancia intermitente puede tener sobre el rendimiento productivo del lechón al destete.

Los objetivos concretos de esta Tesis Doctoral son:

- Determinar la composición en minerales (Ca, P y Mg) de la leche de cerda Ibérica y la de los lechones Ibéricos al destete alimentados exclusivamente con leche materna, así como la eficiencia de utilización de los minerales que aporta la misma por el organismo del lechón.
- Comprobar el efecto que la práctica de la lactancia intermitente, efectuada al final del periodo de lactancia, presenta sobre la ingesta de pienso de iniciación y el rendimiento productivo del lechón Ibérico al destete.

- Examinar el posible efecto de la lactancia intermitente sobre la composición corporal al destete y la retención de nutrientes en el organismo de lechón.
- Analizar la composición y la retención corporal de minerales traza (Fe, Cu y Zn) en lechones Ibéricos destetados a los 35 días de vida y sometidos a diferentes estrategias nutricionales: alimentación exclusiva con leche materna, lactancia convencional (con pienso de iniciación a partir del décimo quinto día de vida) y lactancia intermitente.

CAPÍTULO 2

Revisión bibliográfica

2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES Y SITUACIÓN ACTUAL DEL CERDO IBÉRICO

El cerdo Ibérico, raza Ibérica o también denominado tronco Ibérico, representa la población porcina autóctona que a principios del siglo XX ocupaba el centro y sur de la Península Ibérica (Laguna Sanz, 1998). La asociación AECERIBER (Asociación Española de Criadores de Ganado Porcino Selecto Ibérico Puro y Tronco Ibérico) engloba al cerdo Ibérico puro en una agrupación racial autóctona e integrada por variedades diferenciadas según el color de la capa (Diéguez Garbayo, 2001). Así mismo, el libro genealógico para la Raza Porcina Ibérica describe las principales características de las distintas estirpes de cerdo Ibérico, englobándolo en 5 variedades: Negro Lampiño, Torbiscal y Manchado de Jabugo como variedades en peligro de extinción, y Retinto y Entrepelado como variedades de fomento (R.D.2129/2008, de 27 de enero de 2009). De forma resumida, en el Esquema 1 se recogen las distintas estirpes de cerdo Ibérico, según sus características principales y origen (Rueda Sabater y Diéguez Garbayo, 2007).

Los animales experimentales utilizados en la presente Tesis doctoral pertenecen a la estirpe Silvela, actualmente la más extendida, concretamente a la variedad Retinta Extremeña, procedentes de la finca Montecastilla (Granada de Riotinto, Huelva), propiedad de la empresa Sánchez Romero Carvajal, Jabugo, S.A.

La explotación del cerdo Ibérico se limita tradicionalmente al suroeste de la Península Ibérica, en consonancia al ecosistema de la dehesa. La dehesa se caracteriza por la presencia de numerosas especies herbáceas y arbustivas, junto a varias especies arbóreas del género *Quercus* (*Quercus suber* y *Quercus ilex rotundifolia*, principalmente) distribuidas a baja densidad (Rueda Sabater y Diéguez Garbayo, 2007) siendo el resultado de la acción del hombre al realizar sus explotaciones ganaderas sobre el antiguo bosque mediterráneo. El cerdo Ibérico se distribuye principalmente

entre las Comunidades Autónomas de Extremadura y Andalucía fundamentalmente, y de forma minoritaria en las provincias limítrofes con éstas de Castilla y León y Castilla-La Mancha (Rueda Sabater y Diéguez Garbayo, 2007). En los últimos años se han sumado nuevas regiones a la producción del cerdo Ibérico, como Cataluña y Murcia, y otras regiones han aumentado considerablemente su número de cabezas de ganado porcino (Castilla-La Mancha, Castilla y León o Madrid). Así mismo, Andalucía ha ido incrementando su censo de Ibérico hasta situarse en cifras similares a las de Extremadura (comunidad con la mayor ganadería porcina Ibérica por excelencia).

Tipos		Características	Denominaciones	Lugar de origen
Variedades negras	Lampiñas	Poco evolucionado, alta deposición grasa, desarrollo corporal reducido	Del Guadiana o Guadyerbas	Vegas del Guadiana, Badajoz
			De la Serena o Campanario	Comarca de la Serena, Badajoz
			Portugués	Portugal
	Entrepelado	Escasez de pelo, conformación fina		Sierra de Córdoba
	Negro de Los Pedroches			Los Pedroches
Variedades Retintas	Extremeño	El más extendido, procedente de Montero de Espinosa	Silvela, Villalón, Valdesequera...	Extremadura
	Portugués		Caldeira	Portugal
Variedades Rubias	Dorado Gaditano	Color rojo anaranjado, extremidades finas, desarrollo lento, alta consanguinidad		Sur de Andalucía
	Cano campañés			Sur de Andalucía
	Rubio o dorado Alentejano		Ervideira	Alentejo
	Alourada			Alentejo
Manchado de Jabugo	Fondo Blanco sucio	En peligro de extinción, manchas blanquecinas y negras		Sierra de Huelva
	Fondo Retinto			
Torbiscal		Fusión de 4 soleras: Caldeira, Ervideira Guadyerbas y Campanario, veteadado blanquecino de pezuñas, buen crecimiento y conformación		Toledo

Estirpes de cerdo Ibérico (Rueda Sabater y Diéguez Garbayo, 2007)

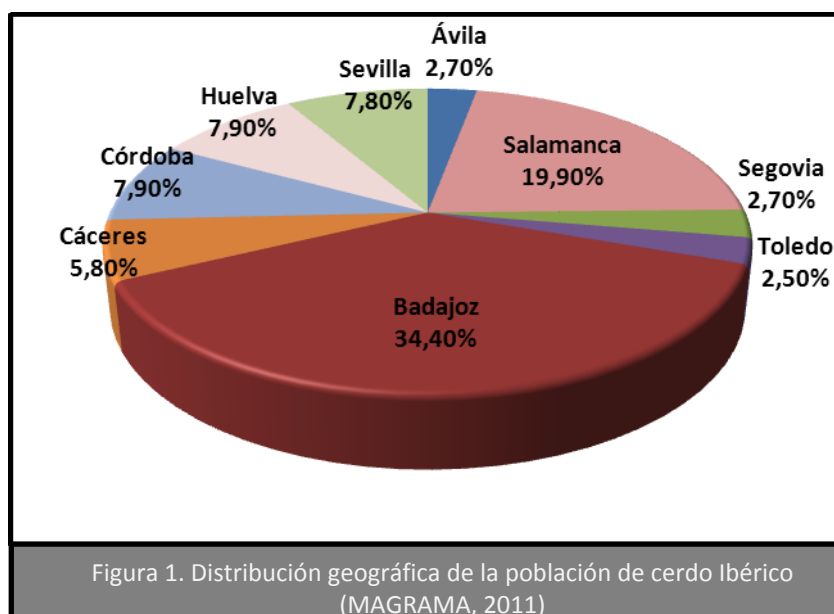
El censo de cerdo Ibérico ha evolucionado de una forma muy desigual en los últimos 50 años, pasando de un auge en el sector en la década de los 50 (siendo en ese momento el ganado porcino Ibérico el 40% del total del censo porcino (García Valverde, 2007), a una profunda crisis en la década de los 60, debida a diversos factores socioeconómicos y sanitarios (Peste Porcina Africana, cambios de gusto en el consumidor, introducción de razas foráneas y cruzamiento indiscriminado con la raza Duroc (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola (INEA), 2002) con la casi total desaparición de la raza y extinción de algunas estirpes y variedades. Es a partir de la década de los 90 cuando se produce una recuperación definitiva de la raza y un aumento en la rentabilidad de sus producciones, favorecido todo ello por diversos factores como (Buxadé y Daza, 2001):

- la desaparición de la Peste Porcina Africana.
- la mayor valoración social de los productos curados del cerdo Ibérico.
- el creciente interés en fomentar la producción agropecuaria extensiva con el fin de preservar determinados ecosistemas.

En el periodo comprendido entre 1994-2004, el censo porcino extensivo en España se duplicó, pasando de 1,10 a 2,36 millones de ejemplares y llegando a los 2,96 millones en el 2007 (MARM, 2010), lo que suponía un 11% del censo porcino total en España. Esta situación vuelve a cambiar a partir del 2008, cuantificándose hasta el año 2010 una pérdida de producción en el sector del 37,49%, la más acusada de las últimas décadas. Las causas del importante descenso debemos buscarlas principalmente en la actual crisis global, la cual ha derivado en una falta de demanda de productos de alta calidad, afectándose de una forma casi exclusiva y drástica las producciones extensivas de la dehesa, las cuales poseen poca capacidad de respuesta ante la rápida bajada de la demanda en dicho sector (Diéguez Garbayo, 2011).

Según la información proporcionada por la Subdirección General de Estadística del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA, 2011)

correspondiente al mes de mayo de 2011, el censo porcino Ibérico cuenta con un total de 2.412.056 ejemplares, de los cuales el 70% se reparten entre las comunidades autónomas de Andalucía y Extremadura (con 716.903 y 970.028 animales, respectivamente). Por provincias, destacan el 34% y 20% (829.141 y 478.977 ejemplares, respectivamente) de Badajoz y Salamanca; mientras que en Andalucía las provincias de Córdoba, Huelva y Sevilla aportan en torno a los 190.000 ejemplares cada una (un 24% del censo porcino Ibérico nacional) (Figura 1).



Nos encontramos actualmente frente a una leve mejoría del sector, puesto que según datos proporcionados por el MAGRAMA correspondiente a mayo del 2011, el sector Ibérico pasa del 7,24% en 2010 al 8,61% en 2011 respecto al total del sector porcino, aportando la etapa de cebo el mayor incremento (del 6,75% en 2010 al 16,55% en 2011), aunque las producciones extensivas de bellota y recebo de las campañas 2010/2011 frente a la de 2009/2010 presentaron un descenso general del 32,23%. Este leve aumento en la producción de cerdo Ibérico puede ser el reflejo de una recuperación y modificación de los mercados, adaptándose a las preferencias y presupuestos del consumidor, el cual demanda productos de calidades intermedias entre la canal de cerdo blanco y la de cerdo Ibérico producido en montanera. Una opción que permite atender esta nueva demanda diversificada del mercado consiste

en ampliar la gama de calidades del genotipo Ibérico. De este modo, se pasa de obtener un tipo de producto único, procedente del cerdo Ibérico terminado con alimentos exclusivamente de la montanera, a conseguir cuatro tipos de productos (de bellota, recebo, cebo de campo y cebo), en función de la alimentación que reciba el animal antes de su sacrificio (Norma de Calidad del cerdo Ibérico RD 1469/2007). Ese impulso del sector, también se vio favorecido gracias a la implantación del modelo intensivo (con instalaciones especializadas para cada fase de crecimiento), pudiendo así reducir la producción estacional y limitar la etapa inicial de producción a 25 kg de peso vivo (PV). Por otra parte, las próximas modificaciones que la vigente Norma de Calidad podría sufrir, van encaminadas a reducir las cuatro denominaciones anteriores a sólo dos: de bellota y de cebo, con el fin de evitar en lo posible la confusión que en el consumidor puede generar un excesivo número de denominaciones para los productos derivados del cerdo Ibérico (www.3tres3iberico.com).

La Asociación de Industrias de la Carne del sector Ibérico (IBERAICE), sitúa las exportaciones de jamones Ibéricos en torno al 10% del volumen total de exportaciones de jamones realizadas desde España. La mayor parte de productos Ibéricos comercializados en España son jamones y paletas. En concreto, el jamón es el producto derivado del cerdo Ibérico más importante por volumen de consumo (más del 51%) y gasto (casi el 60% del valor de las ventas), siguiéndole en nivel de importancia comercial la paleta. El jamón Ibérico es un producto que goza de gran demanda en el mercado, con una imagen de máxima calidad, llegando a representar en diciembre de 2011 (MAGRAMA) un valor de ventas de 110,630 millones de euros, siendo superior al valor de ventas del jamón de cerdo blanco (101,696 millones de euros). En el caso de las paletas Ibéricas también encontramos que representan más del doble del valor de las paletas normales (27,277 y 11,669 millones de euros respectivamente).

Según datos del MAGRAMA, en el año 2010 se produjeron en España 4,65 millones de piezas de jamón Ibérico. Los principales productores son Castilla y León, con un 46% del total de la producción, seguido de Andalucía, con un 21% y Extremadura con un 18%. De la producción total de jamones Ibéricos, la mayor parte fueron jamones Ibéricos de cebo (77%) y tan sólo un 20% fueron jamones Ibéricos de bellota.

Así mismo, hay que destacar la importancia del sector porcino español en Europa, situándose en segundo lugar en número de ganado porcino sacrificado (16,2%, MARM, 2011), siendo superada únicamente por Alemania. No podemos olvidar la importancia de la actual crisis económica y su efecto sobre la ya delicada situación del sector porcino, y su efecto sobre la exportación de los diferentes productos derivados del cerdo. Por ello, para evitar en lo posible dicha repercusión y encontrar una vía de recuperación del sector, las diversas asociaciones de productores de cerdo Ibérico proponen fomentar la expansión a diferentes mercados valiéndose de la buena aceptación y alta calidad de los productos Ibéricos.

PERFIL METABÓLICO DEL CERDO IBÉRICO

El genotipo Ibérico se caracteriza por una deposición de proteína comparativamente menor y una deposición de grasa superior a las observadas en cerdos de razas convencionales o mejoradas, altamente seleccionadas para alcanzar ritmos elevados de crecimiento y de deposición de proteína (Nieto et al., 2002; Barea et al., 2007; Garcia-Valverde et al., 2008; Conde-Aguilera et al., 2011a). Por ello, podemos decir que el cerdo Ibérico posee un marcado perfil lipogénico y una limitada capacidad de crecimiento, definidos por su genotipo.

A pesar de los estudios realizados, gran parte de ellos en nuestro grupo de investigación, la información existente respecto a las características metabólicas del cerdo Ibérico es bastante reciente y limitada, a pesar de su importancia dentro del sector porcino nacional. Podemos establecer las siguientes características metabólicas, observadas en distintas fases productivas del cerdo Ibérico (Conde-Aguilera, 2010):

- Una alta proporción relativa de deposición lipídica en detrimento de la formación de tejido magro.
- Necesidades energéticas para mantenimiento ligeramente inferiores a los valores descritos para razas de tipo mejorado, o seleccionadas para un rápido crecimiento corporal y deposición de tejido magro.
- Eficiencia de utilización de la energía metabolizable (EM) para el crecimiento, la deposición de proteína y grasa inferiores a los valores descritos para razas convencionales.

Una de las técnicas más utilizadas en la determinación de la retención de proteína corporal son los ensayos de balance de nitrógeno (N), gracias a los cuales y mediante diversos estudios, nuestro grupo de investigación ha podido determinar la deposición proteica en cerdos de baja selección genética. Rivera-Ferre et al. (2006), en cerdas Ibéricas y Landrace de PV próximo a los 25 Kg, observaron que en el genotipo Ibérico la retención de N era significativamente inferior, particularmente cuando se le ofreció una ración con un contenido en proteína que excedía sus necesidades, cuyo consumo condujo a una pérdida importante de eficiencia metabólica. Los resultados

obtenidos en ensayos de alimentación y sacrificio comparado realizados en cerdos Ibéricos en crecimiento (Nieto et al., 2002; Conde-Aguilera et al., 2011b), crecimiento-cebo (Barea et al., 2007) y acabado (García-Valverde et al., 2008) corroboran esta baja capacidad del cerdo Ibérico para la deposición de proteína.

Los procesos de síntesis y degradación de proteína que se producen en el organismo de forma continua resultan en el proceso global de deposición proteica que, en la raza Ibérica, presenta un valor más reducido en comparación con el de razas mejoradas, como ya hemos comentado. Las elevadas tasas de renovación proteica muscular detectadas en el cerdo Ibérico junto con el mayor tamaño relativo de los tejidos viscerales, cuya actividad metabólica es muy elevada, contribuirían a explicar, al menos en parte, las bajas eficiencias de utilización de la proteína y de la energía observadas en esta raza cuando se la compara con razas porcinas convencionales o mejoradas (Rivera-Ferre et al., 2005).

Así mismo, sobre el proceso de síntesis de proteína inciden factores de tipo nutricional y hormonal, que pueden actuar de forma independiente o conjunta. Fernández-Figares et al. (2007) observaron claras diferencias en el perfil hormonal al comparar cerdas Ibéricas y Landrace, de PV similar (25 Kg) y sometidas a idéntico régimen nutricional. Las cerdas Ibéricas mostraron niveles séricos significativamente superiores de insulina, factor de crecimiento similar a la insulina (IGF-I) y leptina, junto con una tendencia hacia niveles inferiores de hormona del crecimiento en comparación con las Landrace. El hecho de encontrar niveles de leptina más elevados en la raza Ibérica podría estar relacionado con su mayor adiposidad, ya que esta hormona se sintetiza en los adipocitos. De los metabolitos que estudiaron, los únicos que presentaron diferencias en sus concentraciones en suero imputables al genotipo fueron la glucosa y la creatinina, que alcanzaron niveles 8 y 46% superiores en la raza Landrace, lo que parece lógico ya que la mayor concentración de insulina en la sangre del Ibérico tendería a reducir su nivel de glucemia. Por otro lado, la creatinina, relacionada con el uso de energía en la contracción muscular, aumenta su concentración con la masa muscular lo que explicaría que dicha concentración fuese inferior en el cerdo Ibérico, que presenta menor desarrollo de tejido magro que el genotipo Landrace.

Para obtener una mayor productividad y por tanto una mayor rentabilidad, es necesario que los animales reciban la alimentación adecuada en cada una de las fases de su desarrollo. Tradicionalmente, dicha alimentación se ha realizado mediante la formulación de mezclas compuestas basadas en recomendaciones publicadas para cerdos de razas convencionales o mejoradas, cuyos requerimientos nutricionales son bien conocidos (NRC, 1998; BSAS, 2003; FEDNA, 2006). Si tenemos en cuenta el singular perfil metabólico de la raza Ibérica, parece fundamental aumentar el conocimiento sobre sus necesidades nutritivas para poder realizar una explotación eficiente y compatible con criterios rigurosos de sostenibilidad en el uso de los recursos, protección ambiental y bienestar animal. Así mismo, resultaría de gran interés tanto por sus efectos nutricionales (máxima eficiencia en el uso de nutrientes, mayor velocidad de crecimiento, óptimo desarrollo y conformación del animal, etc.), de gran impacto económico, como ecológicos (con la reducción de la contaminación ambiental).

2.2. FASES DE CRÍA DEL CERDO IBÉRICO

La producción de cerdo Ibérico distingue diferentes fases con necesidades de manejo variables y bien diferenciadas por el mercado, resumidas en la siguiente tabla (Aguinaga, 2010):

FASES	DENOMINACIÓN	PESO APROXIMADO (KG)		EDAD APROXIMADA
LACTACIÓN (NACIMIENTO-DESTETE)	LECHÓN	LACTANTE	de 1,2 a 7	hasta 25-30 días
CRÍA (DESETETE-RECRÍA)		DESTETADO	de 7 a 25	de 1 a 3 meses
RECRÍA (RECRÍA-CEBO)	MARRANO	de 25 a 65		de 3 a 6-7 meses
	PRIMAL	de 65 a 100		de 6-7 a 8-9 meses
CEBO (CEBO-SACRIFICIO)	GORDO	>de 100		>de 9 meses

El primer periodo de vida del animal es la fase de lactación, y comprende desde el momento del nacimiento hasta los 7 kg aproximadamente, lo que supone un periodo de lactancia de aproximadamente un mes. La dieta inicial es la leche materna, independientemente de que se ponga en práctica un destete precoz o no. Pasados los primeros días de vida, es conveniente poner a disposición de los lechones un pienso de iniciación que irán ingiriendo paulatinamente. Una vez que los cerdos se destetan, comienza la etapa de crecimiento que se divide a su vez en dos periodos:

- 1 Cría: periodo que engloba desde el nacimiento hasta los 25 kg o aproximadamente 2 arrobas de PV.
- 2 Recría: comprende el periodo de recría desde los 25 a los 60 kg de PV aproximadamente, y el de preacabado, desde los 60 a los 100 kg de PV.

La fase más importante y más influyente en cuanto a la composición y calidad de los productos del cerdo Ibérico es la de cebo, entre los 100 y los 160 kg de PV. La edad media de sacrificio se sitúa a los 10 meses, según indica la Norma de Calidad (RD 1469/2007).

El manejo del ciclo reproductor de la cerda Ibérica se denomina con el término de “banda” y viene determinado por 3 ciclos cuya duración global es de 149 días. El concepto de banda consiste en dividir el colectivo reproductor en grupos homogéneos, agrupando tareas que van a desarrollarse en semanas independientes, por ejemplo, una semana las cubriciones, otra los partos, en la siguiente los destetes y movimientos de recría y cebo (Martínez-Almela, 2006). Los 3 ciclos corresponden con:

- Intervalo destete-celo: de 7 días.
- Gestación: de 113,6 días como media.
- Lactación: con una duración recomendada de 28 días.

2.3. LA LACTANCIA

2.3.1. Manejo de los animales durante el periodo de lactancia

El periodo de la lactancia representa uno de los momentos más críticos en la vida del animal, ya que debe afrontar una serie de situaciones y cambios fisiológicos que pueden llegar a comprometer seriamente su supervivencia. Es en esta fase cuando la tasa de mortalidad es más elevada y puede suponer, desde un punto de vista productivo, entre un 10-20% de los costes totales de la explotación. La mayor parte de la mortalidad (70-80%) ocurre en los primeros días de vida y se encuentra relacionada con diversos factores que intervienen en la vitalidad del lechón: la hipoxia en el momento del parto, factores fisiológicos internos del lechón (concentración de hormonas, minerales, ácidos grasos) y el peso al nacimiento (e indirectamente el tamaño de la camada).

Debemos tener en cuenta que el lechón debe competir con sus hermanos a la hora de evitar aplastamientos (principal causa de mortalidad en los primeros días de vida), necesitando para ello una máxima vitalidad, importante también a la hora de proporcionar el estímulo adecuado para mantener la lactación (Chapinal et al., 2006). Por otro lado, el sistema inmunitario del lechón no se encuentra desarrollado al nacimiento ya que la inmunidad se adquiere a través del calostro, por ello, infecciones del cordón umbilical pueden derivar en una septicemia generalizada que puede terminar en la muerte del lechón. Así mismo, son más susceptibles a sufrir infecciones causadas por organismos patógenos entéricos, que provocan diarreas, creándose un importante problema en toda la explotación, además de acarrear la muerte del lechón si no se trata de manera adecuada.

Problemas como el canibalismo entre los lechones cuando el espacio es insuficiente, el peso de la camada heterogéneo o las temperaturas de las salas, pueden también aumentar la tasa de mortalidad en el lechón. Por todo ello, mediante un manejo adecuado se pueden minimizar los efectos así como aumentar tanto la supervivencia y el bienestar del lechón (con el consecuente aumento de los índices

productivos de la explotación). Entre las prácticas de manejo más comunes destacan (Pérez, 2009):

- *Inyección de hierro*: la leche de cerda provee agua, energía, proteína y minerales esenciales, pero no contiene suficiente Fe para mantener las concentraciones adecuadas de hemoglobina en la sangre de los lechones. Las necesidades de Fe en el lechón son de 7 mg/día, aportándole la leche materna sólo 1 mg/día, por lo que para evitar la anemia en el lechón es necesario suministrarles Fe vía intramuscular a los dos o tres días del nacimiento.

- *Mantenimiento de la temperatura*: debido a la incapacidad del lechón para regular su temperatura corporal (carece de grasa parda) y la escasez de pelo y de tejido adiposo subcutáneo, presenta en el momento del nacimiento un intervalo de neutralidad térmica muy estrecho, con una temperatura crítica inferior muy alta, de aproximadamente 32-35°C. Para evitar que el lechón tenga que utilizar energía adicional para mantenerse caliente (comprometiendo su crecimiento y poniendo en peligro su vida), es necesario que durante sus primeros días se les proporcione una fuente de calor extra, bien con lámparas o placas calefactoras, a las que se les irá disminuyendo la temperatura progresivamente a medida que avance el periodo de lactación.

- *Corte de colmillos*: los lechones nacen con ocho dientes totalmente emergidos que utilizan para competir por los pezones. Es conveniente realizar el corte de los colmillos de modo que no dañen los pezones de la madre.

- *Suministro de pienso de adaptación*: durante aproximadamente las dos primeras semanas de vida y debido a la inmadurez de su tracto digestivo, el lechón sólo ingiere las proteínas de la leche, lactosa, glucosa y grasa. A partir de la tercera semana del periodo de lactación se produce un cambio enzimático progresivo que le permite utilizar los nutrientes de los vegetales y asimilar almidones y otras proteínas. Teniendo en cuenta que la producción láctea comienza a disminuir a partir de la tercera semana de lactación, es conveniente acostumbrar al lechón a consumir

alimentos sólidos para incentivar en el aparato digestivo la producción de enzimas que actúen sobre nutrientes diferentes a los que aporta la leche. Los diferentes manejos en el sistema de alimentación de los lechones, así como las características del mismo, se abordan de una forma amplia a lo largo de la presente Tesis Doctoral.

- *Transferencia de lechones entre camadas*: es importante igualar la camada en función del tamaño de los lechones y de la capacidad lechera de la cerda. Las camadas homogéneas y con un número no superior a los pezones de la madre alcanzarán una mayor tasa de supervivencia en los primeros días de vida. Es recomendable realizar las adopciones durante las primeras 24 horas de vida, aumentándose de esta forma considerablemente su eficacia y disminuyendo los factores estresantes.

- *Castración de los lechones*: los lechones machos que no se vayan a destinar a reproductores deben ser castrados a una edad temprana para evitar el olor sexual que aparece en la pubertad y en cumplimiento a la Normativa Europea de Bienestar Animal.

Otras técnicas de manejo que mejoran la supervivencia de los lechones, tales como el corte de cola, colocación de los lechones al mamar, crianza de lechones con alimento artificial, etc., no serán ampliadas en la presente Tesis Doctoral al alejarse del tema principal de la misma.

2.3.2. Sistemas de alimentación durante la lactancia

El destete representa otro de los momentos críticos en la vida productiva del lechón. En condiciones naturales, este proceso se produce de forma gradual entre las 12 y 17 semanas de edad (Mormède y Hay, 2003), de modo que tiene lugar una transición progresiva que permite al animal alcanzar un óptimo desarrollo enzimático e inmune del tracto gastrointestinal. En el cerdo Ibérico, cuando se llevan a cabo sistemas de producción intensiva, se acortan los tiempos de lactación para intentar llegar al destete a las cuatro semanas tras el parto (al igual que en el cerdo blanco),

permitiéndose además, un mayor número de cubriciones por año. En el caso de producciones extensivas o semiextensivas, el destete se produce en torno a la sexta semana (40-45 días). En cualquier caso, el lechón se enfrenta bruscamente a una serie de nuevas situaciones (Buxadé y Daza, 2001):

- Cambio a una dieta sólida y menos apetente: lo que hace que el lechón ingiera menos pienso, y se produzca una pérdida de las reservas corporales (sobre todo grasa).
- Bache enzimático-inmunológico: se destruyen los enterocitos intestinales y no vuelven a formarse hasta pasadas 1-2 semanas después del destete, lo que supone un periodo crítico en cuanto a la utilización de los nutrientes y riesgo de diarreas.
- Nuevas situaciones de estrés y confort ambiental: como son la mezcla con lechones de otras camadas, cambios en el ambiente, transporte, nuevas situaciones inmunológicas, etc. (Puppe et al., 1997; Merlot et al., 2004), que pueden llevar a insuficiencias fisiológicas diversas.

Por todo ello, existen estrategias de manejo que tratan de minimizar las consecuencias de los cambios que ocurren en el destete, como puede ser un suministro de pienso de iniciación, control sanitario de las nuevas instalaciones en las que los lechones serán alojados, etc. Estos manejos tratan de conseguir mitigar la reducción de la ingesta de nutrientes, la disminución en la tasa de crecimiento y la susceptibilidad a sufrir diarreas (Nabuurs, 1998) durante los días sucesivos al destete. La ingesta suficiente de dieta sólida durante el periodo de lactancia favorece un paso más gradual al destete y puede reducir los desordenes del post-destete (English, 1980). Sin embargo, el consumo de dieta sólida durante la lactación es normalmente bajo y altamente variable entre lechones y camadas (Aherne et al., 1982; Barnett et al., 1989; Appleby et al., 1992).

En diversos estudios (Kuller et al., 2004; Berkeveld et al., 2007b) se ha observado que impedir el acceso del lechón a la madre durante algunas horas al día puede

estimular el consumo de alimento sólido. Esta práctica de manejo, denominada lactancia intermitente, puede llegar a duplicar la ingesta de pienso (Thompson et al., 1981; Kuller et al., 2004). Se ha llevado a cabo con lactaciones prolongadas (35 días o más) o con sistemas más intensificados, y periodos de restricción variable, pero siempre en genotipos porcinos convencionales o mejorados (Kuller et al., 2004; Thyman et al., 2007) no existiendo estudios de intermitencia en la raza Ibérica, excepto el llevado a cabo por nuestro grupo de investigación (Gómez-Carballar et al., 2009).

El periodo de separación de la madre al que se pueden someter a los lechones en la lactancia intermitente es muy variable y podemos encontrar desde periodos cortos de 3 a 6 horas al día (Newton et al., 1987; Thyman et al., 2007) a periodos intensivos de intermitencia de hasta 12 horas al día de separación (Berkeveld et al., 2007b; Kuller et al., 2007), todo ello en comparación con el sistema de lactancia exclusiva, en la que el lechón tiene acceso exclusivo a la madre de una forma continuada. En sistemas tradicionales, los lechones se encuentran en lugares controlados siempre por las cerdas, combinados con un área comunal de lechones donde pueden pasar más del 40% de su tiempo, por lo que llegan a tener una gran ingesta de alimento previa al destete y una baja frecuencia de lactación (Pajor et al., 2002). Por lo tanto, mediante los sistemas de intermitencia en la lactancia se pretende reproducir las condiciones naturales en las que el lechón emplearía un periodo de tiempo más corto para la lactancia y mayor tiempo para explorar el ambiente que le rodea (Berkeveld et al., 2007a) posibilitándole una mejor adaptación al destete.

Asimismo, es importante también la edad a la que se produce el destete ya que se ha observado que realizar el destete a los 33 días, unido a una semana de lactancia en intermitencia, mejora considerablemente el efecto de dicha intermitencia en el lechón (Berkeveld et al., 2009).

A pesar del aumento en el consumo de dieta sólida durante la lactación debido a la lactancia intermitente (Kuller et al., 2004; 2007), se ha observado que, si los lechones son separados drásticamente de la madre durante largos periodos (12 horas), el efecto sobre la ganancia diaria de peso y, por tanto, sobre el peso del lechón al destete, es negativo (Kuller et al., 2004; 2007). En estos casos, al parecer, los lechones no son

capaces de compensar el déficit en la ingesta de leche que supone la imposición de un periodo tan largo de separación de la madre, cosa que no ocurre si el tiempo de separación es más corto (6 horas) (Newton et al., 1987). El descenso de peso predestete producido por la lactancia intermitente suele ser compensado por mayores ganancias en el periodo inmediato al destete (Kuller et al., 2007) sin encontrarse comportamientos que indiquen la aparición de estrés por la separación de la madre (Berkeveld et al., 2007a). También se ha observado una disminución del estrés metabólico en las cerdas al disminuirse los periodos de succión de los lechones, pudiendo además adelantarse los ciclos de ovulación y monta de las cerdas (Kuller et al., 2004).

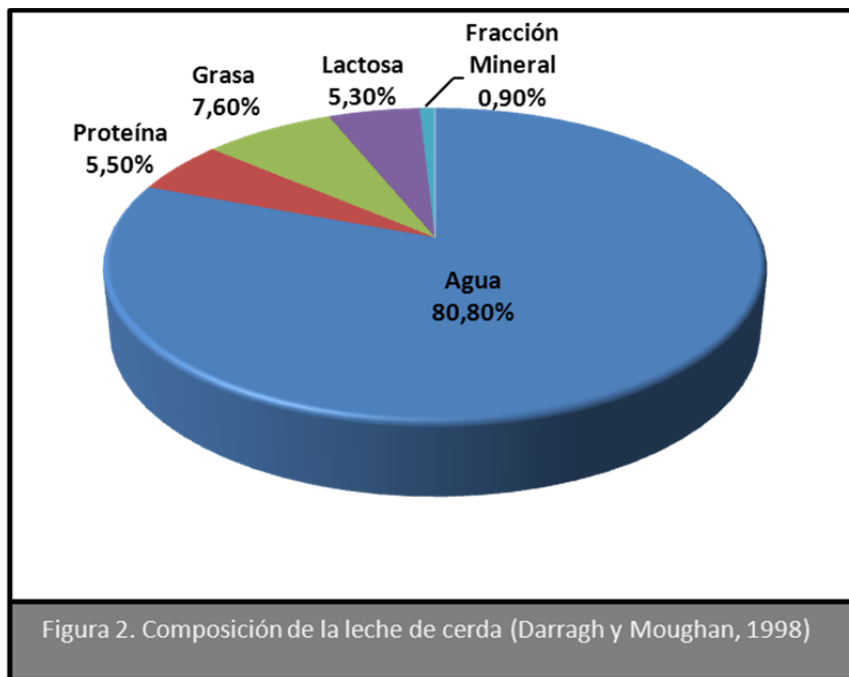
Uno de los objetivos del presente trabajo de Tesis es el estudio de la aplicación de la lactancia intermitente en el lechón Ibérico, investigando sus posibles efectos sobre la retención de nutrientes del lechón y su posible utilidad para reducir el estrés nutricional del destete, facilitar la transición hacia la alimentación sólida y atenuar los trastornos inmediatos al post-destete.

En nuestro estudio realizamos una intermitencia progresiva, en la que el periodo de separación entre el lechón y la madre va aumentando diariamente de manera paulatina, buscando de esta forma, una mejor adaptación a los cambios asociados al inicio de la alimentación sólida, y con ello un mayor éxito en el difícil proceso del destete.

2.3.3. Alimentación en lechones

La leche (y el calostro) es esencial para la supervivencia y crecimiento del lechón recién nacido, por ser el único alimento que se adecua a sus condiciones fisiológicas y metabólicas. La leche aporta un elevado nivel de nutrientes altamente disponibles y numerosos factores de protección frente a infecciones (inmunoglobulinas) (Buxadé y Daza, 2001). Durante los primeros días de lactación el calostro tiene mayor contenido en sustancia seca y proteína (de las cuales la mayoría es IgG), y sin embargo, menos grasa y lactosa que la leche normal. A medida que avanza el periodo de lactación el

contenido en IgA aumenta, llegando a constituir el 40% del total de proteínas del suero. Tras el periodo de ingesta de calostro la concentración de grasa y lactosa en la leche aumenta (ya que los lechones nacen con un escaso contenido en grasa), mientras que la sustancia seca se mantiene constante debido a la disminución del contenido proteico (Klobasa et al., 1987). De los constituyentes de la leche de cerda (Figura 2), la grasa es el que más contribuye a su entalpía de combustión (energía bruta), seguida de la proteína, y por último, de los carbohidratos (mayoritariamente lactosa) (Darragh y Moughan, 1998).



La composición de la leche varía entre las distintas razas porcinas conocidas en función de las necesidades concretas del lechón de esa raza (Alston-Mills et al., 2000). La mayoría de datos relativos a composición de leche de los que se dispone proceden de estudios realizados en animales de razas convencionales o mejoradas, y recientemente, gracias a estudios realizados en nuestro departamento, podemos conocer también la composición de la leche de cerda Ibérica (Aguinaga et al., 2011a), aunque se carece, hasta el momento, de datos sobre la composición de la fracción mineral.

El contenido en proteína y energía en la leche de cerda Ibérica se encuentra dentro del rango de valores descritos en la literatura para razas de cerdas convencionales (Klobasa et al., 1987; Atwood y Hartmann, 1992) y se observa, un aumento significativo en el contenido de grasa, sólidos totales y energía desde el inicio del periodo de lactancia hasta el final del mismo (Aguinaga et al., 2011a).

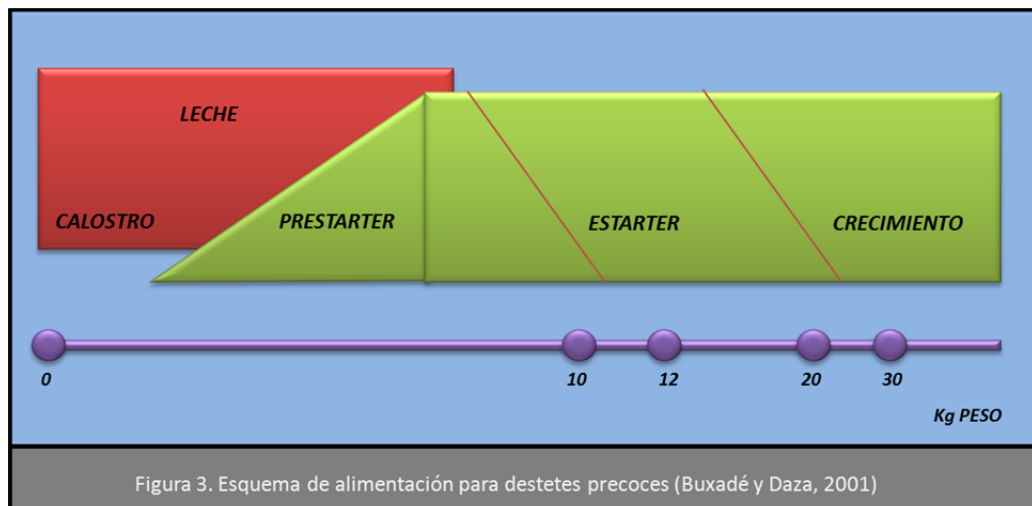
Por otro lado, aunque son numerosos los factores que afectan la producción y composición de la leche de la cerda (Darragh y Moughan, 1998), existen datos que demuestran que el suministro de nutrientes de la leche a los lechones, no depende estrictamente de la composición en nutrientes de la dieta de la madre debido a la movilización de las reservas corporales (Clowes et al., 1998; Pluske et al., 1998).

Los lechones en lactación poseen una alta relación superficie/volumen corporal y presentan un rápido crecimiento de sus tejidos, por lo que sus requerimientos energéticos son elevados. Por ello, para conseguir el máximo potencial de crecimiento de los lechones (crecimiento diario de más del 6% de su PV) se requiere el empleo de lactoiniciadores o pre-estarters, cuyas principales características son (Buxadé y Daza, 2001):

- Complementan y suplementan la leche materna.
- Aceleran el proceso de maduración del tracto digestivo del lechón.
- Les ayuda en el aprendizaje de ingesta de dieta sólida.

Para obtener mejores resultados con dichos piensos, se ha propuesto suministrar el pienso en forma de papilla, ya que en presentaciones líquidas se dificulta considerablemente el manejo para su administración. Dicha dieta se suele administrar hasta los 40-44 días (12 kg de peso).

A la hora de realizar el destete del lechón se recomienda seguir un esquema de alimentación, cuyo objetivo es hacer coincidir la alimentación del lechón con sus capacidades digestivas (Figura 3).



Al formular piensos de lechones no se debe olvidar incorporar ingredientes con mayor digestibilidad y biodisponibilidad, siendo asimismo los más apetentes y seguros. Por ello, la dieta de iniciación o pre-estarter se caracteriza por contener (Buxadé y Daza, 2001):

- *Ingredientes proteicos*: las fuentes proteicas deben activar el desarrollo y maduración inmunoenzimática del tracto gastrointestinal, buscando evitar:
 - La fracción indigestible, que es el sustrato para la proliferación de flora proteolítica.
 - El daño en las microvellosidades.
 - La aparición de fenómenos alérgicos.

La incorporación de concentrados de proteínas inmunógenas de origen plasmático, lactoglobulinas o proteínas del huevo, parecen esenciales por su efecto estimulante de la ingesta y su valor inmunógeno. Para favorecer los fenómenos de inmunotolerancia se recomienda incorporar soja tratada a bajos porcentajes por la presencia de numerosos factores antinutricionales que provocan la destrucción del endotelio intestinal (enterocito). La consecuencia de ello es una insuficiencia digestiva y riesgo de diarreas.

- *Ingredientes energéticos:* estas dietas deben formularse con altos niveles de energía disponible, aceptándose la utilización de elevadas concentraciones de lactosa, como fuente fundamental energética (supone un 20% de la energía aportada por la leche). También posee un efecto acidificante intestinal y estimulador del consumo. Existen otros azúcares que pueden utilizarse como fuente de energía y como favorecedores del nivel edulcorante. El resto de la energía se obtiene a partir de los carbohidratos procedentes de cereales crudos (almidones), considerados como la primera fuente de energía en piensos de lechones. Por otro lado, se recomienda un nivel mínimo de fibra bruta ya que disminuye la apetencia, densidad y digestibilidad del pienso.

En cuanto a las grasas, se debe aportar un nivel del 3% para que se asegure un valor apropiado de seguridad y de energía metabolizable de la dieta, incorporándose principalmente aquellas que aportan ácidos grasos insaturados y de cadena corta. Los aceites vegetales, de pescado y de manteca de cerdo son los más apropiados por su aporte de energía, vitaminas liposolubles y ácidos grasos esenciales. Es importante e imprescindible proteger las grasas con antioxidantes adecuados para prevenir pérdidas nutritivas, aparición de efectos tóxicos, así como olores y sabores anómalos debidos al enranciamiento.

- *Aditivos:* la incorporación de promotores, probióticos y de agentes antimicrobianos (legalmente establecidos) permitirá una mayor seguridad del pienso y al incorporar aditivos potenciadores de la apetencia, digestibilidad y de la palatabilidad se conseguirá aumentar el consumo.

- *Minerales:* en cuanto a los micronutrientes, las recomendaciones nutricionales se han establecido como niveles mínimos de complementación que deben incorporarse a las dietas prácticas, descontando las concentraciones existentes de modo natural en sus ingredientes constitutivos. Las cantidades recomendadas en las dietas para los lechones al destete son las expuestas en la siguiente tabla:

Minerales	INRA 1989	NRC 1998	BSAS 2003	FEDNA 2006
Fe	100	100	120	90
Cu	10	6	6	10
Zn	100	100	100	120
Mn	40	4	30	45
Se	0,3	0,3	0,2	0,3
I	0,6	0,14	0,2	0,7
Co	0,3	-	0,2	0,05
Necesidades de microminerales para lechones (mg/kg)				

La biodisponibilidad de las sales utilizadas para la incorporación de los elementos inorgánicos varía dependiendo del mineral en cuestión, siendo normalmente más elevada para los macrominerales que para los microminerales. Las más utilizadas para los elementos traza son el sulfato de Fe, sulfato de Cu, el óxido de Zn y el sulfato de Zn. La inclusión de 125-250 mg/kg de Cu en forma de sulfato mejora el crecimiento y la salud del lechón (Davis et al., 2002) al tratarse de un agente antimicrobiano, que además favorece la digestibilidad de los nutrientes, mejora la respuesta inmune y atenúa el daño oxidativo debido a deficiencias de Cu (Strain, 1994). Dada la fuerte interacción entre Fe y Cu, la normativa europea que limita el nivel máximo de Cu en el pienso (DOCE, 2003), reducirá la necesidad de suplementar con Fe (Mateos et al., 2004).

Por otro lado, el Zn interviene en funciones orgánicas relacionadas con la inmunidad y el desarrollo de células fagocitarias (Kidd et al., 1996), en la mitosis celular (Prasad et al., 2002), en la producción y regeneración de queratina, y en el mantenimiento del epitelio de recubrimiento de la glándula mamaria. Niveles altos (2000-3000 mg/kg, como óxido o sulfato) en la dieta de lechones reducen la incidencia de procesos diarreicos por *Escherichia coli* (Hill et al., 2001) y pueden estar acompañados de aumento del ritmo de crecimiento y mejora del índice de conversión (Mateos et al., 2004). Las recomendaciones de los centros de investigación y la industria, si no se emplea para evitar procesos entéricos, varían entre 100 y 200 mg/kg.

También es importante tener en cuenta el comportamiento de los lechones, ya que establecen una jerarquía social dentro del grupo de la camada, por lo se debe asegurar que los cerdos de menor rango tengan la misma oportunidad para alimentarse, beber y descansar adecuadamente. Por ello, el objetivo es maximizar la ingesta del lechón y para ello se recomienda (Gómez-Carballar, 2000):

- Fácil acceso al pienso: el comedero adecuado debe ser manejable, de fácil limpieza y con separadores que permitan la alimentación comunitaria para evitar luchas y la deposición de excrementos. Será de superficie ancha, plana y poco profunda colocándose a distancia del bebedero y zona de descanso de tal forma que impida su contaminación. Se dispondrán de forma que impida el acceso a la cerda.

- Atracción por el pienso: la dieta debe ser fresca, atractiva y apetente, ofreciéndose en poca cantidad y de forma frecuente. Los sacos permanecerán cerrados y almacenados fuera de la sala. La presentación en harina es más atrayente los primeros días, siendo deseable una textura fina y sin polvo. Sin embargo, posteriormente el pellet resulta más interesante. Se vigilará la consistencia y tamaño del gránulo así como su masticabilidad. La papilla o alimentación húmeda es el mejor sistema aunque requiere un exquisito manejo.

- Suministro de agua: los bebederos de chupete con o sin cazoleta, serán de fácil limpieza y con suficiente flujo.

- Confort: las camadas tras el destete se uniformarán según el peso en lotes homogéneos, con suficiente espacio para permitir que los lechones se alimenten simultáneamente. Las temperaturas termoneutrales del lechón para conseguir una ingesta adecuada son:

ZONA CONFORT TERMICO*	PESO LECHON
20-28°C	5 kg
16-25°C	12 kg
12-22°C	20 kg

*Humedad del 60-65%

2.4. Nutrición mineral en el cerdo

De una forma general, resumimos las principales funciones de los minerales (Underwood y Suttle, 2003):

1. *Estructural:* los minerales pueden formar componentes estructurales de órganos y tejidos corporales, tal como sucede con el Ca, P, Mg, F y Si en huesos y dientes, y con el P y el S en las proteínas musculares. Minerales como el Zn y el P forman parte de moléculas y membranas, contribuyendo a su estabilidad estructural.
2. *Fisiológica:* los minerales se presentan como electrolitos en tejidos y fluidos corporales, interviniendo en el mantenimiento de la presión osmótica, del equilibrio ácido-base, de la permeabilidad de membrana y de la irritabilidad tisular.
3. *Catalítica:* los minerales pueden actuar como catalizadores de sistemas enzimáticos y hormonales, como componentes integrales y específicos de dichos sistemas. El número y la variedad de metaloenzimas identificados ha aumentado mucho en las últimas dos décadas.
4. *Reguladora:* en los últimos años se ha descubierto que los minerales intervienen en la regulación de la replicación y diferenciación celular; el Ca, por ejemplo, influye en las señales de transducción y el Zn influye en la transcripción, además de otras funciones reguladoras importantes.

Las funciones de los minerales sólo pueden cumplirse de manera adecuada si las cantidades ingeridas son suficientes para mantener en equilibrio el crecimiento y desarrollo del organismo, la reproducción y el remplazo de los minerales excretados.

La ingestión de minerales debe ser suficiente para asegurar el mantenimiento de las reservas en los tejidos corporales y las cantidades adecuadas exportadas con los productos. La leche es una excepción, ya que incluso en situación de deficiencia siguen

manteniéndose normales las concentraciones de minerales a expensas de la madre, que cede prioritariamente sus minerales a la nueva generación.

La nutrición mineral en el ganado porcino es un tema poco estudiado, encontrándonos con estudios de hace más de 35 años, sin actualizaciones recientes, por lo que probablemente sus recomendaciones puedan no ser aplicables hoy día. Además, es un área desplazada frente a otras a las que se les ha concedido una mayor atención, como son la evaluación de la utilización de la grasa o la proteína de la dieta, así como numerosos estudios sobre la composición corporal en energía y nutrientes. No debemos olvidar que los minerales son necesarios para una producción animal eficiente, variando las necesidades en función del tipo de animal, estadio productivo y objetivos de producción, por lo que su estudio debería encontrarse también en una posición prioritaria. Gracias a estudios realizados en los últimos años se ha podido demostrar la necesidad de controlar en las dietas las cantidades adicionadas de los diferentes minerales, puesto que variaciones en dichas concentraciones producen mejoras en los aspectos productivos, en la contaminación medioambiental y en la salud, tanto del animal como del consumidor.

2.4.1. Calcio

2.4.1.1. Funciones

El Ca es el mineral más abundante en el organismo y un 99% del mismo se encuentra en el esqueleto. Por lo tanto, la función básica del Ca es proporcionar un almacén fuerte para soportar y proteger los órganos más delicados, para articular y permitir el movimiento y para ser maleable y así permitir el crecimiento. Por otro lado, la pequeña fracción de Ca corporal que se encuentra fuera del hueso (1%) es también importante para la vida. El Ca extraesquelético como ion libre se encuentra unido a proteínas séricas o a ácidos orgánicos o inorgánicos complejos. Es el Ca ionizado (50-60% del Ca plasmático total) el elemento esencial para que se produzcan las funciones fisiológicas tan importantes como la conducción del impulso nervioso y la contracción

muscular, incluyendo el músculo cardíaco. El Ca puede activar o estabilizar algunas enzimas, contribuye a regular el ciclo celular y es necesario para realizar una coagulación sanguínea normal (el Ca debe estar presente para que la protrombina se active y la trombina resultante reaccione con el fibrinógeno para formar el coágulo sanguíneo de fibrina) (Hurwitz, 1996). Cambios en las concentraciones intracelulares de Ca, regulados por la vitamina D₃ y las proteínas de unión al Ca como la calmodulina y la osteopontina, pueden ser factores decisivos en la diferenciación celular (Carafoli, 1991), incluyendo la activación de la respuesta inmune (Nonnecke et al., 1993). Por ello, la prioridad en mamíferos es mantener concentraciones de Ca en plasma y fluidos extracelulares cerca de 100 mg/L, contrarrestando las grandes fluctuaciones debidas a la demanda y las pequeñas fluctuaciones derivadas de la ingestión (Hurwitz, 1996).

2.4.1.2. Necesidades

Se han realizado numerosos estudios para definir las necesidades de Ca en porcino, siendo el ARC (1981) quien recopiló todos los estudios desde 1964 hasta 1976, concluyendo con el establecimiento de un “valor medio óptimo” que actualmente se considera sobrestimado. Hoy día, realmente el problema del contenido de Ca en la dieta del ganado porcino es su exceso más que su déficit; dicho exceso puede reducir la absorción de P y de otros minerales como Zn y Cu (con el consiguiente daño medioambiental), además de modificar la palatabilidad de la dieta y, con ello, la ingesta. Por tanto, es importante definir y administrar correctamente las cantidades adecuadas de dicho mineral. Según Mahan (1982) la concentración necesaria de Ca en la dieta para cerdos al destete sería de un 0,8% (para una buena formación ósea), aunque sólo se necesitaría un 0,7% para maximizar el rendimiento del lechón. En las últimas décadas se ha producido un descenso del contenido de Ca en las dietas porcinas, debido a un mejor conocimiento de las necesidades y de la disponibilidad de las fuentes, así como al uso de fitasas. De hecho, en España el nivel de Ca en las dietas para cerdos ha descendido de un 1.1% a un 0,65% sin encontrar efectos negativos en la productividad (Mateos et al., 2004). Es importante determinar la cantidad adecuada de Ca no sólo para conseguir una mejor producción y una buena mineralización ósea

(con menores costes económicos), sino también conseguir un menor impacto medioambiental.

El contenido en vitamina D₃ en la ración capacita al animal para que utilice mejor el Ca ingerido, en especial si es limitado. El Ca se absorbe según su demanda hasta los límites establecidos por la propia absorción del mineral en la ración. La leche, los forrajes (especialmente leguminosas) son buenas fuentes de Ca; sin embargo, los cereales y las raíces contienen poca cantidad de Ca. Los cereales y los concentrados proteicos determinan en gran medida la absorción del Ca al formar los fitatos y oxalatos complejos con el Ca no absorbible.

Los suplementos minerales que suelen administrarse son el carbonato cálcico, la harina de huesos y el fosfato bicálcico. Todas las fuentes de Ca suelen tener una disponibilidad baja cuando forman parte de raciones altas en fitatos o bajas en fitasas (Underwood y Suttle, 2003). Se ha comprobado que dosis altas de fitasas en la dieta mejoran la digestibilidad, no sólo del P, sino también del Ca (de 57,2% a 75,8%), Mg, Na, K y Cu en cerdos convencionales (Kies et al., 2006). Por otra parte, cantidades excesivas de flúor (superiores a 50 mg/kg en la dieta) reducen significativamente la digestibilidad aparente del Ca y de la proteína, además de la retención de Fe, Cu, Zn y Mn en cerdos (Tao et al., 2005), por lo que es necesario definir y administrar las mínimas cantidades de Ca compatibles con la mejor utilización de P fítico.

Se ha encontrado que en cerdos Ibéricos en crecimiento las ingestas excesivas de Ca en la ración (15-16 g/día) producen bajos coeficientes de digestibilidad aparente (hasta un 32%) (Nieto et al., 2008). En otro experimento en cerdos convencionales, tras aumentar la ingesta (de 4,0 a 15,0 g/día) se redujo la absorción relativa de 0,62 a 0,39 (Fernandez, 1995). Además, otro factor que influye es la relación Ca:P de la ración, siendo sus desviaciones importantes a la hora de determinar una buena absorción de ambos minerales. Se considera que la relación más apropiada es de 1:1 a 2:1 (Underwood y Suttle, 2003).

2.4.1.3. Deficiencia

No suelen presentarse deficiencias por dicho mineral, pero en el caso de que ocurran puede causar un crecimiento deficiente, cambios y anomalías óseas (mineralización ósea reducida), así como un descenso en la producción de leche.

2.4.1.4. Toxicidad

El Ca no se considera un elemento tóxico, gracias a que los mecanismos homeostáticos hacen que se excrete todo el exceso de Ca de la ración por vía fecal. Las consecuencias adversas de un exceso de Ca suelen ser indirectas y, como se ha comentado, producen desequilibrios en la absorción de otros elementos como pueden ser P y Zn. La hipercalcemia puede causar calcificación y daños en los tejidos vivos, aunque suele ocurrir como consecuencia secundaria de una deficiencia de P o de una sobreexposición a vitamina D₃ (Payne y Manston, 1967).

2.4.2. Fósforo

2.4.2.1. Funciones

El P es el segundo mineral más abundante en el organismo animal y un 80% del mismo se encuentra en huesos y dientes. Al igual que el Ca, la función más importante que desempeña es la formación y mantenimiento de estructuras óseas. El 20% del P restante se distribuye ampliamente por todo el organismo en fluidos y tejidos blandos donde desempeña un conjunto de funciones muy importantes:

- es un componente esencial de los ácidos desoxi- y ribonucleicos (esenciales para el crecimiento y diferenciación celular);
- forma parte de los fosfolípidos que integran y dan flexibilidad a las membranas celulares;

- como fosfato ayuda a mantener el equilibrio osmótico y el balance ácido-base;
- juega un papel vital en muchas funciones metabólicas, incluyendo la utilización y transporte de energía mediante AMP, ADP y ATP, que intervienen en la glucogénesis, transporte de ácidos grasos, síntesis de aminoácidos y proteínas y en la actividad de la bomba sodio/potasio.

Además, el P interviene en el control del apetito (aunque se desconoce el mecanismo por el que se lo realiza) y condiciona la eficiencia de utilización del alimento (Underwood y Suttle, 2003).

2.4.2.2. Necesidades

Según los estudios realizados por el ARC (1981), las necesidades de P disponible para lechones de 6-8 semanas de edad fueron establecidas en 4,0 g/kg de materia seca (MS) para conseguir un crecimiento adecuado; 5,0 g/kg de MS para mantener normales los valores de P inorgánico sérico y de fosfatasa alcalina, así como el buen desarrollo esquelético y 6,0 g/kg de MS para que sea máxima la densidad del hueso y su resistencia a la rotura (Underwood y Suttle, 2003).

Dichas estimaciones se consideran actualmente sobrestimadas y variables, existiendo además una gran confusión a la hora de formular el contenido de P utilizable de las materias primas y establecer los mínimos y máximos de las necesidades de los animales, lo que conduce a errores importantes en el diseño de las dietas y un aumento en las excreciones de P al medioambiente. Los cerdos utilizan el P fítico pobremente al tener una fitasa intestinal muy limitada, por lo que es necesario suplementar las dietas de cerdos con fuentes inorgánicas de P, normalmente fosfato monocálcico y bicálcico. Esto puede dar lugar a aumentos en las excreciones de P que principalmente terminan en las corrientes de agua donde causa importantes fenómenos de eutrofización, con la consecuente mortalidad de la fauna acuática

(Rebollar y Mateos, 1999). Por ello existen medidas legislativas que penalizan dicho exceso, y promueven la inclusión de fitasas (mejoran la digestibilidad del P) u otros aditivos en piensos de cerdos, con la finalidad de reducir el nivel de P en las deyecciones (Jongbloed et al., 1996; Rodehutscord et al., 1998). Asimismo, también el uso de alimentos bajos en fitatos (como la soja y el maíz) mejora la digestibilidad del P, por lo que se disminuye el aporte de dicho mineral en forma inorgánica al medioambiente (Dilger y Adeola, 2006). Por otro lado, hay que tener en cuenta la relación Ca:P en la dieta, ya que un exceso de Ca reduce la absorción del P (como de otros minerales: Mg, Mn, Zn) y disminuye la efectividad de las fitasas. El descenso de la actividad fitásica puede explicarse por (Kornegay y Qian, 1996):

- la utilización del P fítico está influenciada por el nivel de Ca y P de las dietas;
- el Ca extra puede unirse a los fitatos formando complejos insolubles menos accesibles a las fitasas;
- el Ca extra puede reprimir directamente la actividad de las fitasas compitiendo con ellas por los lugares de actuación del enzima.

El contenido en P de las materias primas utilizadas en alimentación animal presenta un amplio rango de variación. En general, los forrajes de gramíneas tienen un contenido superior a los de leguminosas, y las semillas (granos de cereales, leguminosas y oleaginosas) mayor que los forrajes (Rebollar y Mateos, 1999). Los subproductos del procesado de granos (salvados de trigo, gluten de maíz o harinas oleaginosas) son especialmente ricos en P, mientras que los tubérculos, raíces y bulbos son más pobres. Los productos lácteos y las materias primas de origen animal que incluyen parte del esqueleto son los alimentos con mayores niveles de P (Rebollar y Mateos, 1999). El nivel de P en los suplementos minerales depende de múltiples factores como son el material de origen, proceso de fabricación y el grado de hidratación. Las fuentes minerales de P más utilizadas en alimentación animal son el fosfato monocálcico y el fosfato cálcico, a los que se atribuye una digestibilidad de 92%

y 76% , respectivamente (FEDNA, 2003). Los ortofosfatos de Na, Ca, K, NH₄ y sus combinaciones son otras fuentes utilizadas (Mateos y García, 1998).

El contenido en P de las dietas porcinas ha disminuido considerablemente en los últimos años. Los motivos, además de su elevado coste, han sido la utilización de fuentes de P más digestible, la inclusión de fitasas, el estudio de las necesidades del mineral en cada etapa del crecimiento, la reducción del Ca de la dieta y la concienciación del daño medioambiental que puede suponer un exceso de P. Existen, sin embargo, ciertas lagunas en torno a las necesidades de P, dependiendo de la raza y de la fase productiva del cerdo.

2.4.2.3. Deficiencia

Una deficiencia de P en ración, si es suficientemente intensa o prolongada, conducirá a anomalías en huesos y dientes, retraso en el crecimiento, reducción de la producción de leche, descenso del apetito, reducción de la eficiencia de utilización del alimento y a la aparición de apetito errático (Underwood y Suttle, 2003).

2.4.2.4. Toxicidad

El P es un ion bien tolerado y, por ello, los animales pueden permitirse amplias fluctuaciones en los niveles de P circulante. Esto, asociado a que el P en exceso puede ser excretado vía urinaria, hace que el ganado tolere generalmente el exceso de P ingerido. Los problemas se presentan cuando se producen interacciones adversas o efectos acumulativos con otros minerales (Underwood y Suttle, 2003).

2.4.3. Magnesio

2.4.3.1. Funciones

El Mg es el segundo ion intracelular más abundante, y la mayor parte del Mg corporal (60-70%) se localiza en el esqueleto. Se encuentra abundantemente unido a proteínas (80%), asociado fundamentalmente a microsomas y en líquidos extracelulares en concentraciones bajas pero imprescindibles (incluyendo el líquido cefalorraquídeo y la sangre) (Underwood y Suttle, 2003). El Mg es imprescindible en el metabolismo de carbohidratos, lípidos, ácidos nucleicos y proteínas. Además de ser el cofactor de numerosas enzimas y estar implicado en más de 300 reacciones enzimáticas, ayuda a mantener la presión osmótica, el balance ácido-base, la fosforilación oxidativa (conduciendo a la formación de ATP), así como el potencial de membrana al sostener la bomba Na^+/K^+ , y cataliza la mayoría de transportadores del fósforo (incluyendo la fosfatasa alcalina, hexoquinasa y desoxirribonucleasa (Underwood y Suttle, 2003; Alonso et al., 2012).

2.4.3.2. Necesidades

Aunque el Mg es un nutriente extremadamente importante, las necesidades para el ganado porcino son muy bajas, y varían enormemente dependiendo de la raza, edad y tasa de crecimiento o producción. Los niveles de Ca y P de la ración influyen sobre las necesidades de Mg, pero la vitamina D no afecta directamente la absorción de este elemento. Las necesidades mínimas de Mg para lechones alimentados con una ración purificada se han establecido en 325 mg/kg, siendo necesarias mayores cantidades para un crecimiento óptimo y prevención de los síntomas de deficiencia en cerdos destetados (400-500 mg/kg, dependiendo del contenido en proteína) (Underwood y Suttle, 2003).

El contenido de Mg varía en los forrajes según las especies y las condiciones climáticas y del suelo donde las plantas crezcan, siendo las leguminosas de zonas templadas más ricas en Mg que las gramíneas, paja o raíces. El contenido en Mg de los concentrados usados en nutrición animal varía ampliamente también, encontrándonos

que los granos de cereal contienen de 1,1 a 1,3 mg/kg y las harinas de pescado entre 1,7 y 2,5 mg/kg. Los productos animales utilizados varían según la proporción de hueso que contengan, por lo que la *harina de carne* pura sólo contiene 0,4 mg/kg, mientras que las *harinas de carne y hueso* comerciales contienen entre 2 y 10 mg/kg (Underwood y Suttle, 2003). No podemos olvidar, que la disponibilidad para la absorción del Mg es muy variable dependiendo de la fuente que proceda, además de tener una relación inversamente proporcional con el potasio en cuanto a su absorción.

2.4.3.3. Deficiencia

Los ingredientes naturales de las dietas para porcino, como los cereales y las harinas de semillas, son buenas fuentes de Mg, por lo que su deficiencia es poco probable en situaciones prácticas. Dicha deficiencia se manifiesta clínicamente por diversas alteraciones, que incluyen: retraso en el crecimiento, hiperirritabilidad y tetania, vasodilatación periférica, anorexia, falta de apetito, incoordinación muscular y convulsiones. Además se han observado otras alteraciones metabólicas como riñones calcificados, descenso en la fosforilación oxidativa hepática, incremento en la síntesis de prostaglandinas, reducción de la presión sanguínea y temperatura corporal.

2.4.3.4. Toxicidad

Es poco probable encontrarnos con toxicidad causada por Mg teniendo en cuenta los niveles que proporcionan las raciones normales. En casos extremos podemos observar pérdida de apetito, diarreas o somnolencias. Dichos casos pueden ocurrir cuando se les proporciona un consumo libre de mezclas minerales ricas en Mg, por lo que su incidencia en el sector porcino es bastante baja (Underwood y Suttle, 2003).

2.4.4. Hierro

2.4.4.1. Funciones

El Fe es el elemento traza más abundante en el organismo animal, donde aproximadamente el 60% forma parte de la hemoglobina, un complejo de hemo protoporfirina y globina. La molécula hemo contiene un átomo de Fe en el centro de su anillo y cada molécula de hemoglobina contiene cuatro anillos. La hemoglobina se almacena en los hematíes, permitiendo el aporte de oxígeno a los tejidos y la eliminación de dióxido de carbono. El Fe es necesario en reacciones bioquímicas tales como síntesis de ADN y metabolismo general de los nutrientes. Su capacidad para oxidarse y reducirse permite que el Fe participe en la cadena de transferencia de electrones y hacen de él un elemento único para muchas reacciones celulares re-dox; interviene, además, en cada fase del ciclo de los ácidos tricarboxílicos (Krebs) al activar a diferentes enzimas, como la succinato deshidrogenasa (Underwood y Suttle, 2003), existiendo un gran número de enzimas que contienen Fe (catalasa, peroxidasa, fenilalanina hidroxilasa, entre otras).

2.4.4.2. Necesidades

Las mayores necesidades de Fe aparecen en lechones jóvenes con alta capacidad de crecimiento. En estos casos, el metabolismo está acelerado por lo que se precisa de más oxígeno y por lo tanto más Fe. El Fe también interviene en el proceso de elaboración del ácido clorhídrico estomacal por lo que la deficiencia reduce la digestibilidad de las proteínas, sobre todo las de origen vegetal. Además, los tejidos del lechón recién nacido son deficientes en Fe ya que este mineral atraviesa con dificultad la barrera placentaria. Se estima que las necesidades de Fe en el lechón joven podrían estar cercanas a los 100 mg/kg (Rincker et al., 2005). Los ingredientes vegetales utilizados en piensos comerciales contienen grandes cantidades de Fe, aunque su concentración y biodisponibilidad es muy variable. Los granos de cereales contienen

entre 30 y 70 mg/kg, las semillas de leguminosas entre 60 y 100 mg/kg y las harinas de oleaginosas entre 200 y 400 mg/kg. Los ingredientes de origen animal (sangre y harinas de pescado), excepto los derivados lácteos, son buenas fuentes de Fe.

Las recomendaciones para el ganado porcino son de 90 mg/kg de Fe en el pienso para los lechones, aunque dichas cantidades se encuentran aumentadas de forma sistemática hasta unos 220-250 mg/kg (FEDNA, 2006). A pesar de su importancia, en el cerdo Ibérico no existen estudios sobre sus necesidades específicas en las primeras semanas de vida, así como sobre sus posibles repercusiones sobre el estrés oxidativo.

2.4.4.3. Deficiencia

La deficiencia prolongada de Fe se caracteriza por una pérdida de apetito, retraso del crecimiento, letargia, palidez de las mucosas visibles, aumento de la frecuencia respiratoria y, en casos graves, por una mortalidad elevada. Estos síntomas suelen estar producidos por el desarrollo progresivo de una anemia. En el caso de lechones, puede aparecer una anemia sin complicaciones, caracterizada por producir una respiración forzada y espasmódica del animal (ronquido). Normalmente se manifiesta entre las 2 y 4 semanas después del nacimiento, momento en el que el nivel de hemoglobina en sangre puede haber descendido a valores anormales de 30-40 g/L. La mortalidad es elevada aunque los supervivientes de las camadas inician una lenta recuperación espontánea entre las 6 y 7 semanas de edad, coincidiendo con el momento en el que comienza a consumir cantidades apreciables del alimento sólido.

Los lechones anémicos aparecen indiferentes y débiles; su apetito es muy escaso y crecen menos de lo normal; y es alta la incidencia de diarreas (Underwood y Suttle, 2003). Dicha deficiencia de Fe puede estar provocada por:

- Depósitos corporales anormalmente bajos al nacer;
- Ausencia de policitemia de nacimiento, común en otras especies animales;

- Ritmo de crecimiento muy rápido;
- Camadas muy numerosas.

Por ello, es muy importante realizar una alimentación temprana y adecuada de los lechones que les aporte las cantidades necesarias de Fe para evitar dicha enfermedad. La leche materna presenta un contenido bajo en Fe (proporcionando 1 mg de Fe/día), cuando los lechones necesitan retener en torno a los 7-11 mg/día de Fe (Underwood y Suttle, 2003). Para evitar la deficiencia se suele realizar de forma rutinaria una inyección intramuscular de un compuesto dextrano-Fe o dextrina:óxido férrico. Una dosis de 2 mL de dextrano-hierro (200 mg de Fe) a los pocos días de edad (3 a 10 días) restablece los valores de hemoglobina en lechones hasta los valores obtenidos al nacer y los mantiene durante toda la lactancia (Underwood y Suttle, 2003). La administración de cantidades superiores a los 200 mg supone aumentos en la concentración de hemoglobina y en los valores de hematocrito en los lechones, pero no mejoran los pesos al destete ni los ritmos de crecimiento durante la lactancia (Jolliff y Mahan, 2011). La administración de elevados niveles de Cu (250 mg/kg MS) en la ración de los lechones destetados puede reducir la absorción de Fe lo suficiente para inducir una deficiencia secundaria de Fe seguida de una anemia, a no ser que se añada también Fe (Bradley et al., 1983).

2.4.4.4. Toxicidad

Un exceso de Fe libre podría ser citotóxico por su elevado potencial redox y por su capacidad para generar radicales libres a través de la reacción Haber-Weiss. Cuando las reservas tisulares se hacen excesivas durante una sobrecarga crónica de Fe, existe suficiente Fe reactivo para desencadenar daño oxidativo en zonas como el hígado (Lipinski et al., 2010).

2.4.5. Cobre

2.4.5.1. Funciones

El Cu es necesario para la actividad de numerosas enzimas relacionadas con el transporte y metabolismo del Fe (ceruloplasmina), la formación del colágeno y el desarrollo adecuado de los huesos, así como la producción de melanina y la integridad del sistema nervioso central (Mateos et al., 2004). Además, realiza importantes funciones en numerosos sistemas enzimáticos, muchos de ellos relacionados con el estrés oxidativo (siendo componente de la citocromo oxidasa y de la superóxido dismutasa) y es necesario para la pigmentación normal del pelo y piel (Underwood y Suttle, 2003).

2.4.5.2. Necesidades

El Cu es un mineral muy abundante en los alimentos, por lo que las raciones de los animales suelen contener cantidades adecuadas. En general, las gramíneas contienen menos Cu que las leguminosas y los granos más que los tallos y hojas. Cereales, semillas de leguminosas y derivados lácteos son pobres en Cu (2 a 10 mg/kg) mientras que las harinas de oleaginosas son fuentes aceptables (10 a 30 mg/kg). La biodisponibilidad de Cu en los ingredientes de origen vegetal es sólo del 50% en relación con los ingredientes de origen animal, aunque el Cu de los granos de cereales es hasta diez veces más disponible que el de los forrajes (Mateos et al., 2004).

El Cu en la leche es escaso y por ello se suelen incluir pequeñas cantidades de sulfato de Cu en los preparados de sales de Fe destinados a los lechones. Estudios realizados en los años sesenta en el Reino Unido indicaron que la inclusión de 250 mg/kg de Cu en forma de sulfato mejora la ganancia de peso en torno al 8% y el índice de conversión en un 5,5% en comparación con cerdos controles (Braude, 1980). Actualmente, la adición de dosis farmacológicas de Cu en la dieta de cerdos en forma

de sulfatos (125-175 mg/kg) es una práctica que mejora el crecimiento animal no sólo de los lechones, sino de las siguientes etapas de crecimiento (Hill et al., 2001). Sin embargo, debido a su baja absorción, también supone aumentos en la concentración de Cu en los excrementos (hasta 14 veces si se compara con una dieta basal) siendo una seria amenaza para el medioambiente, existiendo restricciones a la hora de su empleo como estimulante del crecimiento en Europa. El máximo permitido es de 175 mg/kg para cerdos de hasta 16 semanas de edad (DOCE, 2003). Algunos investigadores proponen como alternativa una fuente orgánica de Cu (proteinato de Cu), observándose que animales alimentados con concentraciones de 50-100 mg/kg de dicha fuente de Cu absorben y retienen más Cu, y excretan menos que los animales alimentados con 250 mg/kg de Cu en forma de sulfato, sin diferencias en cuanto al crecimiento (Veum et al., 2004). Por otro lado, se ha observado que la suplementación de las dietas de lechones con Cu mejora de forma significativa la utilización de la grasa animal, cuya digestibilidad pasa del 75,6% al 85,1% (Dove, 1995) mediante la estimulación de la actividad de la lipasa y fosfolipasa intestinal.

Las razones del efecto beneficioso del Cu sobre el crecimiento y la productividad en cerdos no están totalmente aclaradas, pero al parecer contribuyen a los siguientes mecanismos:

- Actúa como agente antimicrobiano;
- Mejora la digestibilidad de ciertos nutrientes;
- Mejora la función inmune;
- Protege a las células frente la oxidación y los daños producidos por los radicales libres.

2.4.5.3. Deficiencia

Al realizar numerosas funciones en el organismo animal, la deficiencia de Cu puede dar lugar a multitud de síntomas: anemia (reduce la capacidad de absorción del

Fe), retraso del crecimiento, alteraciones óseas, diarrea, infertilidad, trastornos gastrointestinales y lesiones en el tronco encefálico y médula espinal (Underwood y Suttle, 2003).

2.4.5.4. Toxicidad

Es difícil que se produzca una toxicidad por Cu ya que los cerdos poseen una gran tolerancia a dicho mineral. Aunque su exceso puede derivar a otros problemas en cuanto a la calidad de la carne del cerdo al modificar el perfil de ácidos grasos de la grasa subcutánea, aumentando la formación de peróxidos lipídicos. Uno de los problemas del exceso de Cu es su acúmulo en vísceras, principalmente hígado y riñón, actuando como veneno. El envenenamiento por Cu determina la necrosis de las células hepáticas, aunque los cerdos son más tolerantes al exceso de Cu que el ganado vacuno y ovino. Nys (2001) indica que aportes elevados en las dietas para porcino aumentan la concentración en hígado hasta 10 y 20 veces debido a su acúmulo en la metalotioneína, proteína que fija 12 moléculas de Cu por mol. Jondreville y col. (2003) estiman que dietas para cerdos con 250 mg/kg de Cu suministradas durante 100-150 días dan lugar a niveles hepáticos de Cu de 400-500 mg/kg (MS). Algunos autores aconsejan reducir drásticamente el nivel de Cu en la dieta (de 175 mg/kg a 35 o 20) bastante antes de que el animal sea sacrificado, por ejemplo a los 50 kg si se va a sacrificar a los 100 kg. Si los aportes se mantienen en 100 mg/kg hasta el sacrificio, la estimación del consumo medio diario de la población daría lugar a una ingesta de Cu muy por encima de sus necesidades (casi 3 veces superior). Se debe, por tanto, limitar el aporte extra de Cu al periodo post-destete si se quiere asegurar la inocuidad para la salud humana.

2.4.6. Cinc

2.4.6.1. Funciones

Después del Fe, el Zn es el elemento traza más abundante en el organismo. Un cerdo de 100 kg contiene 1,5-2,5 g de Zn. El 60% se encuentra en los tejidos musculares, 30% en el esqueleto, y el resto en órganos como hígado, páncreas, riñón, pulmón, corazón y cerebro.

El Zn se absorbe por un proceso activo, saturable y mediado por transportador, cuando se encuentra a bajas concentraciones, y por un proceso pasivo no saturable cuando es elevado. En el enterocito, parte es utilizado por las metaloenzimas nativas o las proteínas de membrana, y parte se liga a las metalotioneínas o es exportado a la circulación portal. En plasma es transportado por las albúminas y por macroglobulinas principalmente. El hígado, que contiene menos del 5% del Zn total, juega un papel fundamental en la transferencia y distribución del Zn.

Son numerosas las funciones en las que interviene el Zn, entre las que podemos destacar funciones orgánicas relacionadas con la inmunidad y el desarrollo de células fagocitarias (Kidd et al., 1996), la mitosis celular (Prasad et al., 2002), la producción y regeneración de la queratina, y en el mantenimiento del epitelio de recubrimiento de la glándula mamaria. Forma parte de un gran número de metaloenzimas (alcohol deshidrogenasa, fosfatasa alcalina, anhidrasa carbónica, carboxipeptidasas A y B, colagenasa, leucina aminopeptidasa, manosidasa y superóxido dismutasa), además de intervenir en el metabolismo de la vitamina A mediante la retineno reductasa y alcohol deshidrogenasa (necesarias para el proceso implicado en la visión) (Underwood y Suttle, 2003). Desde un punto de vista nutritivo, desempeña funciones muy importantes a la hora de limitar la salud y el rendimiento del animal:

- influye en la transcripción y replicación celular, teniendo un papel importante en la digestión, glicólisis, síntesis de ADN, metabolismo de los ácidos nucleicos y proteínas (Chesters, 1992).
- interviene en la regulación del apetito, aunque no están claros sus mecanismos.

2.4.6.2. Necesidades

Las necesidades de Zn en el lechón son relativamente altas, en torno a los 100 mg/kg, pero disminuyen rápidamente con la edad. El contenido en Zn de cereales y semillas de leguminosas es relativamente bajo, en torno a los 20 a 30 mg/kg (del que se absorbe aproximadamente un 60%). En los cereales, la distribución del Zn no es homogénea siendo las cubiertas más ricas que las partes internas. Por tanto, salvado y gluten son buenas fuentes de Zn, así como las harinas de oleaginosas y las proteínas de origen animal (Mateos et al., 2004). Es difícil establecer la biodisponibilidad de Zn ya que se absorbe según sus necesidades y puede formar complejos insolubles con los fitatos de los cereales, además de depender dicho grado de interacción fitato-Zn de los niveles de Ca de la dieta (Underwood y Suttle, 2003).

Normalmente, una dieta completa para cerdos formulada a base de materias primas vegetales, que además presentan una disponibilidad variable, no cubre los requerimientos en Zn, y es necesario añadirlo en forma de suplementos. La deficiencia de Zn puede prevenirse con facilidad y escaso coste utilizando los suplementos de Zn (el óxido de Zn es la forma más utilizada en alimentación animal, aunque el sulfato se considera más disponible). Según algunos autores, la disponibilidad del Zn es mayor en forma de complejos orgánicos (Zn-Lys, Zn-Met), ya que estos protegen al Zn de la formación de otros complejos insolubles (fitatos), se absorben intactos y liberan al Zn en el sitio de absorción. De todas formas, su disponibilidad depende mucho de la composición de la dieta, sobre todo del nivel de fitatos, y los resultados obtenidos son muy heterogéneos (Underwood y Suttle, 2003).

A finales de lo 80, Holm y Poulsen propusieron suplementar la dieta de los lechones con cantidades elevadas de Zn, con el fin de reducir la incidencia de diarreas post-destete, gracias a su acción sobre la microflora intestinal (Poulsen, 1995). Posteriormente, numerosos trabajos confirmaron además un efecto positivo sobre la velocidad de crecimiento en lechones recién destetados. Actualmente, se realiza la adición sistemática de dosis farmacológicas de Zn (2000-3000 mg/kg) inmediatamente tras el destete, y durante un mínimo de 2 semanas.

Otros autores han mostrado el efecto beneficioso de la adición de ácidos orgánicos en la absorción de Zn utilizando el ácido fumárico, ácido cítrico, láctico y fórmico (Jongbloed et al., 2000). Por otro lado, también pueden suplementarse las dietas con fuentes inorgánicas de Zn, como óxido o sulfato. Además, como hemos indicado anteriormente, altas concentraciones de Zn en la dieta de los lechones disminuye la incidencia de diarrea en el post-destete y mejora el crecimiento del animal (Hill et al., 2001). Sin embargo, la baja biodisponibilidad del Zn, incluso del óxido de Zn, hace que aumenten sus niveles de excreción al medioambiente y con ello la contaminación.

2.4.6.3. Deficiencia

Su déficit provoca anomalías estructurales y fisiológicas, que son idénticas en todos los mamíferos. Los síntomas revierten rápidamente con la suplementación de Zn, y se dan más cuando las necesidades están aumentadas, como en los animales jóvenes de rápido crecimiento, en la gestación o en la lactación. Su papel en el crecimiento se conoce desde el año 1935 y ya en el año 1955 se demostró que su deficiencia originaba una afección cutánea, llamada paraqueratosis (en el cerdo) que se prevenía por una adición de Zn en la dieta. Los principales signos de una deficiencia son el retraso del crecimiento, la pérdida del apetito, la diarrea y la paraqueratosis. La anorexia es a menudo uno de los primeros signos de una carencia de Zn. Los casos extremos pueden incluso conducir a la muerte del animal.

Una deficiencia por Zn puede causar daños oxidativos (al tratarse de uno de los principales componentes de las enzimas antioxidantes) y un aumento de la producción de radicales libres, llevando al animal a una situación de estrés y disminución del crecimiento (Underwood y Suttle, 2003).

La deficiencia de Zn es más frecuente en dietas basadas en ingredientes de origen vegetal y ricas en Ca al formarse complejos Zn-Ca-fitatos en la sección proximal del aparato digestivo. Por ello el uso de fitasa exógena y la reducción del nivel del Ca de la dieta pueden beneficiar el crecimiento del animal (Mateos et al., 2004).

2.4.6.4. Toxicidad

El ganado porcino presenta una tolerancia considerable a consumos elevados de Zn, dependiendo dicha tolerancia de la composición de la ración, especialmente del contenido en Ca, Cu, Fe y Cd. Como síntoma de la toxicidad puede aparecer una disminución del apetito y del crecimiento del animal, llegando a la muerte en los casos de toxicidad elevada (4-8 g/kg de MS) (Underwood y Suttle, 2003).

CAPÍTULO 3

Aspectos metodológicos

En el siguiente apartado se detallará con detenimiento los métodos y pautas seguidos en el manejo de los animales desde su nacimiento hasta el destete, efectuado a los 35 días de edad, así como el diseño experimental realizado para abordar los objetivos planteados en la presente Tesis Doctoral.

Se emplearon 38 cerdas Ibéricas de la estirpe Silvela en su tercer parto, de pesos comprendidos entre 130 y 140 kg, sincronizadas en su ciclo sexual. Se las alimentó de acuerdo con las recomendaciones publicadas por FEDNA (2003) para cerdas gestantes y lactantes. Las cerdas preñadas se alimentaron diariamente con 1,8-2,5 kg de una dieta comercial (PACSA Sanders, Sevilla, España) que contenía 12,13 MJ de EM/kg, 140 g de proteína bruta (PB)/kg y 5,5 g lisina (Lys)/kg. Los animales se alojaron una semana antes de la fecha prevista de parto en módulos individuales de 2,40 m x 1,60 m situados en una sala de maternidad con sistema de control ambiental.

Una vez en la sala de partos, las cerdas se alimentaron con una dieta comercial para lactación (12,76 MJ EM/kg, 144 g (PB)/kg y 6,8 g Lys/kg) a un nivel del 1% del PV (PACSA-Sanders, Sevilla, España). En el día del parto se les ofreció 1,5 kg de dicha dieta. Desde ese momento, la asignación diaria de alimento se incrementó en 0,6 kg hasta llegar a 4,5 kg/día en el quinto día de lactancia. Esta cantidad, que fue consumida en su totalidad por los animales, se mantuvo hasta el final del experimento. Asimismo, el acceso al agua fue permanente y *ad libitum*, y las luces permanecieron siempre encendidas con una intensidad similar a la luz del día. Tras el parto, el número de lechones se igualó a 6-7 lechones por camada mediante ahijamiento cruzado, utilizando las cerdas nodrizas cuando fue necesario. La temperatura de las salas se mantuvo a 33-35°C durante la primera semana de vida de los lechones, descendiendo progresivamente hasta 25-27°C al final de la tercera semana. Poco después del

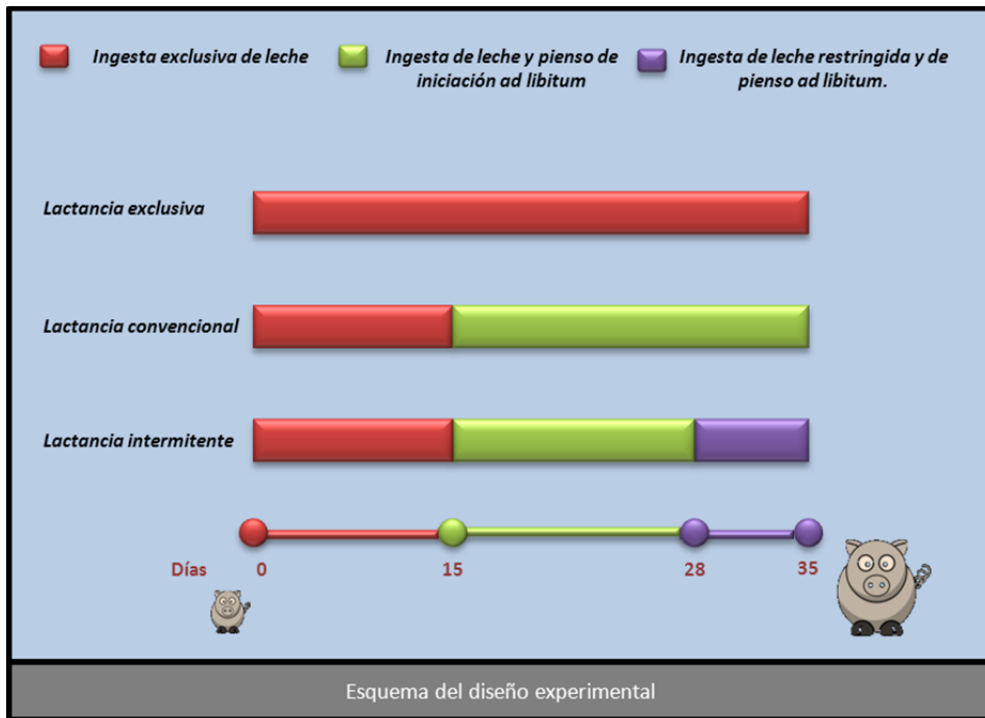
nacimiento a los lechones se les suministro mediante inyección intramuscular 200 mg del complejo Fe-dextrano (Imposil Forte®; Alstoe Ltd, UK).

3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Nuestro experimento comienza con el nacimiento de los lechones y finaliza tras 34 días de lactancia. Se realizaron los siguientes grupos experimentales:

- a. *Tratamiento de lactancia exclusiva*: los lechones tuvieron libre acceso a la madre las 24 horas del día, siendo la leche materna su única fuente de alimento.
- b. *Tratamiento de lactancia convencional*: durante los primeros 14 días de vida sólo ingirieron leche materna. A partir del día 15 tuvieron, además, libre acceso al pienso de iniciación y agua *ad libitum* hasta el día 34.
- c. *Tratamiento de lactancia intermitente*: los lechones fueron sometidos a la siguiente pauta de alimentación:
 - Primeros 14 días de lactancia, sólo leche materna.
 - Días 15 a 28: acceso permanente al pienso de iniciación a libre disposición.
 - Días 29 y 30: 6 horas de restricción de acceso a la madre (de 8:00 a 14:00 horas).
 - Días 31 y 32: 8 horas de restricción de acceso a la madre (de 8:00 a 16:00 horas).
 - Días 33 y 34: 10 horas de restricción de acceso a la madre (de 8:00 a 18:00 horas).

Durante los periodos de restricción de acceso a la madre, los lechones tenían libre acceso al pienso de iniciación así como agua *ad libitum*.



Los módulos con lechones asignados a lactación intermitente disponían de una valla móvil que les impedía el acceso a la madre durante las horas determinadas a lo largo del día, teniendo una superficie adecuada para sus movimientos de 0,70 x 2,40 m.



El ensayo se realizó en dos réplicas, cada una de ellas con 5 camadas por tratamiento (es decir, 5 camadas × 3 tratamientos = 15 camadas en cada réplica). Además, se utilizaron 4 cerdas nodrizas en cada réplica, destinadas a la obtención de muestras de leche. La temperatura ambiental de las salas fue de $27 \pm 2^\circ\text{C}$ en la primera

réplica (realizada en los meses de julio y agosto), y $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (durante octubre y noviembre) en la segunda réplica.

Mediante la técnica de los sacrificios comparados se determinó la retención corporal de nutrientes en el lechón Ibérico. Para ello, se sacrificaron 8 animales al nacimiento, 4 en cada una de las réplicas, y un animal de cada camada al final del ensayo (es decir, 5 por tratamiento en cada réplica). En cada réplica, los datos de composición del grupo inicial fueron utilizados para estimar la composición del resto de los lechones al nacimiento.

Cuando los lechones llegaron a los 35 días de edad se procedió a su sacrificio mediante la administración de 40 mg/kg de PV de pentotal sódico vía intraperitoneal y posterior exsanguinación. Una vez sacrificados, se les extrajo el tracto digestivo (que se vació y limpió) y el resto de los órganos. De cada lechón sacrificado se obtuvieron 4 compartimentos:

- Sangre: recogida en el momento del sacrificio, homogenizada manualmente para evitar su coagulación y congelada posteriormente a -20°C .
- Cabeza, patas y rabo.
- Canal: constituido por las dos semicanales. Los análisis físico-químicos se llevaron a cabo sobre la semicanal derecha.
- Vísceras: compuesto por hígado, riñones, pulmones y tráquea, corazón, bazo, tracto digestivo (incluyendo mesenterio y grasa asociada), lengua, vejiga y uretra.

Dichas fracciones o compartimentos se conservaron a -20°C hasta su posterior homegenización en una picadora de cuchillas (Cutters, Serie CRI 35, Castellvall, Castellar del Vallés, Barcelona), tomando de forma aleatoria muestras representativas del resultado final de la mezcla. Todas las muestras homogeneizadas y posteriormente

liofilizadas (Virtis Genesis, mod. SQ25EL), representativas de los componentes citados, se conservaron a -20°C hasta llevar a cabo los análisis correspondientes.

3.1.1. Pesada de los animales

Los animales de cada tratamiento se pesaron individualmente mediante una balanza electrónica (± 1 g) al nacimiento (dentro de las 6 primeras horas de vida), y, a partir del 5º día de lactación, se pesaron cada 7 días hasta los 35 días de edad. Por lo tanto, disponemos de los pesos individuales al nacimiento, 15, 28 y 35 días de edad.

En el caso del tratamiento de lactancia exclusiva y con la finalidad de calcular la ingesta de leche, cada día de medida se llevaron a cabo 8 determinaciones consecutivas de este parámetro con intervalos de 75 minutos. Los días en los que se realizaba esta determinación se procedió de la siguiente manera: los lechones se separaron de la madre, quedando alojados en un recinto en el que disponían de acceso libre al agua. Transcurrida una hora, los animales se colocaron sobre una superficie fría para estimular los procesos de orina y defecación. Cada lechón se pesó individualmente (Noblet y Etienne, 1989), con el fin de determinar su ingesta particular de leche. Una vez que se pesaron todos los lechones, se colocaron junto a su madre, de modo que pudieran mamar. Mientras se encontraban mamando, los lechones no tuvieron acceso al agua, de modo que el aumento de peso se debió exclusivamente a la ingesta de leche. En cada amamantamiento, los lechones permanecieron junto a su madre de 7 a 10 minutos. Al terminar de mamar, se colocaron los lechones en una caja de plástico previamente tarada y se pesaron todos a la vez. Se obtuvo de este modo el peso total de la camada. A continuación, se sacaron los lechones de la caja uno a uno, anotando cada vez el peso de la caja con los lechones que permanecían en ella. Si durante el proceso se observaban restos de orina o de heces, y no se sabía a qué animal pertenecían, se prorrateó su peso entre toda la camada. Los lechones extraídos de la caja se volvieron a colocar en el recinto anterior, para que permanecieran separados de su madre hasta la siguiente determinación. Dicho procedimiento se repitió hasta haber obtenido 8 determinaciones.

3.1.2. Cálculo de la ingesta de leche

A partir de los datos recopilados, la ingesta de leche de cada lechón se calculó como la diferencia entre el peso del lechón antes de mamar (p, g) y el peso del lechón después de mamar (p', g) más un factor de corrección. Dicho factor se utiliza debido a la pérdida de peso que se produce en los animales mientras están mamando como consecuencia de la evaporación y actividad física durante dicho proceso. En el caso de no aplicar dicha corrección, estaríamos subestimando la ingesta de leche individual de cada animal (Klaver et al., 1981).

Para estimar el valor del factor de corrección se realizaron observaciones complementarias en lechones en lactación con edades comprendidas entre 1 y 34 días, llevadas a cabo mediante la colocación de un número de animales dentro de un contenedor y registrando el peso total de los mismos a tiempos determinados. Los lechones permanecieron en el contenedor bajo observación durante un periodo de tiempo que oscilaba entre 25 y 40 minutos, de modo que se pudiera evaluar su actividad (baja, moderada o alta). Trascurrido dicho tiempo, el contenedor con los lechones se pesaba de nuevo, repitiéndose el proceso en numerosas ocasiones. Se seleccionaron aquellas observaciones en las que la actividad de los lechones había sido calificada de moderada a alta, ya que era la que más se asemejaba a la actividad de los lechones durante la lactancia. Por último, se expresó la pérdida de peso en $g/kg^{0,75}$ min.

$$\text{Factor de corrección} = \frac{(na \times \text{PROMEDIO (alta)}) + (nm \times \text{PROMEDIO (moderada)})}{N}$$

Donde:

- **na**, es el número de observaciones con actividad alta;
- **nm**, es el número de observaciones con actividad moderada;

- **PROMEDIO (alta)**, es la media de los valores observados con actividad alta;
- **PROMEDIO (moderada)**, es la media de los valores observados con actividad moderada;
- **N**, es el número total de observaciones.

De este modo se obtuvo que durante la lactación los lechones perdían 0,1271 g/kg^{0.75} min., siendo este un valor inferior al obtenido por Noblet y Etienne (1986), determinado en 0,210 g/kg^{0.75} min en sus observaciones.

Una vez obtenido el factor de corrección, la ingesta de leche individual de cada lechón se calculó como:

$$\text{Ingesta de leche} = (p' - p) + 0,1271 \times \left(\frac{p}{1000}\right)^{0,75} \times \text{min mamando}$$

De las 8 observaciones que se realizaron cada día de medida, las dos primeras se descartaron ya que fueron consideradas como de adaptación de los lechones al manejo al que eran sometidos y, por tanto, para la estimación de la ingesta de leche sólo se utilizaron las 6 mediciones restantes. El valor de ingesta obtenido en el tiempo que transcurrió desde la tercera a la octava medición, se extrapoló a 24 horas, obteniendo de ese modo la ingesta total de cada lechón a lo largo de ese día. Este procedimiento se realizó en cada uno de los días en los que hubo determinaciones de ingesta, es decir, los días 5, 12, 19, 16 y 34 del periodo de lactación. La ingesta total de cada lechón durante los 34 días de lactación se calculó asumiendo que la producción cambiaba linealmente entre las sucesivas medidas.

3.1.3. Recolección y análisis de las muestras de leche

Con el fin de determinar la ingesta de nutrientes de los lechones del grupo de lactancia exclusiva, se llevó a cabo la recolecta de muestras de leche y su posterior análisis nutricional. Para ello se seleccionaron 8 cerdas nodrizas, 4 en cada réplica del ensayo, sometidas a idénticas condiciones experimentales que las cerdas destinadas a los diferentes ensayos de lactación, a las que se les extrajo mediante ordeño manual distintas muestras de leche a lo largo del periodo de lactación, los días 5, 12, 19, 26 y 34 posteriores al parto. El proceso de extracción de la leche de las cerdas se describe a continuación:

Dos horas antes de proceder al ordeño de cada cerda, se le retiraban sus lechones con el fin de evitar que éstos vaciaran el contenido de las mamas, y así poder obtener una cantidad de leche suficiente. Transcurridas las dos horas, a la cerda se le inyectaba 10 U.I. de oxitocina. Aproximadamente un minuto tras la inyección, la hormona surtía efecto y se procedía al ordeño manual de todas sus glándulas mamarias funcionales, obteniéndose en cada ordeño aproximadamente 200 mL de leche. Con el fin de que la cerda facilitara el proceso de ordeño, a primera hora de la mañana se le daba solamente la mitad de la ración de pienso que le correspondía, y mientras se realizaba el ordeño, se le suministraba el resto. El proceso de eyección de la leche duraba sólo unos minutos, por lo que para poder ordeñar todas las glándulas funcionales se necesitó apoyo de personal. Las muestras de leche así obtenidas se almacenaron en botellas de plástico opacas a -20°C hasta que fueron analizadas.

Para llevar a cabo el análisis de las muestras, primero se descongelaron a temperatura ambiente, y después se reconstituyeron mediante agitación suave en un baño a una temperatura de aproximadamente 38°C durante 1 hora (Bibby Scientific, SBS30, UK) y posteriormente, mediante un baño de ultrasonidos (P. Selecta, mod. 514; Spain) se consiguió obtener una muestra final homogénea. A partir de dicha muestra se tomó una alícuota que se liofilizó (Virtis Genesis mod. SQ25EL) para llevar a cabo los análisis de materia seca, cenizas, energía bruta y minerales (Ca, P, Mg, Fe, Cu y Zn). Por su parte, la determinación de proteína bruta (N total x 6,38) y grasa se realizó en alícuotas de leche fresca.

3.1.4. Cálculo de la ingesta de nutrientes de la leche

Una vez obtenida la composición de la leche en cada día de muestreo, se asumió que tal composición era la misma que la de la leche consumida por los animales a los que se les estimó su ingesta. De ese modo, para obtener la ingesta de nutrientes de cada lechón se relacionó la ingesta de leche consumida en cada periodo de muestreo con la composición de la leche obtenida en el muestreo realizado el día que finalizaba el periodo estudiado, es decir, a la ingesta de leche consumida entre los muestreos realizados los días 5 y 12 de lactación, se le asignaba la composición nutricional de la leche correspondiente al día 12 de lactación, y así, hasta completar todos los periodos estudiados a lo largo del ensayo.

3.1.5. Cálculo de la ingesta de pienso de iniciación

El pienso de iniciación se ofreció a los lechones a partir del día 15 de lactación, en los grupos de lactancia convencional e intermitente, mediante comederos de plato anclados a la rejilla de cada parque. Se colocaban pequeñas cantidades de pienso en de cada comedero y su contenido que se reponía a medida que éste era consumido por los lechones. Las cantidades ofrecidas y consumidas se anotaban diariamente. El pienso consumido por cada lechón se calculó dividiendo la cantidad total de pienso consumida por día y por parque por el número de lechones de la camada. Se tomó una muestra representativa de la dieta para realizar posteriormente su análisis nutricional. El pienso de iniciación utilizado y ofrecido *ad libitum* a los lechones, pertenecía a la marca comercial “Milkiwean” (fabricado por Trouw Nutrition España, S.A., Madrid, España).

3.2. COMPOSICIÓN CORPORAL Y RETENCIÓN DE NUTRIENTES Y ENERGÍA

La composición físico-química de los lechones se analizó sobre el material homogenizado representativo de cada uno de los 4 componentes en que se dividió el cuerpo del animal (canal, vísceras, sangre y el compartimento formado por cabeza, patas y rabo) mediante la aplicación de las técnicas analíticas citadas en el apartado 3.3.

Una vez realizados los análisis de composición porcentual en MS, N y minerales totales, así como del contenido energético (kJ/g), el contenido en grasa total (calculado mediante la diferencia entre el contenido energético total y el correspondiente al contenido en proteína) y la composición mineral (Ca, P, Mg, Fe, Cu y Zn) para cada uno de los componentes corporales citados anteriormente, se procedió a calcular, a partir de estos datos y del peso vivo vacío (PVV), las cantidades totales (en g) de proteína, grasa y minerales totales en cada animal completo.

Los valores obtenidos por este método se compararon con el peso seco (PS, g de MS) mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Desviación (\%)} = \frac{(g \text{ proteína} + g \text{ grasa} + g \text{ minerales totales}) - PS (g \text{ MS})}{PS(g \text{ MS})} \times 100$$

Esta desviación nos indica si los análisis físico-químicos y cálculos desarrollados se realizaron o forma correcta, es decir, nos da una medida de la bondad de la aplicación del método a la composición corporal de cada animal.

Como aparece en los siguientes capítulos, se tomaron 8 (4 en cada réplica) animales sacrificados para constituir el lote inicial. En primer lugar, se calculó la media aritmética del cociente PVV/PV, que se utilizó posteriormente para estimar el PVV inicial de cada animal de los lotes experimentales al comienzo de nuestros ensayos (PVV_i). Esta variable (PVV_i) se estimó multiplicando el PV de cada lechón en el

momento de iniciar el ensayo (PV_i) por la relación media PVV/PV media del lote inicial, citada anteriormente. En el lote inicial, se estableció la proporción de cada componente con respecto al PVV de cada animal ($comp, g/g$), a partir de los pesos en fresco de los componentes en que se dividió el cuerpo de los cerdos tras su sacrificio. A partir de los valores medios de estas relaciones ($componente/PVV$), estimamos el peso de cada uno de estos componentes al inicio del ensayo.

La composición química de los componentes corporales de los cerdos del lote experimental al inicio y al final del ensayo se calculó como se detalla a continuación. El peso seco inicial (PS_i, g) o final (PS_f, g) de cada componente, calculado a partir del material residual en la muestra representativa libre completamente de agua, es decir, liofilizada y determinado en ésta su contenido residual de agua mediante el análisis de MS de la muestra liofilizada, se obtuvo de forma diferente para los estados inicial y final:

$$PS_i(g) = PVV_i(g) \times comp (g/g) \times ML (g/g) \times MS (g/g)$$

$$PS_f(g) = P_{comp}(g) \times ML (g/g) \times MS (g/g)$$

Definimos “ PS_i ” y “ PS_f ” (g) como los pesos secos para los componentes al inicio y final del ensayo, respectivamente; “ PVV_i ” (g) es el PVV inicial, “ $comp$ ” (g/g) es la proporción calculada de cada componente en el organismo del animal al inicio del ensayo, “ P_{comp} ” (g) es el peso del componente al final del ensayo, “ ML ” y “ MS ” (g/g) son las proporciones de sustancia liofilizada (respecto a sustancia fresca) y de MS (respecto a sustancia desecada por liofilización) en el material liofilizado, respectivamente, para un componente dado al inicio o final del ensayo.

El contenido en proteína de cada uno de los componentes (proteína, g) en el grupo experimental tanto al inicio como al final del ensayo, se calculó a partir del peso seco ($PS_{i,f}, g$) y de su contenido en proteína expresado como proporción de su MS ,

excepto para el componente sangre, ya que la proteína de la sangre se obtiene mediante análisis químico directo de ésta, mientras que para el resto de componentes corporales se usa el material liofilizado.

$$\text{Proteína (g)} = PS_{i,f} (g) \times \frac{\text{Prot (g/g)}}{\text{MS (g/g)}}$$

Para esta fórmula, “Prot (g/g)” y “MS” (g/g) son el contenido en proteína y el de la MS determinados en el material liofilizado representativo del componente.

La composición en cenizas o minerales totales (g) se calculó de la misma forma: el contenido en cenizas totales, obtenido para cada componente animal mediante análisis en el laboratorio, se expresó en función de la MS del componente dado.

Además, se realizó el cálculo del contenido de cada mineral (Ca, P, Mg, Fe, Cu y Zn), expresado en g o mg dependiendo del mineral. El contenido mineral en el grupo experimental tanto al inicio como al final del ensayo se calculó a partir del peso seco ($PS_{i,f}$, g) y de su contenido en cada mineral expresado como proporción de su MS:

$$\text{Contenido mineral (g)} = PS_{i,f} (g) \times \frac{\text{Contenido mineral (g/g)}}{\text{MS (g/g)}}$$

La energía total de cada componente del animal (E_t , kJ) se calculó de igual forma para los estados inicial y final del ensayo. Debido a que los resultados de energía bruta obtenidos en la bomba calorimétrica aparecen expresados en cal/g, se requiere de su multiplicación por 4,184 para transformarlos en julios/g; se usaron los múltiplos kJ y MJ en todos los casos. Los cálculos realizados se reflejan en la siguiente fórmula:

$$E_t(J) = 4,184 \times PS_{i,f} \times \frac{EB (cal/g)}{MS (g/g)}$$

En dicha expresión, “EB” corresponde a la energía bruta media del material liofilizado. La energía depositada como proteína ($E_{pi,f}$ kJ) se obtuvo multiplicando el valor de Proteína (g) por el factor 23,85 debido a que la entalpía de combustión (energía bruta) media de 1 g de la proteína equivale a 23,85 KJ/g (Wenk et al., 2001).

La energía depositada como grasa ($E_{gi,f}$ kJ) se obtuvo restando a E_t el valor energético de la energía correspondiente al componente proteico (E_p) para el inicio y final del experimento. Obviamos el valor energético de los hidratos de carbono en el cálculo anterior debido a su reducida presencia en los componentes analizados. El contenido en grasa (g) se obtuvo dividiendo $E_{gi,f}$ por el factor 39,75 kJ/g, valor correspondiente a la entalpía de combustión (energía bruta) media de 1 g de grasa (Wenk et al., 2001). El cálculo corresponde con la siguiente expresión:

$$E_{gi,f} = E_{ti,f} - E_{pi,f}$$

El factor 39,75 kJ/g es el que se acepta generalmente para su aplicación en los estudios de metabolismo energético en animales. Fue propuesto por E. Brouwer (1965), aunque subestima aproximadamente un 2% la cantidad de grasa presente en el componente analizado.

Finalmente, la cantidad de agua (g) de cada uno de los 4 compartimentos de cada lechón del grupo experimental al comienzo del ensayo, se obtuvo por diferencia entre el peso fresco, calculado como $PVVi$ multiplicado por la fracción constituida por el componente correspondiente, y el PSi . Al término del ensayo dicha cantidad se calculó restando del peso del componente al finalizar el ensayo (peso final, g) su peso seco. Las retenciones de nutrientes y energía se expresan en relación a los días del ensayo (g/d o a la ganancia de peso (g/kg de PVV ganado). Para ello, se restó la cantidad de nutriente o energía existente en el componente al inicio del ensayo (nutriente en producto inicial, g) de la existente al término del mismo (nutriente en

producto final, g) y se dividió la diferencia entre el número de días o los kg de peso ganados durante el ensayo. La siguiente fórmula se usó de forma similar para calcular E_p , la retención de energía total (ER) y E_f , así como para el cálculo de las retenciones de grasa, cenizas, minerales y agua.

$$\text{Proteína (g/d)} = \frac{\text{Prot. final} - \text{Prot. inicial}}{\text{días}}$$

$$\text{Proteína (g/kg PVV ganado)} = \frac{\text{Prot. final} - \text{Prot. inicial}}{\text{kg de PVV ganado}}$$

La composición química (g/kg PVV) de los lechones se obtuvo dividiendo la composición corporal dada en términos absolutos (g) para cada uno de los elementos analizados por el PVV final del animal. Los pesos de los componentes canal, cabeza, vísceras y diferentes órganos por separado, se refirieron al PVV final del animal.

Por último, todos los datos obtenidos se refirieron al porcentaje de sustancia o materia fresca.

En el grupo de lactancia exclusiva se calculó, además, la eficiencia de utilización de cada uno de los nutrientes o biodisponibilidad (%), mediante la siguiente fórmula: $R/I \times 100$, en la que I es la cantidad ingerida de un nutriente, (calculada a partir de la composición de la leche y de la ingesta de la misma) y R es la cantidad retenida del nutriente en cuestión (calculada mediante la diferencia entre el contenido final y el inicial).

3.3. TÉCNICAS ANALÍTICAS

3.3.1. Energía y macronutrientes

- *Determinación de la materia seca (MS)*

Se determinó a partir de la pérdida de peso que sufre la muestra en estufa de desecación a $103 \pm 1^\circ\text{C}$ (AOAC, 2003) durante un periodo de 20-24 horas.

- *Determinación de cenizas*

Los minerales o cenizas totales, expresados en porcentaje de MS, constituyen el residuo obtenido tras la incineración de la muestra a $550 \pm 25^\circ\text{C}$ en un horno mufla, donde se alcanza la temperatura descrita durante unas 6 horas (elevando la temperatura de forma progresiva). Para el análisis de las muestras de sangre liofilizada, el aumento de la temperatura se hizo de una forma más escalonada ($50^\circ\text{C}/\text{hora}$) con el fin de evitar pérdidas de material por proyección de la muestra.

- *Determinación de la proteína bruta (PB)*

Se calculó por determinación de nitrógeno (N) total mediante el método Kjeldahl (AOAC, 2003). Utilizamos el valor de conversión de 6,25, el cual asume un contenido medio de 0,16 g de N/g de proteína. Se determinó el N mediante el sulfato amónico producido y destilado con exceso de NaOH en corriente de vapor (Büchi Laboratoriums Technik AG, Flawil, Suiza). El NH_3 liberado se recoge sobre una solución de ácido bórico al 2% y se realiza su valoración con HCl 0,05N en un equipo automático (Titrador Metrohm AG, Herisau, Suiza). El porcentaje de N de la muestra se obtiene de la siguiente fórmula:

$$N (\%) = \frac{7 \times b \times f}{n \times a}$$

Donde a es el peso de la muestra mineralizada (g, mL), n son los mL de solución valorados, b se corresponde con los mL de HCl 0,05N gastados y f es el factor del HCl.

- *Determinación de la energía bruta (EB)*

Se llevó a cabo en una bomba calorimétrica isoperibólica (Modelo 1356 Parr Instrument Company, Moline, IL, EEUU), ubicada en un laboratorio termorregulado a $20 \pm 1^\circ\text{C}$. La EB de la muestra o su calor de combustión es:

$$EB \text{ (cal/g)} = \frac{k(T_f - T_i) - a}{p}$$

Donde k es la capacidad de calor efectiva del sistema, una constante que indica el número de calorías necesarias en el equipo para aumentar 1°C la temperatura del agua del vaso calorimétrico (se determina por combustión de un comprimido de ácido benzoico puro, de capacidad calorífica conocida); T_f y T_i son las temperaturas registradas al final y al inicio de la determinación, respectivamente; a es la suma de los contenidos energéticos del hilo metálico y de la bolsa de polietileno utilizados en el procedimiento, y p es el peso de la muestra en g.

3.3.2. Minerales

La determinación de los minerales se realizó previa mineralización húmeda de las diferentes muestras al someterlas a un tratamiento ácido a elevadas temperaturas ($180\text{-}200^\circ\text{C}$), inicialmente con HNO_3 durante aproximadamente 1 hora, y posteriormente con mezcla $\text{HNO}_3\text{:HClO}_4$ 1:4 hasta conseguir la total eliminación de la materia orgánica. La mineralización se realizó disponiendo las muestras en frascos adecuados resistentes al calor en un baño de arena (J.R. Selecta, S.A., COMBIPLAC, nº

serie 0373930). Seguidamente se diluyeron con agua Milli-Q para su posterior medida en espectrofotometría de absorción atómica, en un espectrofotómetro Perkin Elmer (Analyst 700). Para el caso del P, la cuantificación se realizó por colorimetría a 820 nm (Shimadzu UV-1700, Model TCC-240A, Columbia, USA) mediante el método del vanadimolibdato (AOAC, 2003).

Se prepararon soluciones estándar de todos los minerales de concentración 1 g/L utilizando ampollas Tritisol (Merck, Darmstadt, Alemania), a partir de las cuales se obtuvieron las correspondientes curvas patrón. Para la realización de la curva patrón de fósforo se utilizó KH_2PO_4 (fosfato monopotásico). Para las determinaciones de Ca y Mg se adicionó lantano al 0,3% (LaCl_3 , Merck) tanto en las muestras como en los estándares para evitar posibles interacciones. Las determinaciones analíticas se realizaron por triplicado en todas las muestras.

Para evitar la presencia de minerales, todo el material utilizado en el laboratorio fue lavado con ácido nítrico 0,1M y enjuagado con agua Milli-Q.

A la hora de realizar un control de la exactitud en la determinación de los distintos minerales se emplearon diferentes patrones de referencia externos:

- Para las determinaciones de Ca, P y Mg se utilizó *polvo de leche* (Community Bureau of Reference B.C.R., Reference Material nº 63).
- En las determinaciones de Fe, Cu y Zn se cuantificó utilizando los siguientes patrones externos: *riñón de cerdo liofilizado* (Community Bureau of Reference B.C.R., Reference Material número 186), en el caso del Fe; *hígado liofilizado* (Community Bureau of Reference (B.C.R.), Reference Material número 185R), para la determinación de Cu y Zn.

Los valores certificados y determinados en dichos patrones se recogen en la siguiente tabla:

Mineral	Patrón	Valor certificado	Valor determinado
Ca (mg/g)		13,49±0,11	13,47±0,04
Mg (mg/g)	Polvo de leche	1,26±0,02	1,29±0,02
P (mg/g)		11,10±0,13	11,04±0,03
Fe (µg/g)	Riñón liofilizado	214±5	215,6±5
Cu (µg/g)	Hígado liofilizado	189±4	192,1±5
Zn (µg/g)		142±3	146,3±2
Valores certificados y determinados para los patrones externos (B.C.R.)			

Asimismo, la precisión de los análisis de los minerales estudiados se controló mediante el cálculo del coeficiente de variación interensayo (%). Se obtuvieron los siguientes valores:

- Tejidos corporales (%): Ca, 2,07; Mg, 5,16; P, 0,73; Fe, 3,21; Cu, 6,90, y Zn, 1,93.
- Muestras de leche (%): Ca, 1,99; Mg, 3,74; P, 1,87; Fe, 2,01; Cu, 3,45, y Zn, 2.

CAPÍTULO 4

Utilización de los minerales de la leche por lechones Ibéricos en lactación

**R. CASTELLANO, M.A. AGUINAGA, R. NIETO, J.F. AGUILERA, A. HARO E I.
SEIQUER**

2012

Utilization of milk minerals by the Iberian suckling piglet

Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. Enviado

4.1. ABSTRACT

The utilization of milk main minerals and the mineral composition of Iberian (IB) suckling piglets were studied in two consecutive trials. Milk composition and the piglets' performance were determined weekly over a 34-day lactation period, after which body mineral contents and mineral retention were analyzed. The ash content in Iberian sows' milk and in the suckling Iberian piglet was found to be higher than that reported for lean genotypes. During lactation, mean ash content per unit of body weight gain in IB piglets (40.6 g/kg) was considerably higher than that observed for lean breeds (28-29 g/kg), and weaned IB piglets contained more Ca (11-12.7 vs. 7.4 g/kg EBW) and P (7-7.5 vs. 4.9 g/kg EBW), compared with conventional pigs. Minerals from milk were retained by the IB piglet with an efficiency of 78.3%, 66.3% and 48.7% for Ca, P and Mg, respectively. Present findings underline genotype differences in mineral composition of sow's milk and suckling piglets and may provide a useful starting point for formulating specific milk-replacer diets for Iberian piglets.

Keywords: Milk composition; suckling Iberian piglets; mineral balance; ambient temperature

4.2. INTRODUCTION

Minerals have received little attention in swine nutrition, although they perform essential structural and metabolic functions (Underwood and Suttle, 2002). The piglet's reserves of minerals must be substantial to support the rapid growth and maturation of tissues in its early life; during pregnancy many minerals pass satisfactorily across the placenta to the foetuses but from birth, most of them are supplied in milk (Close and Cole, 2003). The main components of the mineral milk fraction are Ca, P and Mg; Ca and P are advantageous to bone growth, thereby contributing to the animal's overall strength, and Mg has many physiological functions and is involved in more than 300 enzymatic metabolic reactions.

The Iberian (IB) pig is a low performing pig with a low genetic potential for lean tissue deposition (Nieto et al., 2002), much appreciated due to the high quality of its products. The slower growth rate of the Iberian suckling piglet, compared with lean genotypes, may be related to a comparatively decreased efficiency of use of milk energy and protein in the former (Aguinaga et al., 2011a). Nowadays, data concerning the composition of the mineral fraction of IB sow's milk are lacking. Moreover, as maternal milk provides the sole nutrient supply in the early life, evaluation of the utilization of minerals from milk -rather than gross mineral composition- would provide a suitable starting point for formulation of specific milk-replacer diets. However, there is no information about the body retention of minerals by the suckling IB piglet.

The objectives of this experiment were to study the mineral composition of the sow's Iberian milk during a 34-day lactation period, the body mineral composition and the mineral balance in IB suckling piglets at weaning. In order to assess mineral balance the comparative slaughter procedure was used. The study was focussed to Ca, P and Mg, the major contributors to the mineral fraction of milk.

4.3. MATERIALS AND METHODS

Animals, management and general procedures of the experiment have been described elsewhere (Aguinaga et al., 2011a). Briefly, sixteen third-parity purebred IB sows (Silvela strain) were used in two consecutive trials ($n = 8$). In each trial, four sows were selected to study milk production, litter performance and piglets' nutrient balance measurements, and the other four for milk sampling. The environmental temperature of the farrowing room was $27 \pm 2^\circ\text{C}$ in the first trial and $22 \pm 2^\circ\text{C}$ in the second one. During the week prior to farrowing and the lactation period, the sows were fed a commercial lactation feed (PACSA-Sanders, Seville, Spain) containing per kg, as fed, 12.76 MJ metabolizable energy, 144 g CP, 6.8 g Lys. Analysis of the diets ($n=3$ in each trial) revealed no significant differences in the mineral content between trials (g/kg, mean \pm SD: Ca 10.32 ± 0.14 , P 7.70 ± 0.26 , Mg 1.86 ± 0.01). The sows' live weight just after farrowing was 130-140 kg. Sows and litters were provided with water *ad libitum*.

Shortly after birth, the piglets were administered 200 mg Fe-dextran complex (Imposil Forte®; Alstoe Ltd, UK) via i.m. injection. Litter size was equalized to six piglets on the day after farrowing by cross-fostering, and four piglets in each litter were used to calculate milk intake, piglet performance and body composition. Procedures used in these experiments were approved by the Bioethical Committee of Spanish National Research Council (CSIC).

Milk samples were collected from the four nursing sows on day 5, 12, 19, 26 and 34 postpartum as described in Aguinaga et al. (2011a), and stored at -20°C until analyzed. In order to calculate the piglets' individual milk intake during lactation the weigh-suckle-weigh technique (Speer and Cox, 1984) was followed on days 5, 12, 19, 26 and 34 postpartum; total milk intake over the whole lactation period was determined assuming that milk production changed linearly between the successive measurements. Piglets were individually weighed at birth and from day 5 of lactation, every seven days. The average daily gain (ADG) was calculated for each period. Mineral retention was calculated from the difference between mineral body content at weaning and mineral body content at birth, following the comparative slaughter

procedure. Within each litter, one piglet at birth and four of the six nursing piglets in the morning of day 35 of life, all with a body weight (BW) close to the litter average, were anaesthetized by intra-peritoneal puncture of sodium pentobarbital (40 mg/kg BW; Sodium Pentothal®; Abbott Lab.) and subsequently bled. Tissue samples (blood, viscera, carcass, and head/feet/tail as a whole) were collected and processed as described in Aguinaga et al. (2011a). Within each trial, body composition data from the initial slaughter group were used to estimate body composition of the other 16 piglets at birth.

4.4. ANALYTICAL TECHNIQUES

Mineral analyses in milk, piglet tissues and diets were performed in triplicate. The total ash content was determined by standard procedures (AOAC, 2003). Analyses of Ca and Mg were carried out by flame-atomic-absorption spectroscopy in a Perkin-Elmer Analyst 700 Spectrophotometer (Norwalk, Conn., USA). Total P was determined colorimetrically at 820 nm in a spectrophotometer (Shimadzu UV-1700, Model TCC-240A, Columbia, USA) by the vanadomolibdate procedure (AOAC, 2003). Before mineral composition analyses, samples were digested by the addition of concentrated $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ (1:4) and heating to high temperatures in a sand beaker (Block Digestor Selecta S-509; J.P.Selecta, Barcelona, Spain).

Previous to Ca determination, lanthanum chloride (0.3%) (Merck) was added to samples and standards. Pools of biological samples and milk were used as an internal control to assess analytical precision. The interassay coefficients of variation (CV%) in body tissues were: Ca 2.07, Mg 5.16, P 0.73; in milk samples were: Ca 1.99, Mg 3.74, P 1.87. Accuracy of mineral analysis was tested using skim milk powder (BCR 063R) as certified external standard (Community Bureau of Reference, Brussels, Belgium).

The efficiency of utilization of each mineral was determined as $R/I \times 100$, where I is mineral intake (calculated from milk composition and intake) and R is mineral retention (calculated from initial and final body content).

4.5. STATISTICAL ANALYSIS

Data concerning milk mineral composition were analyzed using a repeated-measure two-way ANOVA randomized design to examine the effects of the trial, the period of lactation and the interaction between the two factors, using the MIXED procedure of SAS (SAS, 2004).

Data on piglets' body composition and mineral utilization were analyzed by one-way ANOVA with the trial as variation factor by the GLM procedure of SAS (SAS, 2004). Statistical significance was assessed using Fisher's least significant difference test (LSD). The level of significance was set at 5%.

4.6. RESULTS AND DISCUSSION

Data on the composition of IB sows' milk concerning energy, organic nutrients and total ash have been published recently (Aguinaga et al., 2011a). Several studies have been reported on sows' milk composition (Klobasa et al., 1987; Revell et al., 1998; Alston-Mills et al., 2000), most of which focused on evaluating the protein, fat and lactose milk content.

However, there is little information on the mineral composition of the sow milk, and none related to IB sows' milk. Total ash content in IB sows' milk increased over lactation from 8.9 to 12.0 g/kg and attained an average value of 10.4 ± 0.3 (Aguinaga et al. 2011a), higher than those reported for conventional breeds, which range from 7.5-7.7 g/kg (Noblet and Etienne 1986) to 8.0-8.4 g/kg (Csapó et al., 1996; Renaudeau et al., 2003). This increased ash milk content might be related to the higher bone-to-lean tissue ratios observed in IB pigs compared to leaner genotypes (Nieto et al., 2008). In the present experiment, individual analysis of milk minerals shows that the sharp increase in ash content over lactation, observed previously, was due to significant rises in Ca, P and Mg, which changed between 215-325, 181-235 and 10.9-14.9 mg/100g for Ca, P and Mg, respectively, from days 5 to 34. Our results agree with those of previous studies in which Ca concentration in milk increased from parturition to weaning (Miller et al., 1994; Csapó et al., 1996; Alston-Mills et al., 2000).

Nevertheless, while the Ca proportion reached 25.5-26.5% of the mineral fraction of the IB sow milk, the range reported in other genotypes is only 21-23% (Miller et al., 1994; Csapó et al., 1996). The IB sow milk also had higher contents of P and Mg than those described by Csapó et al., (1996) in lean pigs. On the other hand, milk content of Ca, P and Mg differed ($P < 0.001$) between trials, as follows (mg/100g): 286-243 Ca, 215-180 P and 13.3-11.6 Mg, for trials 1 and 2, respectively. Renaudeau and Noblet (2001) reported that exposure to high environmental temperatures (29°C vs. 20°C) tended to increase DM, energy and ash contents in milk of conventional sows, without affecting protein, lactose or fat, suggesting that changes in milk composition could be related to the more intense mobilization of body reserves in hot conditions.

However, subsequent observations have shown that sows' milk composition is not affected by ambient temperature, although mammary blood flow is higher at 28°C than under thermoneutral conditions, without modifying milk production (Renaudeau et al., 2003). Without discarding other factors, the variations in mineral concentrations found in the current assay between trials in the sows' milk could be related, at least in part, to the differences observed in ambient temperature; it is hypothesized that there may be an increased proportion of blood flow irrigating the mammary gland, or a higher mineral mammary extraction rate under hot conditions.

No significant effect of the trial on the body composition of the IB piglets at birth was found and, therefore, data of newborn animals were pooled (mean \pm SEM, Table 1).

At birth, piglets contained an average of 40 g of ash per kg empty body weight (EBW), 35% of which was Ca and 19.5% was P. Limited information has been published concerning piglet composition at birth, (Noblet and Etienne, 1986; Noblet and Etienne, 1987; Everts and Dekker, 1994) and most of it correspond to early papers. Newborn IB piglets have higher contents (g/kg) of protein, ash, fat (more than double) and energy (Aguinaga et al. 2011a) compared to conventional breeds (Elliot and Lodge, 1977). Values of Ca and P are also higher, while Mg levels are similar to those described by Everts and Dekker, (1994) and others taken from previous literature.

Table 1. Body composition and mineral composition of body components of Iberian piglets measured at birth and after 34 days of nursing period in two consecutive trials				
	At birth*	At weaning†		p-value§
		Trial 1	Trial 2	
Empty body weight [EBW]	1.26 ± 0.03	6.63 ± 0.13	6.93 ± 0.17	
Ash [g/kg EBW]	40.0 ± 1.3	40.8 ± 0.6	38.6 ± 0.6	<0.05
Calcium				
total body [g]	17.7 ± 0.9	84.4 ± 2.5	76.1 ± 2.8	<0.05
g/kg EBW	14.1 ± 0.7	12.7 ± 0.3	11.0 ± 0.4	< 0.001
carcass [g/kg]	5.20 ± 0.27	12.0 ± 0.3	10.0 ± 0.5	<0.01
blood [g/kg]	0.03 ± 0.002	0.18 ± 0.01	0.22 ± 0.02	<0.10
viscera [g/kg]	0.05 ± 0.003	0.16 ± 0.01	0.12 ± 0.01	<0.01
head/feet/tail [g/kg]	8.77 ± 0.45	30.9 ± 0.7	28.6 ± 0.7	<0.05
Phosphorus				
total body [g]	9.80 ± 0.44	49.4 ± 1.2	48.7 ± 1.2	
g/kg EBW	7.80 ± 0.34	7.5 ± 0.1	7.0 ± 0.1	<0.05
carcass [g/kg]	2.53 ± 0.11	7.6 ± 0.1	7.0 ± 0.2	<0.05
blood [g/kg]	0.15 ± 0.006	0.06 ± 0.001	0.06 ± 0.004	
viscera [g/kg]	0.96 ± 0.042	0.69 ± 0.02	0.66 ± 0.01	
head/feet/tail [g/kg]	4.16 ± 0.18	15.1 ± 0.3	15.2 ± 0.3	
Total body Ca:P	1.80 ± 0.04	1.71 ± 0.01	1.56 ± 0.05	<0.05
Magnesium				
total body [g]	0.46 ± 0.019	2.30 ± 0.07	2.25 ± 0.06	
g/kg EBW	0.36 ± 0.014	0.35 ± 0.001	0.33 ± 0.001	<0.05
carcass [g/kg]	0.11 ± 0.004	0.35 ± 0.007	0.33 ± 0.008	<0.10
blood [g/kg]	0.02 ± 0.001	0.11 ± 0.002	0.12 ± 0.004	
viscera [g/kg]	0.07 ± 0.002	0.163 ± 0.003	0.163 ± 0.002	
head/feet/tail [g/kg]	0.17 ± 0.006	0.59 ± 0.01	0.55 ± 0.01	<0.05

* Values are means ± SEM of 8 piglets (4 × 2 trial).
† Values are means ± SEM of 16 piglets (4 sows × 4 piglets per litter) in each trial.
§ Comparison between trials of values obtained at weaning (one-way ANOVA followed by LSD test).

After a lactation period of 34 days, the IB piglet had similar body contents of protein, fat and energy to those described for conventional pigs weaned at 21 days (Aguinaga et al. 2011a), but ash content was always higher in IB piglets (around 40 vs. 30 g/kg EBW) (Table 1) (Noblet and Etienne, 1987; Everts et al., 1998; Renaudeau and Noblet 2001). This discrepancy may be explained by variations due to genotype and by differences in the rate of weight gain of the litter, as ash body content at weaning is negatively correlated with ADG (Noblet and Etienne, 1987). Moreover, the higher ash

content of the weaned IB piglet might be related to the composition of the IB sow milk, which is especially rich in minerals, as commented above.

Compared with lean pigs (Large White × Dutch Landrace) weaned at 25 days, Iberian 34 days weaned piglets contained per kg EBW more Ca (11-12.7 vs. 7.4 g/kg EBW) and P (7-7.5 vs. 4.9 g/kg EBW) and similar values of Mg (0.33-0.35 vs. 0.3 g/kg EBW), with a lower mean live weight (7.17 vs. 7.6 kg) (Everts et al., 1998). Ca and P play numerous roles; in addition to crucial functions in soft tissue metabolism, they are involved in maintaining bone integrity and preventing leg fractures (Mahan 1990), and probably in improving the immune response (Galloway et al., 1989; Alton-Mills et al., 2000). Taking into account the mineral content of the different body fractions, it can be calculated that the carcass contains, as an average, 60.0, 65.4 and 65.6% of total Ca, P and Mg, respectively, whereas the component head/feet/tail contributed 39.8, 33.2 and 26.9% to body Ca, P and Mg, respectively. Finally, 0.19, 1.42 and 7.5% of the total Ca, P and Mg, respectively, was located in viscera, while minerals determined in blood were negligible. Results of the present assay offer, for the first time, information concerning mineral distribution in body tissues in weaned IB piglets.

The mineral balance and the utilization efficiency (%R/I) of ash and minerals from milk are shown in Table 2. No significant differences between trials were observed in the mineral intake by the piglets, as in trial 2 the lower mineral content found in milk was counteracted by the higher milk intake. Mean ash content per unit of body weight gain in the weaned IB piglets (40.6 g/kg on average) was considerably higher than that observed for lean breeds (29-30 g/kg) (Noblet and Etienne, 1986; Noblet and Etienne, 1987; Everts et al., 1998). Everts et al. (1998) performed a mineral balance in lean piglets weaned at 25 days, calculating overall data for the litter. According to these authors, one kg of litter gain contains about 6.5, 4.5 and 0.27 g of Ca, P and Mg, respectively, whereas in our IB piglets the average values were 11.6, 7.1 and 0.32 g of Ca, P and Mg, respectively. However, mineral balance expressed as units of mineral retained per day is not very different between IB and lean breeds (1.7, 1.2 and 0.07 in the lean piglets and 1.8, 1.12 and 0.05 in IB piglets for Ca, P and Mg, respectively). Thus, differences in the mineral composition of piglets' gain between breeds may be due to the increased concentration of minerals in the IB sows' milk, on one hand, and to the lower ADG observed in the IB piglets, on the other.

Table 2. Mineral balance of suckling Iberian piglets after 34 days of nursing period in two consecutive trials *			
	Trial		p-value§
	1	2	
Ash			
intake [g/day]	9.34 ± 0.26	8.73 ± 0.27	
retention [g/day]	6.54 ± 0.18	6.39 ± 0.23	
[g/kgWG]	42.1 ± 0.8	39.2 ± 0.8	<0.05
%R/I	70.1 ± 1.3	73.3 ± 1.8	
Calcium			
intake [g/day]	2.36 ± 0.07	2.23 ± 0.07	
retention [g/day]	1.91 ± 0.07	1.65 ± 0.08	<0.05
[g/kgWG]	12.4 ± 0.3	10.3 ± 0.4	<0.001
%R/I	81.8 ± 1.4	74.9 ± 2.6	<0.05
Phosphorus			
intake [g/day]	1.78 ± 0.05	1.65 ± 0.05	<0.10
retention [g/day]	1.13 ± 0.03	1.11 ± 0.04	
[g/kgWG]	7.4 ± 0.1	6.7 ± 0.2	<0.05
%R/I	64.6 ± 1.0	68.1 ± 1.9	
Magnesium			
intake [g/day]	0.109 ± 0.003	0.106 ± 0.003	
retention [g/day]	0.052 ± 0.002	0.052 ± 0.002	
[g/kgWG]	0.34 ± 0.008	0.31 ± 0.007	<0.01
%R/I	48.7 ± 0.90	48.7 ± 1.18	
* Values are means ± SEM of 16 piglets (4 sows × 4 piglets per litter) in each trial.			
§ one-way ANOVA followed by LSD test.			
† WG: weight gain.			

As no differences were found between the trials with respect to final EBW, the tendency observed in trial 1 for a higher weight gain per unit of food (Aguinaga et al. 2011b) might be related to the increased deposition of minerals, as the ash content per kg of gain was significantly increased in trial 1, mainly due to the increased Ca concentration (nearly 30% of total ash in trial 1 vs. 26% in trial 2). A higher ash content

per unit of gain may indicate improved bone mineralization, and may be related to the increased Ca and P body contents and the higher Ca:P ratio found in weaned piglets in trial 1 (Table 1). These differences may be mainly explained by a) the higher mineral content of milk in trial 1 and b) the significantly increased efficiency of utilization of milk Ca, as 81.8% and 74.9% of the Ca supplied in milk was retained in trials 1 and 2, respectively. In 3-week old piglets fed either goat milk or a cow milk formula (Rutherford et al., 2006), Ca was retained with an efficiency of 89 and 92%, respectively, values that were inversely related to the Ca:P ratio in the milk. In our assay no differences between trials were observed in the Ca:P ratio of milk (1.33 and 1.35 in trials 1 and 2, respectively). A possible involvement of vitamin D in the increased Ca utilization found in the trial performed at the higher temperature cannot be discarded. Vitamin D (through its metabolite, the 1.25-dihydroxyvitamin D) is known to play an essential role in Ca absorption, and ambient temperature has been suggested as a contributing factor in the maintenance of adequate levels of vitamin D (Devgun, 1991). Efficiency of mineral retention of P and Mg in the study of Rutherford et al., (2006) were 96.2% and 55.3%, respectively, with no differences between goat and cow milk. These values were higher than the mean percentages obtained in the present assay, although ash from IB sow's milk is retained with a higher efficiency than any other nutrient (Aguinaga et al., 2011a). From the present results it may be concluded that Ca, P and Mg in sow milk are readily used by the IB suckling piglet and attain concentrations in body gain substantially higher than those reported in the literature for piglets of conventional breeds.

Acknowledgements

This study was supported by a research project of Junta de Andalucía No. AGR-3078. Rosa Castellano was recipient of a grant from Junta de Andalucía.

4.7. LITERATURE CITED

- AGUINAGA, M.A., GÓMEZ-CARBALLAR, F., NIETO, R., AGUILERA, J.F., 2011^a.** Production and composition of Iberian sow's milk and use of milk nutrients by the suckling Iberian piglet. *Animal*. 5 (9), 1390-1397.
- AGUINAGA, M.A., GÓMEZ-CARBALLAR, F.; NIETO, R., AGUILERA, J.F., 2011^b.** Utilization of milk amino acids by the suckling Iberian piglet. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 95, 771-780.
- ALTONS-MILLS, B., IVERSON, S.J., THOMPSON, M.P., 2000.** A comparison of the composition of milks from Meishan and crossbred pigs. *Livest. Sci.* 63, 85-91.
- AOAC, 2003.** Association of Analytical Chemistry. Official Methods of Analysis, 17th ed., 2nd revision. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- CLOSE, W.H., COLE, D.J.A., 2003.** Nutrition of sows and boars, 1st edn. London, Nottingham University Press.
- CSAPÓ, J., MARIN, T.G., CSAPÓ-KISS, Z.S., HÁZAS, Z., 1996.** Protein, fats, vitamin and mineral concentration in porcine colostrums and milk from parturition to 60 days. *Inter. Dairy J.* 6, 881–902.
- DEVGUN, M.S., 1991.** Serum 25-hydroxyvitamin D in Wistar rats fed vitamin D deficient or normal diet: effect of ultraviolet irradiation and temperature. *Medical Laboratory Sci.* 48, 193–198.
- ELLIOT, J.I., LODGE, G.A., 1977.** Body composition and glycogen reserves in the neonatal pig during the first 96 hours postpartum. *Can. J. Anim. Sci.* 57, 141–150.
- EVERTS, H., DEKKER, R.A., 1994.** Balance trials and comparative slaughtering in breeding sows: description of techniques and observed accuracy. *Livest. Sci.* 34, 339–352.
- EVERTS, H., JONGBLOED, A.W., DEKKER, R.A., 1998.** Calcium, magnesium and balance of sows during lactation for three parities. *Livest. Sci.* 55:109–115.
- GALLOWAY, S.T., JACOBSON, N.L., BEITZ, D.C., 1989.** Effect of dietary calcium and vitamin D₃ on immune response and blood parameters of young swine. *Swine Res. Report*.

- KLOBASA, F., WERHAHN AND BUTLER, J.E., 1987.** Composition of sow milk during lactation. *J. Anim. Sci* 64, 1458–1466.
- MAHAN, D.C., 1990.** Mineral nutrition of the sow: a review. *J. Anim. Sci.* 68, 573–582.
- MILLER, M.B., HARTSOCK, T.G., EREZ, B., DOUGLASS, L., ALSTON-MILLS, B., 1994.** Effect of dietary calcium concentrations during gestation and lactation in the sow on milk composition and litter growth. *J. Anim. Sci.* 72, 1315–1319.
- NIETO, R., MIRANDA, A., GARCÍA, M.A., AGUILERA, J.F., 2002.** The effect of dietary protein content and feeding level on the rate of protein deposition and energy utilization in growing IB pigs from 15 to 50 kg body weight. *Br. J. Nutr.* 88, 39–49.
- NIETO, R., SEIQUER, I., AGUILERA, J.F., 2008.** The effect of dietary protein content on calcium and phosphorus retention in the growing Iberian pig. *Livest. Sci.* 116, 275–288.
- NOBLET, J., ETIENNE, M., 1987.** Body composition, metabolic rate and utilization of milk nutrients in suckling piglets. *Repr. Nutr. Develop.* 27, 29–839.
- NOBLET, J., ETIENNE, M., 1986.** Effect of energy level in lactating sows on yield and composition of milk and nutrient balance of piglets. *J. Anim. Sci.* 63, 1888–1896.
- RENAUDEAU, D., NOBLET, J., 2001.** Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on sow milk production and performance of piglets. *J. Anim. Sci.* 79, 1540–1548.
- RENAUDEAU, D., NOBLET, J., DOURMAD, J.Y., 2003.** Effect of ambient temperature on mammary metabolism in lactating sows. *J. Anim. Sci.* 81, 217–231.
- REVELL, D.K., WILLIAMS, I.H., MULLAN, B.P., RANFORD, J.L., SMITS, R.J., 1998.** Body composition at farrowing and nutrition during lactation affect the performance of primiparous sows: II. Milk composition, milk yield, and pig growth. *J. Anim. Sci.* 76, 1738–1743.
- RUTHERFURD, S.M., DARRAGH, A.J., HENDRIKS, W.H., PROSSER, C.G., LOWRY, D., 2006.** Mineral retention in three-week-old piglets fed goat and cow milk infant formulas. *J. Dairy Sci.* 89, 4520–4526.

SAS INSTITUTE, SAS/STAT User's guide, Version 9.1.2. 2004. SAS Institute Inc, Cary, NC, USA.

SPEER, V.C., COX, D.F., 1984. Estimating milk yield of sows. *J. Anim. Sci.* 52, 1281–1285.

UNDERWOOD, E.J., SUTTLE, N.F., 2002. *The Mineral Nutrition of Livestock*, 3rd edn. CABI publishing, NY, USA.

CAPÍTULO 5

Efecto de la lactancia intermitente en la composición corporal de lechones Ibéricos destetados a los 35 días de edad

**R. CASTELLANO, A.M. AGUINAGA, R. NIETO, J.F. AGUILERA, A. HARO E I.
SEIQUER**

2012

**Effects of intermittent suckling on body composition of Iberian piglets
weaned at 35-d of age**

Journal of Animal Science. Enviado

5.1. ABSTRACT

An experiment was conducted to determine whether intermittent suckling (IS) affects body composition at weaning and retention of energy and nutrients during a 35-d lactation period in Iberian piglets. Iberian sows ($n = 20$) were subjected either to conventional suckling (CS) or IS ($n = 10$), during two consecutive replicates. Litters had free access to creep feed from d 15 of age onward. In the CS, sows were continuously present until weaning. In the IS, piglets were progressively separated from the sow during 6h on days 29-30, 8h on days 31-32 and 10h on days 33-34. Creep feed intake and weight evolution of litters were assessed throughout the 35-d lactation period. Within each litter, one piglet at birth and one in the morning of day 35, all with a body weight (BW) close to litter average, were used to study body composition.

Energy and nutrient retention were calculated following the comparative slaughter procedure. Feed daily intake was improved by IS during the last 7 d of lactation (IS, 125 ± 12 vs. CS, 67 ± 15 g/piglet, $P = 0.04$), although differences in BW at weaning did not attain statistical significance (IS, 8.1 ± 0.3 vs. CS, 7.2 ± 0.4 kg, $P = 0.11$). No significant differences between CS and IS litters were observed in protein body content or concentration at weaning, but values of body fat were significantly higher in IS animals, both in total ($P = 0.015$) and relative quantities ($P = 0.040$). Changes of body energy run in parallel to those of fat, as a strong correlation was observed between energy and body fat content ($r = 0.989$, $P = 0.000$). Total ash content was increased in IS litters ($P = 0.016$), although differences were not significant when expressed on a per kg EBW basis. Ash body concentration was well correlated with calcium levels ($r = 0.920$, $P = 0.000$), but no correlation was found with phosphorus. The IS treatment did not affect protein deposition but significantly improved the daily retention of fat, energy, ash and calcium during the 35 d lactation period, compared with CS litters. Each kg of weight gain was enriched in fat (SI, 149 vs CS, 121 g/kg, $P = 0.073$) and energy (SI, 9.60 vs. 8.65 MJ/kg, $P = 0.096$) in IS piglets, and contained nearly the same quantity of ash, and therefore, of Ca and P, in both groups. Thus, intermittent suckling in Iberian piglets led to differences in body

composition that may contribute to certain advantages for postweaning development, as weaning generally results in mobilization of lipids to support life.

Key words: body composition, body retention, Iberian piglets, intermittent suckling,

5.2. INTRODUCTION

In pig husbandry, weaning implies an abrupt dietary change usually associated with reduced nutrient intake, reduced growth and greater susceptibility to diarrhoea. Trying to prevent these drawbacks, solid feed is often provided to piglets during lactation, thus enhancing post-weaning performance (English, 1980) and stimulating digestive enzymes (Sloat et al., 1985). However, creep feed intake is usually low during lactation and highly variable among piglets (Pajor et al., 1991). It is generally accepted that the separation of sows and piglets during a period of the day in the second half of lactation (intermittent suckling, IS) stimulates pre-weaning feed intake and enhances performance shortly after weaning (Berkeveld et al., 2007b; Kuller et al., 2007).

Effects of IS on performance of conventional or lean porcine genotypes have been extensively studied; however, very few data have been reported on the implantation of IS in the Iberian (IB) pig, an autochthonous obese breed widely appreciated due to the especial organoleptic characteristics of its products. Recent studies have shown that when IB piglets are subjected to IS, their solid feed intake tends to increase, although no significant improvement in the post-weaning digestibility of the starter diet has been found (Gómez-Carballar et al., 2009). Body composition at weaning could be determinant for the success of early post-weaning and in later development, although a lack of information exists concerning whether management strategies during suckling could affect body composition at weaning.

The purpose of this study was to determine the influence of IS applied in the last week of 35-d lactation on 1) body composition of the piglets at weaning and 2) energy and nutrient retention throughout the lactation period. The information provided could be valuable in the design of appropriate nutrient composition of creep feed and management practices to improve the performance of the weaned IB piglet.

5.3. MATERIALS AND METHODS

The experimental protocol was approved by the Bioethical Committee of the Spanish National Research Council (CSIC), Spain. The sows and piglets were cared for following Spanish Ministry of Agriculture guidelines (Boletín Oficial del Estado, 2005).

5.3.1. Animals and experimental design

Twenty third-pregnancy purebred IB sows (Silvela strain) were randomly selected from the Montecastilla farm (Granada de Rio Tinto, Huelva, Spain), and used in two consecutive trials (n = 10 per replicate). Pregnant sows were daily fed 1.8-2.5 kg of a commercial gestation diet containing 12.13 MJ ME/kg, 140 g CP/kg and 5.5 g Lys/kg. One week before farrowing the sows were individually housed in farrowing crates (1.90 x 0.60 m) within pens (2.40 x 1.60 m) in a ventilated room. The environmental temperature of the farrowing room was $27 \pm 2^\circ\text{C}$ in the first trial and $22 \pm 2^\circ\text{C}$, in the second one, during the subsequent 34-d of the lactation period. The pens were equipped with a thermo-regulated piglet surface that maintained the temperature at $33\text{-}35^\circ\text{C}$ during the first week of life, declining progressively to $25\text{-}27^\circ\text{C}$ at the end of the third week. This space included a piglet drinking nipple and a piglet feeder. Once in the farrowing room, the sows were fed a commercial lactation feed (12.76 MJ ME/kg, 144 g CP/kg and 6.8 g Lys/kg) at a level of 1% of BW. On the day of parturition the sows were offered 1.5 kg of this diet. Thereafter, the daily food allowance was increased by 0.6 kg to reach 4.5 kg/d on the fifth day of lactation, which was maintained from then onwards. No significant refusals were observed. The sows' live weight just after farrowing was within in the range of 130 – 140 kg. Sows and litters had *ad libitum* access to water and lights of a similar intensity to daylight were permanently on.

Litter size at birth was equalized to six piglets by cross fostering, using additional sows when necessary. Shortly after birth, the piglets were administered 200 mg Fe-dextran complex (Imposil Forte®; Alstoe Ltd, UK) via i.m. injection. From 15-d of age onwards, the piglets had free access to solid feed, whose main ingredients and analyzed nutrients are shown in Table 1.

Table 1. Ingredients and nutrient composition of the pre-starter feed (as fed) ¹	
Item	Content
Main ingredients, g/kg	
Wheat flour	416.00
Extruded wheat	150.00
Milk whey powder	115.00
Soy-protein concentrate	65.00
Potato-protein concentrate	50.00
Soybean meal	50.00
Animal fat	35.00
Analysed composition, g/kg	
DM	905.00
CP	192.80
Lipids	49.60
GE, MJ/kg	17.10
Ash	52.20
Ca	7.12
P	4.84
Mg	1.20
Fe	0.24
Cu	0.17
Zn	2.90
K	28.80
Calculated Lys content ² , g/kg	14.00
¹ Values represent the mean of 6 determinations (3 per replicate).	
² Calculated based on FEDNA (2003).	

At d 29 of age the litters were randomly assigned to one of the two management treatments: conventional suckling (CS, n=10) or intermittent suckling (IS, n=10). For each treatment, five litters were involved in each trial. When restricted, the piglets had a surface area of 0.70 × 2.40 m available for movement. The piglets in the CS treatment had free access to the sow 24 h per day. In the IS treatment, the piglets were separated from the sow according to the following schedule: d 29 and 30, from 0800 h to 1400 h (6 h); d 31 and 32, from 0800 h to 1600 h (8 h); d 33 and 34, from 0800 h to 1800 h (10 h). Weaning took place in the morning of 35 d of age. Spillage was collected daily from a metallic sheet placed below the feeder, weighed and replaced by

pelleted feed. The piglets were weighed individually at birth and at 15, 28 and 35 d of age (weaning). Average growth rate in a period was calculated per litter as the change in average weight of the litter divided by the number of days in the period. Solid feed intake was registered daily during the lactating period.

Within each litter, one piglet at birth and one in the morning of d 35 of life, all with a body weight (BW) close to the litter average, were used to study body composition. Energy and nutrient retention were calculated from the difference between body content at weaning and body content at birth, following the comparative slaughter procedure. Chemical composition at the beginning of the experiment was estimated from the piglets slaughtered at birth assuming identical body composition for the rest of the piglets. Selected piglets were anaesthetized by intra-peritoneal puncture of 40 mg/kg BW sodium pentobarbital (Sodium Pentotal®; Abbott Lab.) and subsequently bled. After emptying the gut, collected blood, viscera, carcass, and head/feet/tail (HFT) as a whole, were weighed and kept at -20°C until analysis. Carcass, viscera and HFT were separately ground in a mincer (Talleres Cato, Sabadell, Spain) and homogenized in a cutter (Talleres Cato), and representative aliquots were lyophilized (FTS System, INC., TDS-3, New York, USA) for subsequent analysis. Samples were analysed separately for DM, ash, protein (total N x 6.25), energy and mineral composition. Body fat was calculated assuming an energy content of 23.8 and 39.8 kJ/g for protein and fat, respectively (Wenk et al., 2001).

5.3.2. Chemical analysis

All analyses of piglet tissues were performed in triplicate. The DM content, total ash and total N were determined by standard procedures (AOAC, 2003). Gross energy was measured in an isoperibolic bomb calorimeter (PARR 1356, Biometra, Illinois). Whenever a freeze-dried material was analysed, a DM determination in an aliquot sample was performed to establish the residual water content after freeze-drying. Analysis of Ca was carried out by flame-atomic-absorption spectroscopy in a Perkin-Elmer Analyst 700 Spectrophotometer (Norwalk, Conn., USA) (AOAC, 2003). Total P was determined colorimetrically at 820 nm in a spectrophotometer (Shimadzu UV-

1700, Model TCC-240A, Columbia, USA) by the vanadomolybdate procedure. Before the mineral composition analyses, representative aliquots of body parts samples were completely digested by the addition of concentrated HNO₃:HClO₄ (1:4) and by heating to high temperatures (180-220°C) in a sand beaker (Block Digestor Selecta S-509; J.P.Selecta, Barcelona, Spain). A standard solution was prepared from stock Tritisol solution of Ca (CaCl₂ in 6.5% HCl, 1000 mg Ca, Merck). Before Ca determinations, lanthanum chloride (Merck) was added to the samples and standards to reach a final concentration of 0.3%. Pools of biological samples were used as an internal control to assess analysis precision. The inter-assay coefficient of variation (CV%) in body tissues was 2.05 for Ca and 1.07 for P. To test mineral analysis accuracy, skim milk powder (BCR 063R, Community Bureau of Reference, Brussels, Belgium) was used as a certified external standard. The certified values were: 13.49 ± 0.10 mg/g (Ca) and 11.10 ± 0.13 mg/g (P). Measured values (mean ± SD of 10 determinations) were: 13.47 ± 0.04 mg/g (Ca) and 11.04 ± 0.03 mg/g (P).

All glassware and polyethylene sample bottles used for mineral analysis were washed with 10 N nitric acid. Demineralised water (Milli-Q Ultrapure Water System, Millipore Corp., Bedford, Mass., U.S.A.) was used throughout the study.

5.3.3. Statistical analysis

Data are presented as means ± SE. Results concerning the piglets' performance, body composition and energy and nutrient retention during lactation were analyzed by a two-way ANOVA, according to a randomized design, which included litter management treatment and trial replicate as fixed factors, and their interaction. The piglet was the experimental unit for most of the variables studied. Analyses were performed using StatGraphics Centurion XV, version 15.2.06, StatPoint Inc. Statistical significance was assessed using Duncan's test, and the level of significance was established at 5%. The evaluation of the relationship between the different variables was carried out by computing the relevant correlation coefficient (Pearson linear correlation) at the $P < 0.05$ confidence level.

5.4. RESULTS

5.4.1. Piglet performance

Differences between replicates were not significant, either concerning for solid feed intake, BW or average daily gain (ADG) during the entire suckling period. As expected, BW at birth was similar in both groups of piglets (1.39 ± 0.06 and 1.42 ± 0.04 kg in CS and IS, respectively, Figure 1). No differences in creep feed intake were observed before the IS was imposed, i.e., d 15 to 28 (31 ± 5 and 32 ± 5 g/piglet/d in CS and IS, respectively), but during restriction to the dam (29-35 d), solid feed consumption was greater among the IS litters (125 ± 12 g/piglet/d) than among the CS litters (67 ± 15 g/piglet/d) ($P = 0.040$). Cumulative feed intake during this period ranged from 34 to 750 g/piglet in the CS litters and from 566 to 917 g/piglet in the IS litters.

The average BW of litters did not vary significantly due to the treatment effect, with weaning values of 7.2 ± 0.4 kg vs. 8.1 ± 0.3 kg ($P = 0.11$) being achieved by the CS and IS piglets, respectively (Figure 1).

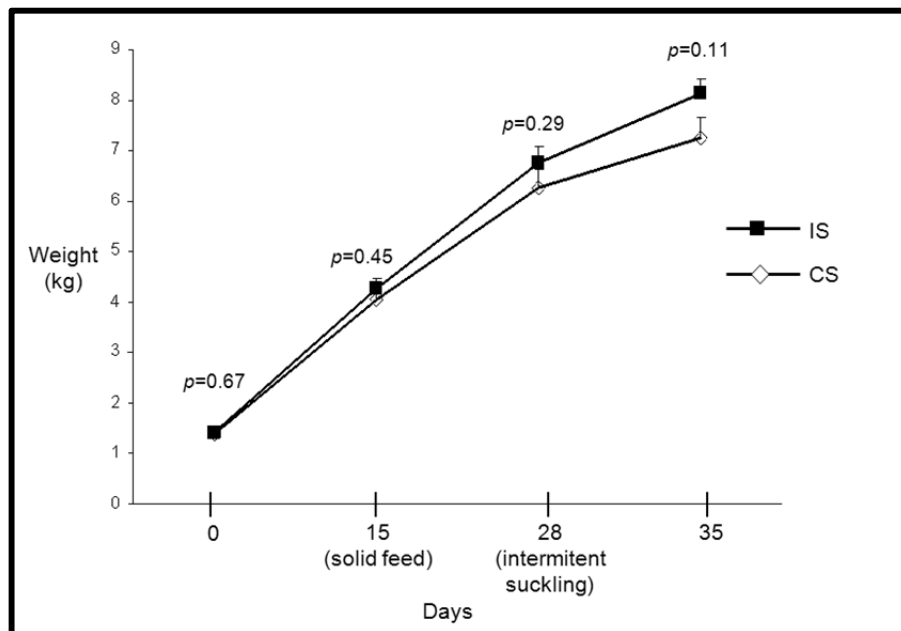


Figure 1. Body weight changes from birth to weaning (35 d) of Iberian piglets under conventional suckling (CS) or intermittent suckling (IS) (means \pm SE of $n=10$).

Differences in ADG between the groups did not reach statistical significance in any of the studied intervals, neither during the IS wk (143 ± 28 and 195 ± 34 g/piglet in CS and IS groups, respectively, $P = 0.26$) nor during the global 35-d suckling period (172 ± 12 and 197 ± 9 g/piglet for the CS and IS treatments, respectively, $P = 0.12$), despite the substantial numerical differences observed between the groups. It was observed that, during the IS wk (28-35 d), solid feed intake was well correlated with ADG ($r = 0.878$, $P = 0.0001$) and with the weaning BW ($r = 0.675$, $P = 0.0113$).

5.4.2. Piglet body composition and retention of energy and nutrients

Statistical analysis revealed no significant differences between trial replicates in the piglets' body composition at birth. Thus, the overall initial body content of energy and nutrients per kg empty body weight (EBW) was as follows: protein 129 ± 3.3 g, fat 26.4 ± 0.80 g, water 806 ± 2.9 g, ash 40.0 ± 0.19 g, energy 4.13 ± 0.064 MJ, Ca 14.0 ± 0.12 g, P 7.8 ± 0.13 g.

Although the EBW of the weaned piglets was not altered by the treatments imposed during the suckling period, these treatments did produce significant variations in the relative weight of the body components at weaning (Figure 2). The piglets in the IS group had larger carcasses relative to their BW, whereas the proportions of the others of body components (except blood) were smaller in IS than in CS piglets.

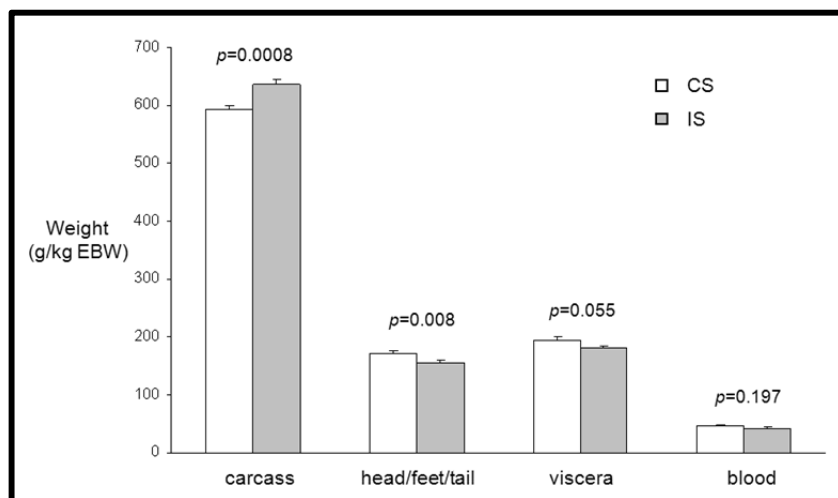


Figure 2. Relative weight of body components of Iberian piglets under conventional suckling (CS) or intermittent suckling (IS) weaned at 35 d of age (means \pm SE of n=10).

Table 2. Protein, fat and energy content in the whole body and body components of Iberian piglets under conventional (group CS) or intermittent suckling (group IS), weaned at 35 days of age ¹								
Item ²	Group		Trial ²		SEM	P-value		
	CS	IS	1	2		Group	Trial	Group \times Trial
Whole body								
Protein, g	1.107	1.206	1.080	1.233	40,0	0,23	0,08	0,67
Protein, g/kg EBW ³	167	160	162	165	1,80	0,06	0,47	0,79
Fat, g	728	1.049	805	972	57,0	0,02	0,17	0,63
Fat, g/kg EBW	111	139	119	130	6,00	0,04	0,41	0,36
Energy, MJ	55.3	70,5	57,7	68,1	2,90	0,02	0,10	0,80
Energy, MJ/kg EBW	8.32	9,28	8,62	9,09	0,20	0,04	0,34	0,28
Carcass								
Protein, g	683	762	666	779	31,0	0,22	0,09	0,53
Protein, g/kg tissue	166	161	161	165	2,00	0,19	0,32	0,57
Fat, g	528	833	623	738	47,0	0,01	0,24	0,60
Fat, g/kg tissue	136	172	149	159	8,40	0,04	0,56	0,34
Energy, MJ	36,8	51,3	40,6	47,5	2,30	0,01	0,16	0,74
Energy, MJ/kg tissue	9,40	10,70	9,80	10,3	0,30	0,06	0,45	0,28
HFT⁴								
Protein, g	201	203	184	223	7,30	0,97	0,02	0,31
Protein, g/kg tissue	174	176	173	176	1,60	0,54	0,27	0,59
Fat, g	136	143	122	157	8,40	0,72	0,06	0,98
Fat, g/kg tissue	118	122	114	126	4,80	0,70	0,24	0,61
Energy, MJ	10.2	10,5	9,20	11,5	0,50	0,75	0,03	0,74
Energy, MJ/kg tissue	8.80	9,00	8,70	9,20	0,20	0,58	0,13	0,66
Blood								
Protein, g	42.3	46,2	39,9	48,6	2,00	0,35	0,05	0,11
Protein, g/kg tissue	138	152	140	150	6,20	0,29	0,43	0,45
Fat, g	3.60	2,90	3,00	3,40	0,20	0,09	0,30	0,34
Fat, g/kg tissue	11,8	9,20	10,3	10,7	0,50	0,02	0,70	0,54
Energy, MJ	1,20	1,20	1,10	1,30	0,10	0,53	0,04	0,09
Energy, MJ/kg tissue	3,80	4,00	3,70	4,00	0,10	0,43	0,38	0,38
Viscera								
Protein, g	200	195	191	205	4,70	0,59	0,16	0,35
Protein, g/kg tissue	155	147	155	147	1,60	0,01	0,02	0,93
Fat, g	59,3	70,8	56,9	73,2	4,30	0,20	0,08	0,42
Fat, g/kg tissue	46,0	52,6	45,9	52,7	2,70	0,25	0,23	0,25
Energy, MJ	7,10	7,50	6,80	7,80	0,20	0,50	0,06	0,88
Energy, MJ/kg tissue	5,60	5,60	5,50	5,60	0,10	0,84	0,70	0,25

¹Data are means of 10 piglets per group and per trial. ²Trial 1, carried out at 27 \pm 2°C; Trial 2, carried out at 22 \pm 2°C.
³EBW = empty body weight. ⁴HFT = head, tail and feet.

Table 3. Ash, Ca and P content in whole body and in body components of Iberian piglets under conventional (group CS) or intermittent suckling (group IS) weaned at 35 days of age¹

Item	Group		Trial ²		SEM	P-value		
	CS	IS	1	2		Group	Trial	Group × Trial
Whole body								
Ash, g	243	289	259	273	8,20	0,02	0,38	0,94
Ash, g/kg EBW ³	36,9	38,8	39,1	36,6	0,70	0,19	0,08	0,19
Ca, g	76,5	93,7	82,1	88,2	3,00	0,01	0,34	0,83
Ca, g/kg EBW	11,6	12,6	12,4	11,8	0,30	0,13	0,27	0,18
P, g	50,1	56,7	51	55,8	2,00	0,12	0,25	0,61
P, g/kg EBW	7,50	7,60	7,70	7,50	0,20	0,74	0,56	0,84
Carcass								
Ash, g	153	172	161	163	5,40	0,10	0,85	0,86
Ash, g/kg tissue	39,4	36,3	39,9	35,7	1,10	0,17	0,07	0,16
Ca, g	49,1	59,2	53,5	54,7	2,10	0,03	0,77	0,42
Ca, g/kg tissue	12,7	12,5	13,3	11,9	0,40	0,80	0,14	0,08
P, g	33,6	36,6	34,2	36,1	1,50	0,33	0,52	0,60
P, g/kg tissue	8,50	7,70	8,30	7,90	0,20	0,12	0,39	0,91
HTF⁴								
Ash, g	73,3	90,7	76,5	87,4	2,80	0,01	0,07	0,69
Ash, g/kg tissue	64,1	78,8	72,5	70,3	0,80	0,00	0,19	0,55
Ca, g	27,0	34,1	28,2	33,0	1,10	0,01	0,06	0,36
Ca, g/kg tissue	23,7	29,6	26,8	26,5	0,50	0,00	0,81	0,42
P, g	13,5	17,1	13,9	16,6	0,60	0,01	0,05	0,08
P, g/kg tissue	11,8	14,8	13,2	13,3	0,30	0,00	0,87	0,36
Blood								
Ash, g	2,40	2,70	2,50	2,60	0,10	0,10	0,46	0,88
Ash, g/kg tissue	7,80	8,80	8,60	8,00	0,10	0,00	0,01	0,01
Ca, g	22,5	29,2	26,6	25,2	1,30	0,02	0,59	0,45
Ca, g/kg tissue	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,01	0,01
P, g	157	165	155	168	6,60	0,55	0,33	0,65
P, g/kg tissue	0,50	0,60	0,50	0,50	0,00	0,28	0,40	0,52
Viscera								
Ash, g	15,1	23,1	18,2	20	0,70	0,00	0,22	0,43
Ash, g/kg tissue	11,7	17,4	14,7	14,4	0,40	0,00	0,64	0,37
Ca, g	0,30	0,30	0,30	0,40	0,00	0,93	0,16	0,80
Ca, g/kg tissue	0,30	0,30	0,20	0,30	0,00	0,93	0,42	0,98
P, g	2,80	2,80	2,70	2,90	0,10	0,89	0,08	0,10
P, g/kg tissue	2,20	2,10	2,20	2,10	0,00	0,07	0,11	0,07

¹Data are means of 10 piglets per group and per trial. ²Trial 1, carried out at 27 ± 2°C; Trial 2, carried out at 22 ± 2°C.

³EBW = empty body weight. ⁴HFT = head, tail and feet.

After the suckling period, no effect of trial on piglet body composition at weaning was detected, but some significant differences were observed between the

CS and IS groups (Tables 2 and 3). Table 2 depicts values of protein, fat and energy in whole body and in different body components, i.e., carcass, HFT, blood and viscera, of the piglets slaughtered after the suckling period, at 35-d of age. Results are expressed as total body mass content (g or MJ) and as concentration (per kg). No significant differences were found in protein, either in body concentration ($P = 0.06$) or in its distribution among body compartments, except for protein in viscera which was slightly higher in the CS group. On the contrary, body fat values were significantly higher in the IS group, both in total (g, $P = 0.02$) and in relative quantities (g/kg EBW, $P = 0.04$). The increase in body fat was the consequence of the greater fat accumulation in the carcass among the animals of the IS group, because no differences were observed in the fat located in the HFT and viscera, whereas blood fat levels were lower than in the CS group. Differences in energy content and concentration were similar to those found for fat, as the IS group presented significantly higher body energy values, mainly due to variations in the carcass content. A strong correlation was observed between energy and body fat content ($r = 0.9895$, $P = 0.0000$).

The effect of the different treatments on body ash, Ca and P content is presented in Table 3. Total body content of ash and Ca was higher in the IS than in the CS litters ($P = 0.02$ and $P = 0.01$, respectively) but the differences in P content did not reach statistical significance ($P = 0.12$). The Ca:P ratio did not varied significantly between the groups (1.56 vs 1.65 in CS and IS, respectively, $P = 0.28$). When data were expressed per kg of EBW, no differences were observed between the groups or trial replicates. Nevertheless, levels of Ca (g/kg EBW) were slightly increased (around 10%) in the IS piglets compared with those in the CS group ($P = 0.12$). Approximately 63-64% of total body Ca and 65-67% of total P was located in the carcass. The HFT fraction contributed 35-36% to total body Ca and 27-30% to total P. Minor contributions were found for blood (around 0.03% of Ca and 0.30% of P) and viscera (0.38% of Ca, 5.2% of P). Body concentration of ash was well correlated with levels of Ca ($r = 0.9206$, $P = 0.0000$), but not with those of P. Therefore, the distribution of ash content among the body compartments was similar to that of Ca; total Ca was increased in the carcass, HFT and blood of the IS piglets, although when expressed as a concentration (g/kg body tissue) the differences were significant only for HFT and blood. Total P content

and concentration were higher in the HFT of the IS piglets, but no changes were detected in the other body compartments.

No differences were observed between the groups in the retention of protein and P during the suckling period (Table 4), either as g/d or related to BW gain (g/kg weight gain). On the contrary, the retention of fat, energy, total ash and Ca (g/d) was significantly higher in the IS than in the CS litters. Each kg of weight gain was enriched in fat ($P = 0.07$) and energy ($P = 0.09$) in the IS piglets, but contained nearly the same quantity of ash, and therefore, of Ca and P, in both groups, although Ca concentration was slightly increased (10%, $P = 13$). The increased fat content per kg of weight gain in the IS piglets (23% more than in the CS piglets) was mainly due to their higher fat deposition in carcass (IS, 24.2 ± 2.46 vs. CS, 15.1 ± 1.24 g/d, $P = 0.004$).

Table 4. Retention and composition of the body weight (BW) gain of protein, fat, energy, total ash, Ca and P of Iberian piglets under conventional (group CS) or intermittent suckling (group IS) weaned at 35 days of age¹

Item	Group		Trial ²			P-value		
	CS	IS	1	2	SEM	Group	Trial	Group × Trial
Retention, g/d								
Protein	27,5	30,3	26,8	31,0	1,20	0,25	0,10	0,68
Fat	20,4	29,8	22,6	27,6	1,70	0,02	0,17	0,62
Energy, MJ/d	1,50	1,90	1,50	1,80	0,10	0,02	0,10	0,80
Ash	5,60	6,90	6,00	6,50	0,20	0,02	0,39	0,95
Ca	1,70	2,20	1,90	2,00	0,10	0,02	0,34	0,82
P	1,20	1,40	1,20	1,10	0,10	0,13	0,23	0,61
BW gain, g/kg								
Protein	160	154	154	161	2,00	0,17	0,09	0,41
Fat	121	149	127	143	7,10	0,07	0,30	0,31
Energy, MJ/kg	8,70	9,60	8,70	9,50	0,30	0,09	0,16	0,22
Ash	33,2	35	34,7	33,4	0,70	0,23	0,38	0,15
Ca	10,1	11,1	10,7	10,5	0,30	0,13	0,72	0,15
P	6,80	6,90	6,80	6,90	0,20	0,87	0,67	0,84

¹Data are means of 10 piglets per group and per trial. ²Trial 1, carried out at $27 \pm 2^\circ\text{C}$; Trial 2, carried out at $22 \pm 2^\circ\text{C}$.

5.5. DISCUSSION

The IB pig breed is greatly appreciated for the high quality of its products, although its productivity is rather low compared with conventional or lean pig genotypes. Thus, current studies are aimed at improving and shortening the productive cycle, especially with respect to nutritional management during the growing period. It has been shown that the growth rate of suckling IB piglets is limited by their low efficiency in the use of milk protein and energy (Aguinaga et al., 2011a). Stimulating solid feed intake before weaning is proposed as a strategy to mitigate the abrupt transition between maternal milk supply and creep feed consumption, with an expected positive effect on the rate of weight gain and the prevention of intestinal disorders (van Beers-Schreurs et al., 1998; Berkeveld et al., 2007b). In assays studying effects of IS in conventional porcine breeds, access to the sow was drastically limited, to a 10 h or 12 h period (Berkeveld et al., 2007b; Kuller et al., 2007; Berkeveld et al., 2009) from the onset of the treatment; however, in the current study, separation from the dam was imposed progressively, increasing the number of hours daily from 6 to 10, in order to overcome the negative effects of transition to a non-milk diet.

In the present study, a positive effect of the IS regime on the intake of creep feed was observed, with the IS litters consuming 86% more solid feed (g/d) during the IS period. Moreover, 100% of the IS piglets had a cumulative feed intake before weaning greater than 600 g/piglet, an amount that can improve post-weaning performance (English, 1980), whereas 40% of the CS piglets did not meet this recommended quantity. Previous studies have also shown greater creep feed intake during lactation in piglets under IS with a 12 h/d separation period than in conventionally weaned piglets, although the level of intake stimulation varied considerably among animals (Kuller et al., 2004; Berkeveld et al., 2007b; Kuller et al., 2007). However, when the sows and piglets were separated for shorter periods, such as 10 h/d, from d 19 to 26 (Berkeveld et al., 2009) or 7 h/d, from d 14 to 28 (Millet et al., 2008) a lack of feed intake stimulation was observed. Thus, the success observed in the present study concerning solid feed intake, in spite of the short separation period imposed (from 6 to 10 h), may be due to the late onset of the IS (at 28 d), as it has been shown that its

effect is heightened when prevention of free access to the dam is postponed (Berkeveld et al., 2008). Berkeveld and co-workers (2009) have shown that a combination of IS (1-wk) with extended lactation (33 d) improves postweaning adaptation in terms of growth, feed intake and gut characteristics, more markedly than increasing the length of IS (2-wk). Moreover, IS during an extended lactation period (43 d) contributes to stimulating eating behaviour, without causing behavioural piglets stress (Berkeveld et al., 2007b). Therefore, weaning at a latter age (35 d), which imply an advanced development of the gastrointestinal tract, and the gradual separation of the dam, have probably contributed to stimulating solid feed intake in the IS piglets. Gómez-Carballar et al. (2009) observed in suckling IB piglets under IS and weaned at 35 d of age, a higher level of solid feed intake compared with litters on conventional lactation, although no differences in ADG or BW were found. In the present study, the feed intake stimulation in the IS litters did not result in significant differences in ADG or BW with respect to values observed in CS piglets (in spite of appreciable numerical variations). On the other hand, other authors have even reported reduced growth and piglet's weight at weaning (Kuller et al., 2004; 2007; Berkeveld et al., 2009), suggesting that feed intake in the IS period is still too small to compensate the milk deficit caused by separation from the sow. When separation takes place for shorter periods (6 h/d) no negative effect on weight gain was observed (Newton et al., 1987).

In the present experiment, we estimated milk intake from d 28 to 35, assuming a value of 0.793 for the BW gain:solid food intake ratio, obtained on a DM basis, in suckling IB piglets with access only to sow milk (Aguinaga et al., 2011a). Thus, we calculated the ADG resulting from creep feed consumption during this period and, in turn, the ADG due to the milk intake and, finally, the milk intake itself. According to these calculations, the milk intake during the last pre-weaning wk was not lower among the IS than among the CS piglets (IS, 742 vs CS, 668 g/d on average, respectively). Therefore, the special conditions of IS applied in the current experiment seem to counteract the adverse effect on milk intake during the period of limited access to the dam stated by other authors (Kuller et al., 2004), and, as a consequence, no negative effects on ADG or BW were observed.

When IB piglets were exclusively suckled for a 34-d nursing period, the average growth rate was 168 g/d (Aguinaga et al., 2011a), a similar value to that found for the

CS piglets in the current assay (172 ± 12 g/d), although lower than the value of 197 ± 9 g/d observed for IS piglets. Moreover, 34 d IS piglets attained numerically greater weaning BW than CS piglets (8.13 vs 7.12 kg, respectively). The weight of piglets at weaning is one of the most critical factors determining the subsequent growth performance of pigs; heavier weaning pigs grow at an increased rate until they reach slaughter weight (King y Pluske, 2003) and therefore, the age of slaughter could be reduced by at least 10 d for a pig that is 1 kg heavier at weaning (Close y Cole, 2003). The present assay shows an overall increase of 12.3% in BW at weaning of IS compared with CS piglets which can be related to an increase in creep feed intake, as shown by the positive correlations between solid feed intake from d 28 to 35 with ADG and with weaning BW. Moreover, ADG due to the creep feed intake during this period contributed 46% to the total ADG in the IS group, compared with only 34% for the CS piglets.

Piglet body contents of protein, fat, ash and water at birth and at weaning, observed in the present experiment were close to previous observations in IB piglets suckled for 34 d, and reared in similar conditions but with access only to sow milk (Aguinaga et al., 2011a). Compared with conventional piglets at birth, IB piglets present increased contents of protein, fat and ash and a greater energy density (Noblet y Etienne, 1986; Jentsch et al., 1995). Body composition at weaning might be influenced by nursing duration and creep feed intake, and so comparisons with other experiments, especially those on conventional piglets, usually weaned at younger ages, may not be appropriate.

The body gain composition of 35-d weaned IB piglet obtained by Aguinaga et al. (2011a) revealed a higher protein content (172 g/kg WG) than those found in the present study; the fat and energy contents (152 g/kg WG and 10.1 MJ/kg WG) were slightly higher than those observed in IS piglets and greater than those in CS piglets. The ash content per kg of weight gain in suckling IB piglets (41.4 g/kg WG) was higher than that observed in the current experiment (34.1 g/kg WG, on average).

It is known that IB pigs differ widely respect to lean pigs in terms of nutrient retention (Nieto et al., 2002; Conde-Aguilera et al., 2011a), but no data have been found in the literature concerning the possible effects of the IS on the body composition of piglets at weaning, which, in turn, might affect post-weaning growth

and performance. The impact that the provision of additional nutrients to conventional piglets by supplementary milk replacement before weaning- might have on body composition at slaughter weight has been shown to be very limited (Wolter et al., 2002). Nevertheless, when extra feed intake during lactation results in a measurable change in body composition at weaning, this fact may well influence growth performance during the critical post-weaning period. The present findings show significant effects of IS treatment on the body composition of weaned IB piglets, especially in the amounts of fat and energy deposited daily. When nutrient deposition in different body compartments was studied, it was found that the whole-body increase in fat deposition was due to the greater deposition in the carcass, as the main lipid store of the body. This represents a 26% increase in fat concentration in the carcass of IS compared to CS piglets.

Young piglets, particularly after weaning, spare their body protein and preferentially metabolize fat under situations of nutritional shortage (William, 2003). Whittemore et al. (1978) suggested that in the young piglet a growth rate of about 200 g/d is required before body fat begins to accumulate. Then, increasing fat deposits at weaning may benefit the post-weaning performance, as it has been demonstrated that weaning generally results in the mobilization of lipids to support life, while maintaining or even depositing protein in the body. This fact could be particularly important for the IB piglet, which under some management systems is reared in harsh outdoor conditions. The present results indicate that no significant effect on protein body concentration or retention was produced by the IS treatment. Therefore, and in agreement with previous results of Aguinaga et al. (2011a), they suggest that the IB piglets achieved their maximum potential for protein deposition at a rate in the range of 27.4 to 30.3 g/d, in the range of values reported for conventional genotypes (Noblet y Etienne, 1986).

Imposing the IS regime did not lead to higher ash body concentration compared with CS piglets and, accordingly, no differences were observed in Ca and P body levels. Analysis of the mineral distribution among the major body compartments revealed that only the HFT fraction was significantly enriched (g/kg) in Ca and P. Calcium and P carcass concentration was unaffected, which may indicate that the higher relative weight of this body constituent found in the IS piglets is due to components other than

bone, in which these elements are the main mineral components (99% and 80% of body Ca and P, respectively, are located in the skeleton).

Thus, the increased relative proportion of carcass weight detected in IS pigs is believed to be related to the increase in fat carcass deposition. The concentration of Ca, expressed per kg of EBW and per kg of weight gain, was slightly increased (around 10%) in the IS piglets compared with the piglets in the CS group. On the basis of the present results, and taking into account Ca and P provided by milk (according with estimations of milk intake) and by solid feed, we calculated that the IS treatment results in a more efficient utilisation of dietary Ca in this group (90% vs 79% of the ingested Ca was retained by the IS and CS piglets, respectively). On the contrary, the efficiency of the utilization of dietary P was unaffected (75% and 74% in the IS and CS groups, respectively).

The increase in solid feed intake observed in the IS IB piglets, as a consequence of the progressive IS management imposed, resulted in changes in body composition at weaning, mainly related to a higher accumulation of fat in the carcass. The possible benefits of this practice should be taken into account, especially in a management system under which piglets are reared outdoors. Further studies are required to determine if the additional cost of this management practice is outweighed by the possible adaptive advantage of IS piglets during the post-weaning period.

5.6. LITERATURE CITED

- AGUINAGA, M. A., GOMEZ-CARBALLAR, F., NIETO, R. AND AGUILERA, J.F.,** 2011. Production and composition of Iberian sow's milk and use of milk nutrients by the suckling Iberian piglet. *Animal* 5: 1390-1397.
- AOAC,** 2003. Association of Analytical Chemistry. Official Methods of Analysis, 17th ed., 2nd revision. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- BERKEVELD, M., LANGENDIJK, P., SOEDE, N.M., KEMP, B., TAVERNE, M.A., VERHEIJDEN, J.H., KUIJKEN, N. AND KOETS, A.P.,** 2009. Improving adaptation to weaning: effect of intermittent suckling regimens on piglet feed intake, growth, and gut characteristics. *J. Anim. Sci.* 87: 3156-3166.
- BERKEVELD, M., LANGENDIJK, P., VAN BEERS-SCHREURS, H.M.G., KOETS, A.P., TAVERNE, M.A.M., AND VERHEIJDEN, J.H.M.,** 2007. Postweaning growth check in pigs is markedly reduced by intermittent suckling and extended lactation. *J. Anim. Sci.* 85: 258-266.
- BERKEVELD, M., LANGENDIJK, P., VERHEIJDEN, J.H.M., TAVERNE, M.A.M., VAN NES, A., VAN HAARD, P. AND KOETS, A.P.,** 2008. Citrulline and intestinal fatty acid-binding protein: Longitudinal markers of postweaning small intestinal function in pigs? *J. Anim. Sci.* 86: 3440-3449.
- CLOSE, W. H., AND COLE, D.J.A.,** 2003. Nutrition of sows and boards. First ed. Nottingham University Press, United Kingdom.
- CONDE-AGUILERA, J. A., AGUINAGA, M.A., AGUILERA, J.F. AND NIETO, R.,** 2011. Nutrient and energy retention in weaned Iberian piglets fed diets with different protein concentrations. *J. Anim. Sci.* 89: 754-763.
- ENGLISH, P. R,** 1980. Establishing the early weaned pig. *Proc. Pig Vet. Soc.:* 29-37.
- FEDNA,** 2003. Fundación Española Desarrollo Nutrición Animal. In: C. De Blas, Mateos, **REBOLLAR, G. G,** Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Fundación Española Desarrollo Nutrición Animal, Madrid, Spain.

- GÓMEZ-CARBALLAR, F., AGUINAGA, M.A., NIETO, R. AND AGUILERA, J.F., 2009.** Effects of intermittent suckling on the performance and digestive efficiency of Iberian piglets weaned at 35 days of age. *Livest. Sci.* 124: 41-47.
- JENTSCH, W., BEYER, M., SCHIEMANN, R. AND HOFFMANN, L., 1995.** Studies on energy and nitrogen-metabolism of pregnant and lactating sows as well as suckling piglets .7. energy and nitrogen-metabolism of suckling piglets. *Arch. Anim. Nutr.-Arch. Tierernahr.* 47: 319-344.
- KING, R. H., AND PLUSKE, J.R.,2003.** Nutritional management of the pig in preparation for weaning. In: J. R. Pluske, Le Dividich, J. Verstegen, M.W A. (ed.) *Weaning the pig. Concepts and consequences.* pp 37-51. Wageningen Academic Publishers.
- KULLER, W. I., SOEDE, N.M., VAN BEERS-SCHREURS, H.M., LANGENDIJK, P., TAVERNE, M.A., KEMP, B. AND VERHEIJDEN, J.H., 2007.** Effects of intermittent suckling and creep feed intake on pig performance from birth to slaughter. *J. Anim. Sci.* 85: 1295-1301.
- KULLER, W. I., SOEDE,N.M., VAN BEERS-SCHREURS, H.M.G., LANGENDIJK, P., TAVERNE, M.A.M., VERHEIJDEN, J.H.M. AND KEMP, B., 2004.** Intermittent suckling: Effects on piglet and sow performance before and after weaning. *J. Anim. Sci.* 82: 405-413.
- MILLET, S., ALUWE, M., DE BRABANDER, D.L. AND VAN OECKEL, M.J., 2008.** Effect of seven hours intermittent suckling and flavour recognition on piglet performance. *Arch. Anim. Nutr.* 62: 1-9.
- NEWTON, E. A., STEVENSON, J.S. AND DAVIS, D.L., 1987.** Influence of duration of litter separation and boar exposure on estrous expression of sows during and after lactation. *J. Anim. Sci.* 65: 1500-1506.
- NIETO, R., MIRANDA, A., GARCIA, M.A. AND AGUILERA, J.F., 2002.** The effect of dietary protein content and feeding level on the rate of protein deposition and energy utilization in growing Iberian pigs from 15 to 50 kg body weight. *Br. J. Nutr.* 88: 39-49.
- NOBLET, J., AND ETIENNE, M., 1986.** Effect of energy level in lactating sows on yield and composition of milk and nutrient balance of piglets. *J. Anim. Sci.* 63: 1888-1896.
- PAJOR, E. A., FRASER, D.AND KRAMER, D. L., 1991.** Consumption of solid food by suckling pigs - individual variation and relation to weight-gain. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 32: 139-155.

- SLOAT, D. A., MAHAN, D.C. AND ROEHRIG, K.L., 1985.** Effect of pig weaning weight on postweaning body-composition and digestive enzyme development. *Nutr. Rep. Inter.* 31: 627-634.
- VAN BEERS-SCHREURS, H. M. G., NABUURS, M.J.A., VELLENGA, L., KALSBEK-VAN DER VALK, H.J., WENSING, T. AND BREUKINK, H.J., 1998.** Weaning and the weanling diet influence the villous height and crypt depth in the small intestine of pigs and alter the concentrations of short-chain fatty acids in the large intestine and blood. *J. Nutr.* 128: 947-953.
- WENK, C., COLOMBANI, P.C., VAN MILGEN, J. AND LEMME, A., 2001.** Glossary: Terminology in animal and human energy metabolism. In: W. Press (ed.) *Proceedings of the 15th symposium on energy metabolism in animals.* pp 409-421 Wageningen.
- WHITTEMORE, C. T., AUMAITRE, A., AND WILLIAMS, H.I., 1978.** Growth of body components in young weaned pigs. *J. Agric. Sci.* 91: 681-692.
- WILLIAM, I. H., 2003.** In: *Growth of the weaned pig.* . ed. J. R. Pluske, Le Dividich, J.
- VERSTEGEN, M.W A.** In: *Weaning the pig. Concept and consequences.* pp 17-35. Wagening Academic Publishers, the Netherlands.

CAPÍTULO 6

Cambios en el contenido corporal de hierro, cobre y zinc en lechones Ibéricos durante la lactación bajo diferentes manejos nutricionales

R. CASTELLANO, M.A. AGUINAGA, R. NIETO, J.F. AGUILERA, A. HARO E I.

SEIQUER

2012

**Changes in body content of iron, copper and zinc in Iberian suckling
piglets under different nutritional managements**

Journal of Animal Feed Science and Technology. Enviado

6.1. ABSTRACT

The objectives of this experiment were to evaluate whether nutritional treatments affect body composition at weaning and body retention of Fe, Cu and Zn during a 35 d lactation period in Iberian piglets. Iberian sows ($n = 30$) were subjected either to exclusively milk feeding (M), conventional suckling (CS), and intermittent suckling (IS) ($n = 10$), during two consecutive replicates. In addition, 4 sows per replicate were used for milk extraction. Litters on CS and IS treatments had free access to creep feed from d 15 of age onward. In the CS, sows were continuously present until weaning. In the IS, piglets were progressively separated from the sow during 6h, 8h and 10h on days 29-30, 31-32 and 33-34, respectively. Eight piglets at birth (4 per replicate) and one piglet of each litter in the day 35 were used to study whole-body content of Fe, Cu and Zn, and its distribution in the different body compartments.

Retention was calculated following the comparative slaughter procedure. Average contents of trace elements in Iberian sows' milk were Fe 1.65, Cu 1.46 and Zn 11.10 mg/kg, whereas those analyzed in creep feed were Fe 240, Cu 170 and Zn 2900 mg/kg. Fe body concentration at weaning was unchanged between groups, although Fe stored in liver tended to be higher among IS piglets (32.30, 30.47 and 50.04 mg/kg in M, CS and IS piglets respectively, $P = 0.101$). No differences were observed in whole body or liver concentration of Cu between groups, although Cu concentration was increased in some body parts (blood and heat/feet/tail) in CS and IS piglets compared to M piglets. Significant effect of the feeding regimen was found in body levels of Zn in weaned piglets, as retention and body content resulted progressively increased as follows: IS > CS > M groups ($P < 0.001$), with significant differences in all body parts. Zn

liver concentration increased around 3-fold in creep fed piglets compared to milk fed piglets (53.22, 149.30 and 156.71 mg/kg in M, CS and IS piglets, respectively, $P=0.029$). It may be concluded that provision of solid feed containing pharmacological trace elements levels before weaning led to certain changes in their body contents at weaning compared with milk-fed piglets; particularly, increased Zn body levels was observed as solid feed intake increased. Beneficial consequences of these pre-weaning changes warrant to be evaluated, as this feeding treatment also causes environmental concerns.

Keywords: Body Composition, Mineral Nutrition, Lactation, Intermittent Suckling.

6.2. INTRODUCTION

Trace minerals are essential for pigs, as they are related to key aspects of production, immune function, resistance to disease and growth promotion. Previous studies have shown the positive effects of including additional quantities of trace minerals in pig diets, on aspects other than preventing deficiencies. The addition of pharmacological levels of Zn (2000-4000 mg/kg) and Cu (125-250 mg/kg) to nursery pig diets is nowadays a common practice, due to the generally demonstrated beneficial response on health and growth performance of weanling (Hill et al., 2000; 2001). However, as the majority of trace minerals ingested by pigs is excreted in faeces and urine, feeding high levels of Zn and Cu increases the emission of these elements and becomes a potential environmental threat (Kornegay y Verstegen, 2001).

Different nutritional strategies may be applied to preweaning piglets in order to improve performance and efficiency of utilization of nutrients. To avoid negative implications for the suckling piglet derived from the drastic change from a high digestible milk diet to a solid more indigestible one, pre-starter feed is usually offered to piglets before weaning.

Moreover, a way to stimulate creep feed intake during lactation is the intermittent suckling practice, in which piglets are separated from dams during a number of hours daily in the second half of lactation (Kuller et al., 2004). Feeding piglets only on milk until weaning or combining milk and solid feed could also imply the intake of different levels of trace elements, especially Fe, Cu and Zn, as sow's milk is a poor source of these minerals (Csapó et al., 1996) compared with nursery solid diets, which usually contain trace minerals beyond recommendations (NRC, 1998). Addition of dietary trace element affects mineral status in nursery pigs (Rincker et al., 2005), although information on whole-body composition of trace elements of piglets at weaning is very limited, and there is no information relating trace mineral body composition at weaning with previous nutritional management. An interrelationship exists between Cu, Fe and Zn due to their similar physical and chemical properties and, thus, an imbalance in one of them may have an antagonistic effect on the concentration of another (Rincker et al., 2005). Excess of Zn is known to induce a Cu

deficiency, and Cu is essential for numerous enzymes involved in Fe transport and metabolism (Mateos et al., 2004).

The objectives of this research were to determine trace mineral balance and trace mineral body composition in Iberian piglets weaned at 35 d, under different nutritional strategies: exclusively milk feeding (M), conventional suckling including voluntary creep solid feed intake (CS), and intermittent suckling (IS). Whole-body content and the partition of Fe, Cu and Zn in body components were examined. Due to the relevance that trace mineral status may have in the success of the weaned piglet in the post-weaning, the information provided by this study may be useful to IB piglet producers.

6.3. MATERIALS AND METHODS

The experimental protocol was approved by the Bioethical Committee of the Spanish National Research Council (CSIC), Spain. The sows and piglets were cared for following Spanish Ministry of Agriculture guidelines (Boletín Oficial del Estado, 2005).

6.3.1 Animals and experimental design

Thirty eight third-pregnancy purebred IB sows (Silvela strain) were involved in the study and used in two consecutive trials (n = 19 per replicate). In each trial, four sows were selected for milk sampling (nursing sows), and the other 15 to study litter performance and trace element balance measurements. One week before farrowing the sows were individually housed in farrowing crates (1.90 x 0.60 m) within pens (2.40 x 1.60 m) in a ventilated room.

The environmental temperature of the farrowing room was $27 \pm 2^\circ\text{C}$ in the first trial and $22 \pm 2^\circ\text{C}$, in the second one, during the subsequent 34 d of the lactation period. The pens were equipped with a thermo-regulated piglet surface that maintained the temperature at $33\text{-}35^\circ\text{C}$ during the first week of life, declining progressively to $25\text{-}27^\circ\text{C}$ at the end of the third week. Once in the farrowing room, the sows were fed a commercial lactation feed (12.76 MJ ME/kg, 144 g CP/kg and 6.8 g Lys/kg) at a level of 1% of BW. On the day of parturition the sows were offered 1.5 kg of this diet. Thereafter, the daily food allowance was increased by 0.6 kg to reach 4.5 kg/d on the fifth day of lactation, which was maintained onwards. No significant refusals were observed. The sows' live weight just after farrowing was in the range of 130-140 kg. Litter size at birth was equalized to six piglets by cross fostering, using additional sows when necessary. Shortly after birth, the piglets were administered 200 mg Fe-dextran complex (Imposil Forte®; Alstoe Ltd, UK) via i.m. injection. Sows and litters had *ad libitum* access to water.

During each trial, milk samples were collected from the four nursing sows on day 5, 12, 19, 26 and 34 postpartum, in a similar way as described by Aguinaga et al.

(2011a) and stored in opaque plastic bottles at -20 °C until processed. Analysis of energy and nutrient composition of the IB sow's milk is shown in Table 1.

Table 1. Analysed nutrient composition of the Iberian sows' milk and the pre-starter feed		
Item	IB sows' milk ^a	pre-starter feed ^b
Dry matter (g/kg)	182 ± 7.6 – 180 ± 4.8	905 ± 1
Crude protein (g/kg)	52.9 ± 1.67 – 59.6 ± 1.73 ^d	192.8 ± 8.5
Lysine (g/kg)	3.82 ± 0.210 – 4.48 ± 0.171 ^d	14 ± 0.2
Fat (g/kg)	62.8 ± 7.27 – 54.6 ± 3.74	49.6 ± 0.28
Gross energy (MJ/kg)	4.79 ± 0.278 – 4.58 ± 0.205	17.1 ± 0.1
Ash (g/kg)	8.9 ± 0.32 – 12.0 ± 0.48 ^d	52.2 ± 0.18
Calcium (mg/kg)	2,154 ± 79 – 3,248 ± 109 ^d	7120 ± 120
Phosphorus (mg/kg)	1,815 ± 122 – 2,353 ± 117 ^d	4,840 ± 460
Magnesium (mg/kg)	109 ± 4.64 – 149 ± 5.72 ^d	1,200 ± 200
Iron (mg/kg)	1.81 ± 0.121 – 1.54 ± 0.107	240 ± 10
Copper (mg/kg)	1.53 ± 0.099 – 1.60 ± 0.064	170 ± 12
Zinc (mg/kg)	8.11 ± 0.300 – 15.18 ± 1.178 ^d	2,900 ± 69

^aValues are presented as the range from the beginning to the end of the lactation period.
^bMain ingredients in the pre-starter feed diet were (g/kg, as fed): wheat flour 416, extruded wheat 150, milk whey powder 115, soy-protein concentrate 65, potato-protein concentrate 50, soy-bean meal 50 and animal fat 35. Significant differences were found between values over the lactation period.

The remainder sows, with their piglets, were randomly distributed in three groups (n = 10, 5 per trial replicate). The first group of piglets were fed exclusively with their mothers' milk over the 34 d lactation period (group M). From 15 d of age onwards, the other two groups of piglets had free access to solid feed, whose main ingredients and nutrient composition are shown in Table 1. At day 29 of age the litters followed either a conventional suckling (group CS) or an intermittent suckling schedule (group IS). The piglets in the CS treatment had free access to the sow 24 h per day. In the IS treatment, the piglets were separated from the sow according to the following schedule: d 29 and 30, from 08:00 h to 14:00 h (6 h); d 31 and 32, from 08:00 h to 16:00 h (8 h); d 33 and 34, from 08:00 h to 18:00 h (10 h). Weaning took place in the morning of 35 d of age. All the piglets were weighed individually at birth and at 15, 28 and 35 d of age (weaning). Average growth rate in a period was calculated per litter as

the change in average weight of piglets within the litter divided by the number of days in the period.

Eight piglets, four in each trial replicate, were used to study body composition at birth. Within each litter, one piglet in the morning of d 35 of life, with a body weight (BW) close to the litter average, was used to study trace element body content at weaning (n = 10 piglets for each treatment, 5 per trial replicate). Mineral global retention was calculated from the difference between body content at weaning and body content at birth, following the comparative slaughter procedure. Within each trial, mineral composition at the beginning of the experiment was estimated from the piglets slaughtered at birth assuming identical values for the rest of the piglets. Selected piglets were anaesthetized by intra-peritoneal puncture of 40 mg/kg BW sodium pentobarbital (Sodium Pentotal®; Abbott Lab.) and subsequently bled. Tissue samples (blood, viscera, carcass, and head/feet/tail as a whole) were collected and processed as previously reported (Aguinaga et al., 2011a). Aliquots of liver were weighed and frozen separately to analyze trace mineral content.

6.3.2 Analytical techniques

All analyses were performed in triplicate. Fe, Cu and Zn were analyzed by flame-atomic-absorption spectroscopy in a Perkin-Elmer Analyst 700 Spectrophotometer (Norwalk, Conn., USA). Before the mineral composition analyses, representative aliquots of body parts, milk and pre-starter feed samples were completely digested by the addition of concentrated HNO₃:HClO₄ (1:4) and by heating to high temperatures (180-220°C) in a sand beaker (Block Digestor Selecta S-509; J.P.Selecta, Barcelona, Spain). Standard solutions were prepared from stock Tritisol solutions of Fe (FeCl₃ in 15%HCl, 1000 mg Fe, Merck), Cu (CuCl₂ in H₂O, 1000 mg Cu, Merck) and Zn (ZnCl₂ in 0.06%HCl, 1000 mg Zn, Merck). Pools of biological samples and milk were used as an internal control to assess analytical precision. The interassay coefficients of variation (CV%) in body tissues were: Fe 3.21, Cu 6.90, Zn 1.93; CV (%) in milk samples were: Fe 2.01, Cu 3.45, Zn 2.90. To test the accuracy of the mineral analysis, certified external standards of bovine liver (BCR 185R) for Cu and Zn, and lyophilized brown bread (BCR

191) for Fe, were used (Community Bureau of Reference, Brussels, Belgium). Certified values were: 277 ± 5 mg/kg (Cu), 138.6 ± 2.1 mg/kg (Zn) and 40.7 ± 2.3 mg/kg (Fe). Measured values (mean \pm SD of 10 determinations) were: 273 ± 3 mg/kg (Cu), 140.0 ± 1.8 mg/kg (Zn) and 41.5 ± 1.7 mg/kg (Fe). After mineral analysis, their concentrations were calculated to a wet-tissue basis.

6.3.3 Statistical analysis

Data are presented as means \pm SE. Results were analyzed by a two-way ANOVA, according to a randomized design, which included litter management treatment and trial replicate as fixed factors, and their interaction. The piglet was the experimental unit for most of the variables studied. Analyses were performed using StatGraphics Centurion XV, version 15.2.06, StatPoint Inc. Statistical significance was assessed using Duncan's test, and the level of significance was established at 5%. The evaluation of the relationship between the different variables was carried out by computing the relevant correlation coefficient (Pearson linear correlation) at the $P < 0.05$ confidence level.

6.4. RESULTS

6.4.1. Piglet performance

Changes of BW from birth to weaning (35 d) of the three groups of piglets are shown in Figure 1. Differences of BW or average daily gain (ADG) between trial replicates were not significant during the entire suckling period. Over the 34 d lactation period, the piglets grew at an average rate of 169 ± 4 , 179 ± 12 and 197 ± 9 g/d, for the M, CS and IS treatment groups, respectively, being the differences significant between M and IS groups. Body weight (BW) at the end of the suckling period also differ between M and IS groups (7.17 ± 0.13 and 8.13 ± 0.30 kg, respectively), whereas the CS group reached intermediate values (7.46 ± 0.42 Kg). No differences in solid creep feed intake were observed between CS and IS groups before the IS was imposed, i.e., d 15 to 28 (31 ± 5 and 32 ± 5 g/piglet/d, respectively, $P = 0.881$), but during restriction to the dam (29-35 d), solid feed consumption was greater among IS litters (125 ± 12 g/piglet/d) than CS litters (67 ± 15 g/piglet/d) ($P=0.040$).

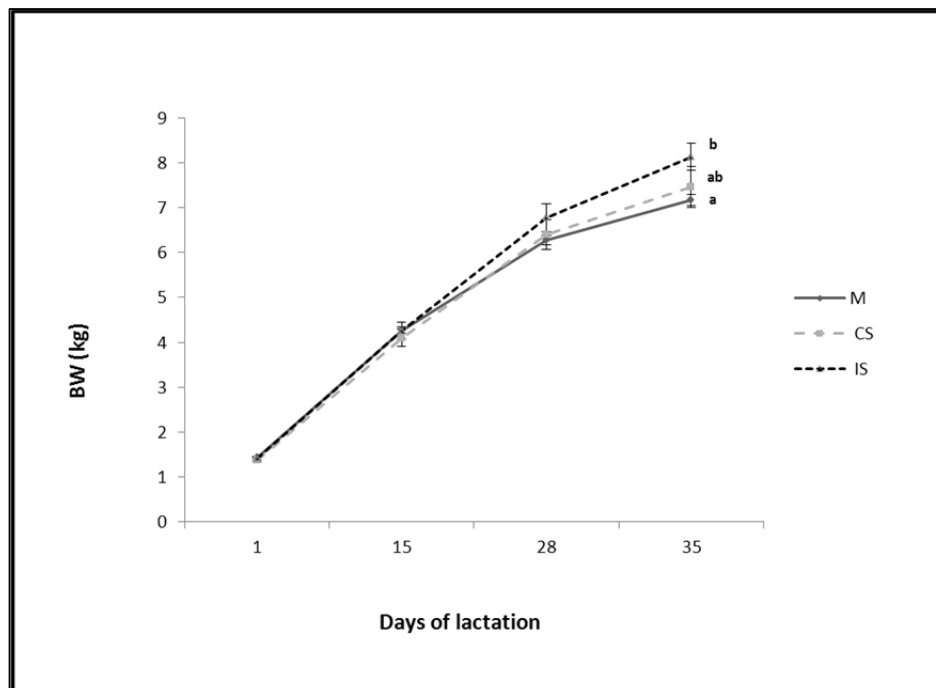


Figure 1. Body weight changes from birth to weaning (35 d) of Iberian piglets under different nutritional strategies: exclusively milk feeding (M), conventional suckling (CS) or intermittent

suckling (IS) (means \pm SE of $n = 10$). Different letters indicate significant differences between treatment groups ($P < 0.05$).

6.4.2. Piglet body composition of Fe, Cu and Zn

Table 2 shows body levels of microminerals, expressed as total body content (mg) and per kg of empty body weight (EBW). Surprisingly, differences of EBW between treatment groups did not reach statistical significance ($P = 0.12$), despite that BW in IS group was nearly 10% greater than in M group. This fact may be attributed to the heavier intestinal content in animals feeding solid creep feed. Content and concentration of Fe, Cu and Zn in the body compartments are depicted in Table 3. Figure 2 shows the percentage of distribution of the total body mineral in the different body components.

Analysis of newborn piglets revealed no significant differences between trial replicates in the body content of microminerals. Thus, the overall initial body content was as follows (mg/kg EBW): Fe 32.8 ± 2.01 , Cu 2.89 ± 0.121 , Zn 19.1 ± 0.73 .

At weaning, piglet total iron content tended to be higher in the group submitted to IS ($P = 0.054$), although when related to EBW differences between treatment groups were not significant (Table 2). As expected, most of body iron was located in blood (45-60% of the total body iron, Figure 2), and no differences between groups were found concerning total blood iron or concentration (Table 3). Iron concentration in the HFT compartment appeared significantly increased in the M group, whereas the higher values in viscera were those observed in the IS group. Iron concentration in carcass and the percentage of total iron located in this body component (28% on average) remained unchanged between groups (Table 3, Figure 2).

Table 2. Total body content and concentration of Fe, Cu and Zn in the body of Iberian piglets weaned at 35 days of age under different nutritional strategies^a

	Treatment ^b			Trial			P-value		
	M	CS	IS	1	2	SEM	Treatment	Trial	Treatment×Trial
EBW	6,78	6,85	7,44	6,65	7,39	0,11	0,120	0,010	0,188
Fe, mg	224	195	255	214	236	7,30	0,054	0,189	0,218
mg/kg EBW ^c	33,2	29,0	34,7	32,6	32,0	1,09	0,243	0,834	0,355
Cu, mg	13.7 ^a	11.1 ^b	14.1 ^a	11,8	14,1	1,10	0,033	0,020	0,499
mg/kg EBW	2,02	1,63	1,92	1,80	1,92	0,06	0,056	0,416	0,382
Zn, mg	165 ^a	208 ^b	298 ^c	207	240	5,30	0,000	0,012	0,104
mg/kg EBW	24.4 ^a	30.3 ^b	40.0 ^c	31,0	32,2	0,58	0,000	0,370	0,421

^aValues are means of 10 piglets per treatment group and 15 piglets per trial.

^bM: piglets fed exclusively on sows' milk ; CS: piglets under conventional suckling; IS: piglets under intermittent suckling (see text).

^cEBW = empty body weight.

a-c Different letters indicate significant differences between treatments (P<0.05).

Table 3. Distribution of Fe, Cu and Zn in body components of Iberian piglets weaned at 35 days of age under different nutritional strategies^a

	Treatment ^b			Trial			P-value		
	M	CS	IS	1	2	SEM ^c	Treatment	Trial	Treatment×Trial
Fe									
Carcass, total mg	63.1 ^{ab}	54.9 ^a	74.1 ^b	60,1	67,9	2,25	0,043	0,151	0,073
Carcass, mg/kg	14,7	13,6	15,8	14,5	14,9	0,53	0,457	0,796	0,180
HFT ^d , total mg	30.7 ^a	12.4 ^b	13.1 ^b	15,7	21,7	0,91	0,000	0,008	0,720
HFT, mg/kg	29.7 ^a	10.4 ^b	11.4 ^b	15,4	18,9	0,85	0,000	0,090	0,780
Blood, total mg	102	117	119	105	120	4,51	0,236	0,171	0,060
Blood, mg/kg	329	366	393	367	359	13,7	0,187	0,800	0,094
Viscera, mg total	28.2 ^a	11,7 ^b	48.8 ^c	32,4	26,7	1,36	0,000	0,085	0,017
Viscera, mg/kg	29.0 ^a	29.1 ^b	37.2 ^c	28,3	21,9	1,32	0,000	0,044	0,070
Liver, mg/kg	32,3	30,5	50,0	34,0	41,3	3,89	0,101	0,364	0,100
Cu									
Carcass, total mg	6.47 ^b	3.61 ^a	5.88 ^b	4,75	5,89	0,21	0,000	0,028	0,114
Carcass, mg/kg	1.51 ^a	0.88 ^b	1.25 ^a	1,13	1,29	0,05	0,000	0,177	0,082
HFT, total mg	1.34 ^a	2.50 ^b	2.20 ^b	2,01	2,02	0,05	0,000	0,970	0,000
HFT, mg/kg	1.32 ^a	2.16 ^b	1.91 ^b	1,95	1,65	0,05	0,000	0,009	0,009
Blood, total mg	0.36 ^a	0.49 ^b	0.47 ^{ab}	0,40	0,48	0,02	0,002	0,162	0,010
Blood, mg/kg	1.11 ^a	1.54 ^b	1.55 ^b	1,40	1,40	0,06	0,002	0,972	0,001
Viscera, total mg	5,50	4,46	5,55	4,66	5,68	0,28	0,355	0,138	0,941
Viscera, mg/kg	5.70 ^a	3.45 ^b	4.21 ^{ab}	4,27	4.63	0,28	0,008	0,587	0,870
Liver, mg/kg	21,0	12,5	12,7	13,2	17,6	1,88	0,153	0,263	0,113
Zn									
Carcass, total mg	108 ^a	116 ^a	193 ^b	136	143	3,08	0,000	0,304	0,490
Carcass, mg/kg	25.3 ^a	28.7 ^b	40.5 ^c	32,2	30,9	0,41	0,000	0,184	0,274
HFT, total mg	31.5 ^a	44.5 ^b	49.5 ^b	38,9	44,7	1,00	0,000	0,237	0,220
HFT, mg/kg	30.5 ^a	38.2 ^b	43.1 ^c	37,7	36,9	0,75	0,000	0,658	0,943
Blood, total mg	0.09 ^a	1.72 ^b	3.54 ^c	1,84	1,73	0,08	0,000	0,569	0,370
Blood, mg/kg	0.31 ^a	5.37 ^b	11.6 ^c	6,48	5,05	0,17	0,000	0,001	0,001
Viscera, total mg	24.7 ^a	45.1 ^b	52.2 ^b	31,0	50,3	2,40	0,000	0,001	0,040
Viscera, mg/kg	25.4 ^a	33.9 ^{ab}	38.9 ^b	27,1	38,3	1,77	0,013	0,009	0,086
Liver, mg/kg	53.1 ^a	149 ^b	157 ^b	106	134	15,7	0,029	0,382	0,786

^aValues are means of 10 piglets per treatment group and per 15 piglets per trial.

^bM: piglets fed exclusively on sows' milk ; CS: piglets under conventional suckling; IS: piglets under intermittent suckling (see text).

^cSEM = Standard error of the mean.

^dHFT = head, feet and tail as a whole.

a-c Different letters indicate significant differences between treatments (P<0.05).

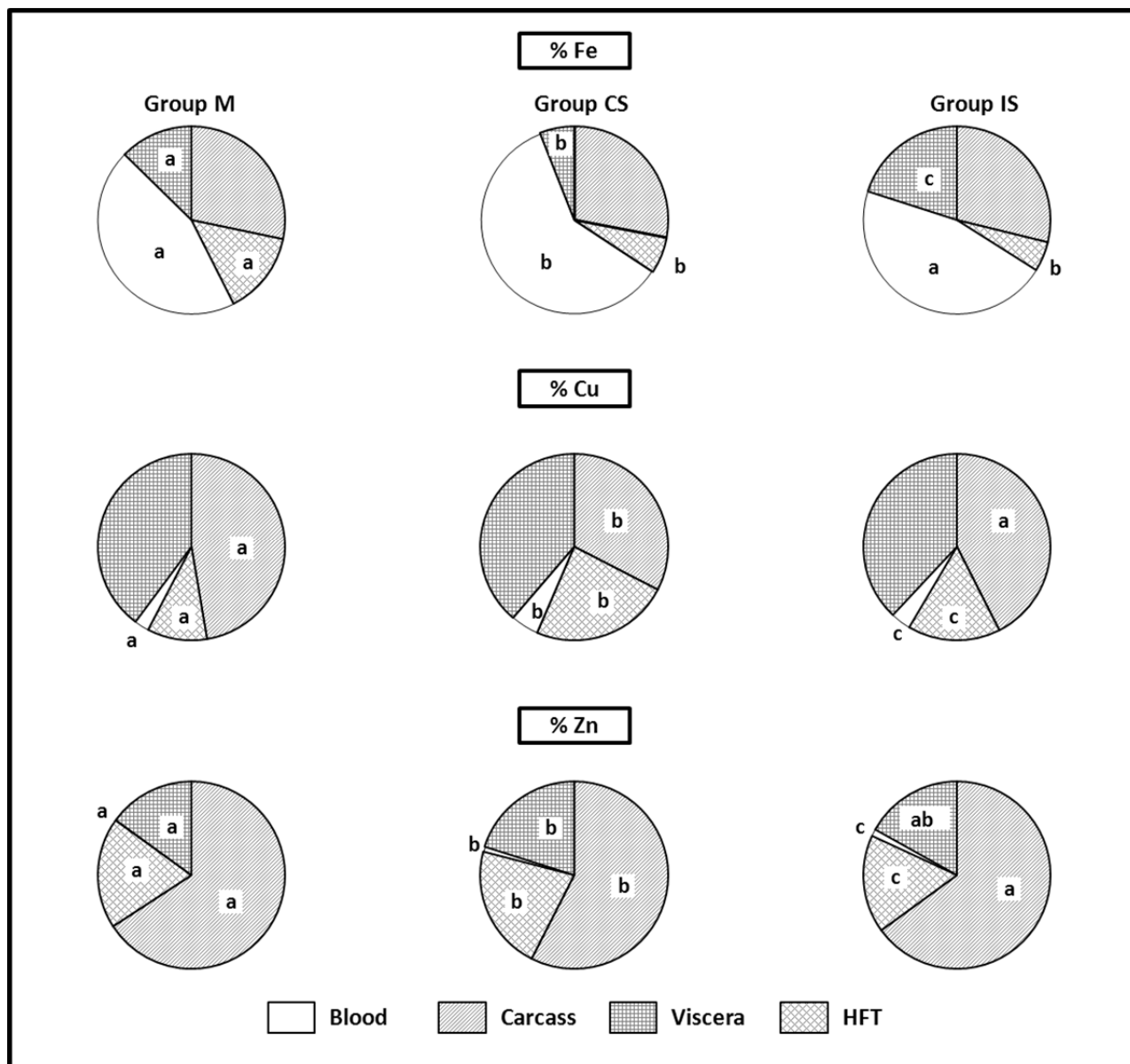


Figure 2. Distribution (%) of total body Fe, Cu and Zn into the different body components. Different letters indicate significant differences between treatment groups within each body component ($P < 0.05$).

Minor variations in body copper concentration were observed in all piglets at weaning, although they were slightly decreased in CS group (Table 2). Most of body Cu was present in carcass, ranging from 33% to 47% for CS and M groups, respectively, and also considerable proportions of Cu (38-39%) were accumulated in the viscera (Figure 2). The consumption of solid feed by piglets in the CS and IS groups did not lead to increased Cu concentrations in carcass nor in viscera, and only higher values in HFT

and blood, which represent minor contributors, were found respect to piglets fed only milk. Significant effect of the feeding management was found in body levels of Zn in weaned piglets, as both total and relative body content resulted progressively increased as follows: IS > CS > M groups (Table 2, $P < 0.001$). In the same way, Zn concentration was significantly augmented in all the body parts according to the pattern IS > CS > M, with the only exception of Zn in viscera, which was not different between CS and IS groups (Table 3). Zn concentration in liver increased around 3-fold in creep fed piglets compared to milk fed piglets. The higher proportions of body Zn were located in carcass, ranging from 57% to 66% in CS and M groups, respectively, whereas very little of the mineral was found circulating in blood (values varied from 0.06% in M group to 1.21% in IS group).

6.4.3. Retention of Fe, Cu and Zn

Retention of microminerals during the suckling period is expressed as mg retained per day and mg retained per kg of EBW gain (Table 4). No differences between treatment groups were found concerning retention of Fe and Cu expressed in an EBW gain basis, reaching average values of 32.3 and 1.61 mg/kg gain, respectively. Nevertheless, there was a tendency for a decline in Cu retention (mg/kg gain) in piglets under CS treatment. Increasing values of Zn retention were found according to IS > CS > M groups ($P < 0.0001$), as piglets of IS group retained Zn nearly at a double rate than those fed only sow's milk.

Table 4. Total body retention of Fe, Cu and Zn of Iberian piglets weaned at 35 days of age under different nutritional strategies^a

	Treatment ^b			Trial		SEM	P-value		
	M	CS	IS	1	2		Treatment	Trial	Treatment×Trial
Fe, mg/d	52.7 ^{ab}	4.47 ^a	6.20 ^b	5,08	5,54	0,215	0,061	0,359	0,214
Fe, mg/kg gain ^c	33,3	28,2	35,4	33,2	31,4	1,344	0,264	0,582	0,381
Cu, mg/d	0.29 ^a	0.21 ^b	0.30 ^a	0,24	0,29	0,011	0,040	0,067	0,500
Cu, mg/kg gain	1,81	1,31	1,71	1,56	1,66	0,072	0,051	0,582	0,400
Zn, mg/d	4.08 ^a	5.37 ^b	8.02 ^c	5,38	6,27	0,157	0,000	0,019	0,101
Zn, mg/kg gain	25.8 ^a	33.1 ^b	44.8 ^c	34,1	35,0	0,698	0,000	0,609	0,410

^aValues are means of 10 piglets per group and 15 piglets per trial.

^bM: piglets fed exclusively with sows' milk; CS: piglets under conventional suckling; IS: piglets under intermittent suckling (see text).

^cGain is in terms of empty body weight.

a-c Different letters indicate significant differences between treatments (P<0.05).

6.5. DISCUSSION

Fe, Cu and Zn are routinely included in trace mineral premixes for piglet diets. Moreover, supplementary amounts, especially of Cu and Zn, are frequently added to diets aimed to stimulate grow and prevent intestinal or dermatological diseases. Thus, content of Fe, Cu and Zn analyzed in the pre-starter feed used in the present assay (240, 170 and 2900 mg/kg diet, respectively, Table 1) are those usually present in these kind of feed compounds, in spite that recommendations for piglets are (mg/kg diet): Fe 100-120, Cu 6 and Zn 100 (NRC, 1998; BSAS, 2003). Pharmacological levels of Cu and Zn were derived from the addition 140 mg/kg of Cu (as $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) and 2500 mg/kg of Zn (as ZnO). Fe level in the solid feed resulted from the innate content of the main ingredients, and those contained in the calcium carbonate and calcium phosphate added. Values of microminerals observed in solid feed greatly contrast with the contents analyzed in sows' IB milk (Table 1). Therefore, consumption of pre-starter feeds before weaning, as it occurs in CS and IS treatments, suppose a very high intake of trace minerals compared with piglets fed only on sows milk, as milk is a very poor source of Fe, Cu and Zn, according with our data and those described for milk of lean pigs (Csapó et al., 1996).

6.5.1 Iron

Suckling piglets must retain 21 mg/kg of BW (Braude et al., 1962) to maintain satisfactory hemoglobin and Fe stores. Taking into account the average daily milk consumption of Iberian piglets, found in a previous 34 d lactation experiment (863 g/piglet, Aguinaga et al., 2011), and the mean Fe concentration in Iberian sows' milk (Table 1), the amount of Fe provided by milk (calculated to be 1.43 g/d on average, in the M group) did not meet Fe requirements of piglets. As sow milk provides inadequate Fe amounts, it is now a common practice to injects piglets with 200 mg of Fe within 3 d of birth in order to prevent anemia (Jolliff y Mahan, 2011), as it was done in the current study in all the animals. Additional amounts of dietary Fe provided by solid creep feed intake in groups CS and IS did not seem to improve total body iron

concentration at weaning, nor Fe retention during the suckling period. Hansen et al. (2010) reported that the intestinal regulation of Fe absorption may not be fully functional during the first weeks of age of young pigs, as mRNA levels for the Fe transporters, divalent metal transporter 1 and ferroportin, are not upregulated in the duodenal mucosa until 26-47 d of age. It has been shown that administering Fe in amounts greater than 200 mg i.m. to newborn piglets improve Fe status, as measured by hemoglobin and hematocrit at weaning; however dietary Fe supplementation had no significant effect on hematology until 14 to 21 d postweaning (Jolliff y Mahan, 2011). In our study we have not measured hematological Fe parameters, but, since approximately 50-60% of total body iron is present as circulating hemoglobin (Mateos et al., 2005), measurement of Fe in blood may be a reliable indicator of Fe status. The absence of differences in Fe blood concentrations between animals fed only milk and those having solid creep feed may then be justified by the partial lack of Fe absorption in very young piglets. However, greater concentrations of Fe in viscera (up to 20% of total body) were observed in the IS group, suggesting a possible beneficial effect of additional dietary Fe consumption on iron stores, mainly the liver. Values of hepatic Fe concentration clearly tended to increase ($P = 0.10$) in IS group (Table 3), confirming a positive effect of this nutritional treatment on Fe storage. Accordingly, there are studies showing that concentration of hepatic minerals become greater when increased dietary levels are fed in post-weaning diets (Hill y Spears, 2001; Martin et al., 2011).

Values of Fe retention observed in the present assay (32.3 mg Fe/kg EBW gain, on average) exceeded needs estimated for suckling piglets to avoid anemia (21 mg Fe/kg BW, Braude et al. 1962). This Fe retention over the nursing period allows the 35 d weaned IB piglet to maintain similar values of Fe body concentration than that showed at birth (32.84 ± 2.01 mg/kg EBW). However, Mahan y Shields (1998) reported that body Fe in conventional lean pigs increased from birth to 20 kg BW, and then declined gradually to 145 kg BW. Values observed by these authors were 19.97 and 25.42 mg/kg EBW expressed on a fat-free basis, for piglets at birth and at weaning (28 d), considerable lower than data observed in IB piglets in the present study. Differences may be due to the higher levels of myoglobin and iron present in muscles from IB pigs, compared with conventional pigs (Ventanas et al., 2006). Balance

experiment performed in piglets between weaning (19-21 d) and 35 d of age, have shown a positive effect of increasing dietary concentrations of supplemental Fe on total daily iron retention (Rincker et al., 2005), probably because an activation of mechanism of Fe absorption from day 26 onwards. This effect on total Fe retention was not observed in the present assay when the global 1-35 d suckling period was considered.

6.5.2. Copper

Copper needs to prevent physiological deficiencies are very low, but most pig producers include pharmacological levels of Cu in the post-weaning diet (125-250 mg/kg) to enhance growth and feed conversion (Hill et al., 2001). Initiation of consumption of pre-starter diet before weaning, as in CS and IS groups, did not increase Cu body concentration in piglets at weaning nor Cu retention per kg of EBW compared with the M group, despite that levels of Cu in the pre-starter feed were considerably higher than Cu concentration in milk. Several mechanisms have been proposed to justify the beneficial effect of dietary Cu on pig health and performance, as follows: acting as an antimicrobial agent, improving nutrient digestibility and immune function, protecting cells from oxidative stress and stimulating feed intake (Mateos et al., 2005). Neither of these mechanisms seems to produce an increase of total body copper when pre-starter diets are consumed before weaning, according to our experimental results.

However, measurement of Cu balance in weanling pigs of 35 d of age have shown that increasing dietary Cu from basal values (16.5 mg/kg) to 100-250 mg/kg, increase Cu absorption and retention in mg per day (Veum et al., 2004). Jondreville et al. (2002) reported that feeding pigs diets containing 250 mg/kg Cu during 100-150 d may increase Cu in liver up to 400-500 mg/kg in growing pigs, values extremely high. Also, in 35 d weanling pigs Cu liver concentrations increase linearly when increasing Cu dietary content up to 150% of the NRC (1998) recommendations (Martin et al., 2011). Data of the present assay, however, showed no increase in Cu concentration in the main body components (carcass and viscera) at weaning among piglets fed the pre-

starter. Moreover, analysis of liver at weaning showed no significant differences between piglets submitted to the different treatments. The increased concentrations of Cu in blood and Cu in the HFT body component found in creep fed piglets did not alter total body Cu, as they represent minor fractions. However, circulating Cu is complexed to superoxide dismutase and ceruloplasmin, enzymes implicated in the protection from harmful free radicals (Mateos et al., 2005) and thus, increased levels of Cu in blood could have positive effects in antioxidant enzymes activity.

As mentioned above, minimal information exists concerning trace elements in the body composition of swine. It has been described in lean pigs that body Cu declined drastically from birth to weaning, and reported values, expressed as EBW fat-free basis, are 1.61 and 1.32 mg/kg, respectively (Mahan y Shields, 1998). Values found in the present assay in IB piglets, expressed on a total EBW basis, are slightly higher, but the decline from birth (2.89 mg/kg) to weaning (1.86 mg/kg, on average, Table 2) was also observed. The observed decrease of Cu body concentration until weaning has been attributed to the low sow milk Cu content, although further declining from 20 to 90 kg BW has also been observed, whereupon it remain relatively constant up to 145 kg BW (Mahan and Shields, 1998). These data confirm that dietary Cu is poorly absorbed by pigs in any growing stage, and, therefore, feeding high levels of Cu increases concentration of Cu in manure and poses a potential environmental threat (Kornegay y Verstegen, 2001). In this sense, efforts have been made looking for Cu sources other than CuSO₄, trying to improve Cu absorption and retention and decrease Cu excretion, such as Cu-proteinates (Veum et al., 2004) or Cu-Lysine (Apgar y Kornegay, 1996), without compromising the Cu-stimulating growing effect.

6.5.3. Zinc

Pharmacological levels of dietary Zn (2000-3000 mg/kg of diet) are added to nursery pigs as a potent growth-promoting agent, although it has been reported both improvement of growth performance (Hill et al., 2001) and no effects (Rincker et al., 2005).

According to the current experiment, the provision of solid feed containing pharmacological Zn levels before weaning increased drastically whole-body Zn content of piglets at weaning and Zn total retention during the suckling period, with a more pronounced effect when pre-starter feed intake was enhanced by intermittent suckling. Taking into account Zn content in the IB sow's milk and the average milk consumption of Iberian piglets (Aguinaga et al., 2011), we can calculate that average consumption among animals in the M group was close to 10 mg Zn/d, noticeably less than the NRC (1998) recommendation for a 5-10 kg pig (50 mg Zn/d). Also, it may be estimated that creep feed consumption in groups CS and IS gave rise to Zn intakes of about 114.5 and 165.1 mg/d, respectively. Therefore, animals of CS and IS groups consumed amount of Zn considerable higher than those of M group, as expected. It must be highlighted that Zn requirements of young pigs consuming a casein-glucose diet are very low, because such a diet does not contain plant phytates, although for growing pigs fed semipurified diets that contain isolated soybean protein or corn-soybean meal diets, and the recommended level of Ca, the Zn requirements are much higher (NRC, 1998). It has been reported that weaned pigs fed during a 14 d experiment (from 20 to 35 d of age) diets containing pharmacological levels of Zn have greater fecal Zn excretion and whole-body Zn concentration than pigs fed no-added Zn diets (Rincker et al., 2005). In the present assay higher Zn concentrations were found in all body components when piglets were offered solid diets, with markedly differences found in blood. Although we have not measured Zn excretion, values of Zn total retention (Table 4) allow us to calculate that approximately 40% of the ingested Zn from milk was retained by animals in the M treatment group, whereas relative retention of Zn in groups CS and IS was substantially lower. As retention rate of dietary Zn is decreased when dietary concentration is higher than body requirements (Rincker et al., 2005), present data support that Zn content in the pre-starter feed was above needs for piglets during the suckling period. As a consequence, most of Zn ingested from the pre-starter was excreted by the suckling piglet, even when increased Zn body concentrations were observed in those on creep feed. According with Rincker et al. (2005), once tissue stores are loaded, dietary minerals in excess of the body's requirements are excreted. Moreover, in addition to the environmental concern, high dietary concentrations of Zn might disturb body homeostasis of these and other

elements, so some authors have stated that long practice of adding pharmacological levels of Zn to swine diets is questionable (Hill et al., 2001).

Body Zn increased rapidly from birth to weaning, according to Mahan and Shields (1998). Zn body content in lean pigs has been reported as 10.93 and 15.25 mg Zn/ kg fat-free EBW for piglets at birth and at weaning milk-fed (Mahan and Shields, 1998), lower than those observed in IB piglets on EBW basis (19.05 and 24.39 mg/kg at birth and at weaning in M group). Thirty-five day old piglets fed pharmacological Zn levels during 14 d have whole-body Zn concentrations much higher than those found in CS and IS animals (Rincker et al., 2005). It has been reported in weanling piglets that increasing dietary Zn resulted in increased Zn concentration in liver (Carlson et al., 1999; Rincker et al., 2005), according with our results.

This effect seems to occur via metallothionein, an enzyme that regulates the quantity of absorbed Zn by binding to dietary Zn in the intestine. Zinc is transported into the plasma and deposited in liver, and thus, increased dietary Zn induces greater hepatic concentrations of metallothionein (Carlson et al., 1999). Data observed in 35 d old lean pigs fed no added-Zn diets are very similar to those found for IB piglets of the M treatment group (52.52 and 53.22 mg Zn/kg liver, respectively), but in pigs fed diets containing 2000 mg Zn/kg, liver concentration increase drastically to 350 mg/kg (Rincker et al., 2005), a value higher than that observed for CS and IS piglets (Table 3).

Interactions have been described between trace minerals Fe, Cu and Zn. In the current assay we have observed no statistical relationships of body retention or whole-body concentration at weaning between Fe, Cu and Zn. However, in blood a negative correlation was found between Cu and Fe concentrations ($r=-0.4613$, $P = 0.0007$), whereas positive correlation was observed between Cu and Zn ($r=0.4040$, $P = 0.0033$). Similar results were found in the HFT body compartment, but no correlations were found regarding concentrations of trace minerals neither in viscera, liver, nor in carcass. Negative correlations between blood Cu and Fe may occur via ceruloplasmin, as excess of Zn is known to induce a decrease in ceruloplasmin activity, a Cu-containing enzyme that is required for binding Fe to transferrin via its ferroxidase activity (Osaki y Johnson, 1969).

It may be concluded that provision of solid feed containing pharmacological trace elements levels before weaning led to certain changes in their body contents at

weaning compared with milk-fed piglets; particularly, increased Zn body levels was observed as solid feed intake increased. Beneficial consequences of these pre-weaning changes warrant to be evaluated, as this feeding treatment also may cause environmental concerns. Therefore, further assays are needed to study the real needs of a dietary supply of trace minerals in the pre-weaning period, taking into account the adverse consequences on environment and the effects on activity of several enzymes, especially on antioxidant enzymes (Martin et al., 2011).

Acknowledgements

This study was supported by a research project of Junta de Andalucía No. AGR-3078. Rosa Castellano was recipient of a grant from Junta de Andalucía.

6.6. LITERATURE CITED

- AGUINAGA, M.A., GOMEZ-CARBALLAR, F., NIETO, R., AGUILERA, J.F.,** 2011. Production and composition of Iberian sow's milk and use of milk nutrients by the suckling Iberian piglet. *Animal* 5, 1390-1397.
- APGAR, G.A., KORNEGAY, E.T.,** 1996. Mineral balance of finishing pigs fed copper sulfate or a copper-lysine complex at growth-stimulating levels. *J Anim Sci* 74, 1594-1600.
- BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO,** 2005. Real Decreto Español 1201/2005 sobre la protección de los animales utilizados para experimentación y otros fines científicos, In: *Boletín Oficial del Estado*, pp. 34367-34391.
- BRAUDE, R., CHAMBERLAIN, A.G., KOTARBINSKA, M., MITCHELL, K.G.,** 1962. The metabolism of iron in piglets given labeled iron either orally or by injection. *Br. J.Nutr* 16, 427-449.
- BSAS,** 2003. *Nutrient Requirement Standards for Pigs*. Br. Soc Anim. Sci, Penicuik, Midlothian, UK.
- CARLSON, M.S., HILL, G.M., LINK, J.E.,** 1999. Early- and traditionally weaned nursery pigs benefit from phase-feeding pharmacological concentrations of zinc oxide: effect on metallothionein and mineral concentrations. *J. Anim. Sci.* 77, 1199-1207.
- CSAPÓ, J., MARTIN, T.G., CSAPÓ-KISS, Z.S., HÁZAS, Z.,** 1996. Protein, fats, vitamin and mineral concentrations in porcine colostrum and milk from parturition to 60 days. *Int. Dairy J.* 6, 881-902.
- HANSEN, S.L., TRAKOOLJUL, N., SPEARS, J.W., LIU, H.C.,** 2010. Age and dietary iron affect expression of genes involved in iron acquisition and homeostasis in young pigs. *J.Nutr.* 140, 271-277.

- HILL, G.M., CROMWELL, G.L., CRENSHAW, T.D., DOVE, C.R., EWAN, R.C., KNABE, D.A., LEWIS, A.J., LIBAL, G.W., MAHAN, D.C., SHURSON, G.C., SOUTHERN, L.L., VEUM, T.L., 2000.** Growth promotion effects and plasma changes from feeding high dietary concentrations of zinc and copper to weanling pigs (regional study). *J Anim Sci* 78, 1010-1016.
- HILL, G.M., MAHAN, D.C., CARTER, S.D., CROMWELL, G.L., EWAN, R.C., HARROLD, R.L., LEWIS, A.J., MILLER, P.S., SHURSON, G.C., VEUM, T.L., NUTRITION, N.-C.O.S., 2001.** Effect of pharmacological concentrations of zinc oxide with or without the inclusion of an antibacterial agent on nursery pig performance. *J. Anim. Sci.* 79, 934-941.
- HILL, G.M., SPEARS, J.W., 2001.** Trace and ultratrace elements in swine nutrition., In: Southern., A.J.L.a.L.L. (Ed.), *Swine Nutrition*, CRC Press, Boca Raton, FL., pp. 229-261.
- JOLLIFF, J.S., MAHAN, D.C., 2011.** Effect of injected and dietary iron in young pigs on blood hematology and postnatal pig growth performance. *J. Anim. Sci.* 89, 4068-4080.
- JONDREVILLE, C., REVY, P.S., JAFFREZIC, A., DOURMAD, J.Y., 2002.** Le cuivre dans l'alimentation du porc : oligoélément essentiel, facteur de croissance et risque potentiel pour l'Homme et l'environnement. *INRA Prod Anim* 15 (4), 247-265.
- KORNEGAY, E.T., VERSTEGEN, M.W.A., 2001.** Swine nutrition and environmental pollution and odor control., In: Southern., A.J.L.L.L. (Ed.), *Swine Nutrition*, CRC Press, Boca Raton, FL., Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, USA, p. 611.
- KULLER, W.I., SOEDE, N.M., VAN BEERS-SCHREURS, H.M.G., LANGENDIJK, P., TAVERNE, M.A.M., VERHEIJDEN, J.H.M., KEMP, B., 2004.** Intermittent suckling: Effects on piglet and sow performance before and after weaning. *J. Anim. Sci.* 82, 405-413.
- MAHAN, D.C., SHIELDS, R.G., 1998.** Macro- and micromineral composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight. *J. Anim. Sci.* 76, 506-512.

- MARTIN, R.E., MAHAN, D.C., HILL, G.M., LINK, J.E., JOLLIFF, J.S.,** 2011. Effect of dietary organic microminerals on starter pig performance, tissue mineral concentrations, and liver and plasma enzyme activities. *J. Anim. Sci.* 89, 1042-1055.
- MATEOS, G.G., GARCÍA, D., JIMÉNEZ, E.,** 2004. Microminerales en alimentación de monogástricos. Aspectos técnicos y consideraciones legales. XX Curso de especialización FEDNA, 275-323.
- MATEOS, G.G., LÁZARO, R., ASTILLERO, J.R., PÉREZ, M.,** 2005. Trace minerals: what text books don't tell you., In: Tucker, J.A.T.P.a.L.A. (Ed.), *Re-Defining Mineral Nutrition*, Nottingham University Press, UK, pp. 21-62.
- NRC,** 1998. Nutrient requirement of swine. Natl Acad Press, Washington, DC.
- OSAKI, S., JOHNSON, D.A.,** 1969. Mobilization of Liver Iron by Ferroxidase (Ceruloplasmin). *J. Bio. Chem.* 244, 5757-5758.
- RINCKER, M.J., HILL, G.M., LINK, J.E., MEYER, A.M., ROWNTREE, J.E.,** 2005. Effects of dietary zinc and iron supplementation on mineral excretion, body composition, and mineral status of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 83, 2762-2774.
- VENTANAS, S., VENTANAS, J., JURADO, A., ESTEVEZ, M.,** 2006. Quality traits in muscle biceps femoris and back-fat from purebred Iberian and reciprocal Iberian x Duroc crossbred pigs. *Meat Sci* 73, 651-659.
- VEUM, T.L., CARLSON, M.S., WU, C.W., BOLLINGER, D.W., ELLERSIECK, M.R.,** 2004. Copper proteinate in weanling pig diets for enhancing growth performance and reducing fecal copper excretion compared with copper sulfate. *J. Anim. Sci.* 82, 1062-1070.

CAPÍTULO 7

Discusión general

7.1. COMPOSICIÓN DE LA LECHE DE CERDA IBÉRICA: FRACCIÓN MINERAL

El periodo de lactancia constituye uno de los momentos más críticos en la vida del animal al enfrentarse al final de la misma, de una forma brusca, a una serie de nuevas situaciones por lo que el estudio de dicho periodo es esencial para conseguir una mejor adaptación del lechón a la siguiente fase: el destete.

La mayoría de los estudios sobre composición de la leche de cerda, realizados en genotipos convencionales, se centran en evaluar el contenido en proteína, grasa y lactosa (Klobasa et al., 1987; Revell et al., 1998; Alston-Mills et al., 2000), siendo escasos los estudios sobre la composición mineral de la leche. Aunque son numerosos los factores que afectan tanto a la producción como a la composición de la leche de la cerda (Darrahg y Moughan, 1998), existen datos que demuestran que el suministro de nutrientes que aporta la leche a los lechones no depende estrictamente de la composición en nutrientes de la dieta de la madre, puesto que tiene lugar una movilización de sus reservas corporales para satisfacer las necesidades del lechón (Klaver et al., 1981; Clowes et al., 1998; Pluske et al., 1998). Esta capacidad de movilización de reservas para mantener la lactación disminuye a medida que se agotan los depósitos de grasa (Noblet y Etienne, 1986). Por otra parte, se han descrito diferencias significativas en la concentración de nutrientes de la leche atribuidas a la raza (Fahmy, 1972; Zou et al., 1992; Alston-Mills et al., 2000).

En la raza Ibérica encontramos un único estudio reciente sobre la composición de la leche de cerda (Aguinaga et al., 2011a) en el que se determinó la composición en nutrientes orgánicos, energía y aminoácidos. Por ello, en nuestro estudio analizamos

de una forma más amplia la composición de la leche de cerda Ibérica, incluyendo de manera detallada los cambios que se producen en la fracción mineral, aspecto sobre el que no existe información actualmente. El régimen de alimentación al que fueron sometidas las madres durante la lactación generó una pérdida de peso diaria de 400 a 500 g/d que no afectó a la producción y composición de la leche. El ensayo se realizó en dos réplicas consecutivas en las que la temperatura ambiental fue diferente por lo que, algunas variaciones en nuestros resultados (detalladas a continuación) pueden ser atribuidas, entre otros factores, al cambio térmico.

A lo largo del periodo de lactación el cambio más importante que observamos en la composición de la leche ocurre en la cantidad de cenizas totales, incrementándose un 35% (pasando de 8,9 a 12,0 g/kg; Aguinaga et al., 2011a), siendo un valor superior a los descritos para las razas convencionales, que oscilan entre 7,5 - 7,7 g/kg (Noblet y Etienne, 1986) y 8,0-8,4 g/kg (Csapó et al., 1996; Renaudeau et al., 2003) sin llegar a alcanzar los valores descritos en la raza Ibérica. Dichas diferencias podrían estar relacionadas con la mayor proporción de tejido óseo sobre tejido magro que presenta el genotipo Ibérico (Nieto et al., 2008). Al realizar el análisis individual de los diferentes minerales en la leche, encontramos que el aumento del contenido de cenizas se debe al incremento significativo de Ca, P y Mg durante la lactancia (pasando de 215-325, 181-235 y 10.9-14.9 mg/100g de Ca, P y Mg, respectivamente, entre los días 5 a 34). En este sentido, nuestros resultados coinciden con los de estudios anteriores realizados en cerdas convencionales, en los que la concentración de Ca en la leche aumenta desde el parto hasta el destete (Miller et al., 1994; Csapó et al., 1996; Alston-Mills et al., 2000). Sin embargo, en la leche de cerda Ibérica la proporción de Ca alcanzó un 25,5-26,5% de la fracción mineral, mientras que en los genotipos mejorados encontramos un rango del 21-23% (Miller et al., 1994; Csapó et al., 1996). Así mismo, observamos un mayor contenido de P, Mg y Zn, valores similares para el Cu, e inferiores para el Fe, que los descritos por Csapó et al. (1996) en la leche de cerdas convencionales. El mayor contenido de Zn podría ser beneficioso para el lechón gracias a su implicación en numerosas funciones relacionadas con el estado inmunitario del mismo; por ello, se han realizado estudios en los que se intentó incrementar los niveles

de Zn en la leche de cerda aumentando su contenido en la dieta de lactación (Earle y Stevenson, 1965).

Por otro lado, en nuestro ensayo encontramos variaciones en el contenido de Ca, P, Mg, Cu y Zn en la leche ($p < 0,001$) (mg/100g): 286-243 Ca, 215-180 P, 13,3-11,6 Mg, 0,128-0,164 Cu y 1,237-0,984 Zn, entre las réplicas 1 y 2, respectivamente. Dichas diferencias podrían estar relacionadas, en parte, con la diferente temperatura ambiental de ambas réplicas, al producirse una mayor irrigación del flujo sanguíneo en la glándula mamaria, o a una mayor extracción mineral (excepto para el Cu) bajo condiciones de temperaturas elevadas. Renaudeau y Noblet (2001) encontraron que la exposición a temperaturas ambientales altas (29°C vs. 20°C) tiende a aumentar la MS, energía y contenido de cenizas en la leche de cerdas convencionales, sin afectar a la proteína, lactosa o grasa, lo que sugiere que los cambios en composición de la leche podrían estar relacionados con una mayor movilización de las reservas corporales en condiciones de elevadas temperaturas ambientales. Sin embargo, observaciones posteriores han demostrado que la composición de la leche de las cerdas no se ve afectada por la temperatura ambiental, aunque el flujo de sangre en la glándula mamaria es superior a temperaturas relativamente altas (28°C), sin que se vea afectada la producción de leche (Renaudeau et al., 2003).

7.2. COMPOSICIÓN MINERAL DE LOS LECHONES BAJO EL TRATAMIENTO DE LACTANCIA EXCLUSIVA

Como hemos comentado anteriormente, la información existente respecto a la composición corporal y mineral de los lechones al nacimiento es escasa y poco actual (Noblet y Etienne, 1986, 1987; Everts y Dekker, 1994) a pesar de la importancia de la misma en el desarrollo posterior del lechón. Por ello, los datos obtenidos en la presente Tesis Doctoral proporcionan nueva información sobre la composición corporal de lechones (en nuestro caso, Ibéricos), necesaria para poder abordar de una forma más específica las necesidades nutricionales del lechón Ibérico.

En nuestro estudio, los lechones al nacimiento mostraron un elevado contenido (40 g/kg de PVV) de cenizas, de los cuales el 35% estaba constituido por Ca y el 19,5% por P. Los valores de Ca y P que encontramos son más elevados que los descritos por Everts y Dekker (1994), mientras que los niveles de Mg son similares. Además, se ha observado que los lechones Ibéricos recién nacidos presentaron un mayor contenido (g/kg) de proteína, cenizas, grasa (más del doble) y energía (Aguinaga et al., 2011a) que los lechones de razas convencionales (Elliot y Lodge, 1977).

Tras el periodo de 34 días de lactación, encontramos en el lechón Ibérico un contenido corporal de proteína, grasa y energía similar al descrito para lechones convencionales destetados a los 21 días (Aguinaga et al., 2011a), pero el contenido de cenizas fue siempre mayor en los lechones Ibéricos que en los genotipos convencionales (en torno a 40 vs 30 g/kg de PVV) (Noblet y Etienne, 1987; Everts et al., 1998; Renaudeau et al., 2001). Esta discrepancia puede deberse a variaciones debidas al genotipo, así como a las diferencias en cuanto a la tasa de ganancia de peso de la camada (que es menor en los lechones Ibéricos), ya que, según algunos autores, el contenido corporal de cenizas está correlacionado de una forma negativa con la ganancia media diaria (Noblet y Etienne, 1987). Además, el mayor contenido de cenizas en el lechón Ibérico al destete podría estar relacionado con la composición de la leche de la cerda Ibérica, la cual es especialmente rica en minerales, como se ha comentado anteriormente. En comparación con cerdos de razas convencionales (Large

White, Landrace × Holandesa) destetados a los 25 días, los lechones Ibéricos destetados a los 34 días contienen mayores concentraciones de Ca (11 - 12,7 frente a 7,4 g/kg PVV) y P (7 - 7,5 frente a 4,9 g/kg de PVV) y valores similares de Mg (0,33 - 0,35 frente a 0,3 g/kg de PVV), a pesar de presentar un PV ligeramente inferior (7,17 frente a 7,6 kg) (Everts et al., 1998).

Como hemos indicado en el capítulo 1, tanto el Ca como el P desempeñan numerosas e importantes funciones en el organismo animal, entre las que podemos destacar la formación y mantenimiento de estructuras óseas (Mahan, 1990; Underwood y Suttle, 2003), así como funciones metabólicas cruciales, como pueden ser la mejora de la respuesta inmune (Galloway et al., 1989; Alston-Mills et al., 2000), la conducción del impulso nervioso o su participación como componentes esenciales de diversas moléculas (Underwood y Suttle, 2003). El Mg por su parte, es imprescindible en el metabolismo de carbohidratos, lípidos, ácidos nucleicos y proteínas, además de ser cofactor de numerosas enzimas (Underwood y Suttle, 2003). Por ello, para evaluar el estado nutricional de nuestros lechones realizamos el análisis del contenido mineral en las diferentes fracciones del animal, encontrando que es en la canal donde se encuentra la mayor proporción de Ca, P y Mg (60, 65,4 y 65,6% del total, respectivamente), mientras que el componente formado por la cabeza-patas-rabo contribuye con un 39,8, 33,2 y 26,9%, al contenido corporal total de Ca, P y Mg, respectivamente. Por último, encontramos porcentajes sensiblemente menores en vísceras para dichos minerales (0,19, 1,42 y 7,5% del total de Ca, P y Mg, respectivamente), e insignificantes valores en el caso del componente de la sangre.

Los resultados descritos nos proporcionan por primera vez información relativa a la distribución de minerales en los tejidos corporales en lechones Ibéricos al destete, por lo que su discusión y comparación está limitada por la escasez de estudios similares.

Las variaciones observadas entre las réplicas relativas a la composición mineral de la leche no dieron lugar a diferencias significativas en la ingesta de los distintos minerales a lo largo del periodo de lactancia, ya que, en la segunda réplica, el menor contenido en minerales de la leche se contrarrestó con un mayor consumo. En cuanto

a la retención mineral en los lechones Ibéricos alimentados con la leche de sus madres, en nuestro estudio encontramos un mayor contenido de cenizas por unidad de ganancia de peso en comparación con los datos disponibles para genotipos de razas mejoradas, (40,6 g/kg de media frente a 28-29 g/kg) (Noblet y Etienne, 1986, 1987; Everts et al., 1998).

Everts et al. (1998) realizaron un balance mineral en lechones destetados a los 25 días determinaron un contenido medio de 6,5, 4,5 y 0,27 g de Ca, P y Mg por kg de ganancia de peso, respectivamente, mientras que en nuestro ensayo los lechones Ibéricos alcanzaron valores medios de 11,6, 7,1 y 0,32 g de Ca, P y Mg por kg de peso ganado, respectivamente. Sin embargo, al expresar los resultados en retención por día, las diferencias son menores entre las dos razas (1,7, 1,2 y 0,07 para los lechones de razas mejoradas (Galloway et al., 1989) y 1,8, 1,12 y 0,05 en los lechones Ibéricos para el Ca, P y Mg, respectivamente). Por lo tanto, las diferencias encontradas en la composición mineral de la ganancia en lechones de diferentes razas puede deberse a una mayor ingesta de minerales procedentes de la leche de cerda Ibérica, así como a la menor ganancia de peso diaria que observamos en los lechones Ibéricos.

Por otro lado, no encontramos diferencias con respecto al PVV final entre las diferentes réplicas, pero la tendencia a una mayor ganancia de peso por unidad de alimento observada en la primera réplica (Aguinaga et al., 2011b), podría estar relacionada con el aumento en la deposición de minerales, ya que el contenido de cenizas por kg de ganancia fue significativamente mayor en dicha réplica (debido principalmente a la mayor concentración de Ca de casi el 30% frente al 26% de la segunda réplica). Tal contenido en cenizas podría indicarnos una mejora en la mineralización ósea y podría estar relacionado con un aumento tanto del Ca como del P en el organismo (explicándose así la mayor proporción Ca:P que presentan los lechones de la réplica 1). Estas diferencias podemos explicarlas principalmente por:

- a) el elevado contenido mineral de la leche de cerda en la réplica 1,
- b) el incremento significativo en la eficiencia de utilización del Ca de la leche (81,8% frente a 74,9% en la réplica 2).

En un ensayo realizado durante tres semanas en lechones alimentados con leche de cabra o una fórmula de leche de vaca (Rutherford et al., 2006), el Ca se asimiló con una eficiencia del 89 y 92% (según la dieta) siendo valores inversamente proporcionales a la relación de Ca:P en la leche. En nuestro ensayo no encontramos diferencias entre las réplicas en cuanto a la relación de Ca:P de la leche (1,33 y 1,35 en las réplicas 1 y 2, respectivamente). El aumento en la utilización del Ca durante la réplica realizada con una temperatura más elevada, podría deberse a una mayor participación de la vitamina D. La vitamina D (a través de su metabolito, D-1,25-dihidroxitamina) juega un papel esencial en la absorción del Ca, y la temperatura ambiental se considera un factor que contribuye al mantenimiento de niveles adecuados de vitamina D (Devgun, 1991). Rutherford et al. (2006) determinaron que la eficiencia de retención para el P y Mg fue del 96,2% y 55,3%, respectivamente, sin encontrarse diferencias entre los diferentes tipos de leches suministradas. Estos valores fueron más altos que los porcentajes medios obtenidos en nuestro estudio, a pesar de que los lechones Ibéricos alimentados sólo con leche presentan una mayor eficiencia de retención para las cenizas totales que para cualquier otro nutriente.

7.3. COMPOSICIÓN CORPORAL DE LOS LECHONES BAJO EL TRATAMIENTO DE INTERMITENCIA

En el cerdo Ibérico, la productividad es bastante inferior que la de genotipos convencionales, a pesar de la importancia y calidad de sus productos en el sector porcino. Actualmente, el sector se centra en mejorar y acortar su ciclo productivo, principalmente evaluando posibles manejos que permitan intensificar la producción durante el periodo de crecimiento. Estudios previos han demostrado que el índice de crecimiento del lechón Ibérico en lactación está limitado por la baja eficiencia de utilización de la proteína y la energía de la leche (Aguinaga et al., 2011a).

Una posible estrategia para suavizar la brusca transición entre el aporte de leche materna y el consumo de alimento sólido sería estimular el consumo de la dieta sólida antes de que se produzca el destete, lo cual podría favorecer la ganancia de peso, y además reducir el riesgo de sufrir trastornos intestinales en el post-destete (van Beers-Schreurs et al., 1998; Berkeveld et al., 2007b).

Como indicamos en el capítulo 1, existen diversos estudios sobre el efecto de la intermitencia en genotipos porcinos convencionales, en los que el acceso a la madre se limita drásticamente durante un periodo de 10 o 12 horas desde el inicio del tratamiento (Berkeveld et al., 2007b; Kuller et al., 2007; Berkeveld et al., 2009); sin embargo, en nuestro estudio, la separación de la madre se realizó progresivamente, incrementando el número de horas diarias de 6 a 10, para así conseguir una mejor adaptación a la dieta sólida sin el estrés causado por una brusca separación de la madre.

Podemos destacar el efecto positivo que observamos en el tratamiento de lactación intermitente respecto a la ingesta media diaria de alimento sólido, en el que se observó un consumo de alimento sólido un 86% superior respecto al tratamiento de lactación convencional; además, el 100% de los lechones en intermitencia presentaron una ingesta acumulativa de alimento antes del destete superior a 600 g/por lechón, cantidad mínima estimada para mejorar los parámetros de crecimiento en el post-destete (English, 1980), sin embargo el 40% de los lechones en lactación convencional

no alcanzaron estos valores recomendados. En estudios previos también se ha observado un incremento de la ingesta de alimento sólido durante la lactación en lechones sometidos a un sistema de intermitencia (con un periodo de separación de 12 horas al día), en comparación con lechones destetados bajo sistemas convencionales, aunque el nivel de estimulación de la ingesta de pienso de iniciación suele ser muy variable entre los animales (Kuller et al., 2004; Berkeveld et al., 2007b; Kuller et al., 2007). Sin embargo, se produce un descenso importante sobre la estimulación de la ingesta cuando las madres y los lechones se separan por un periodo de tiempo menor, tal como 10 horas al día, durante los días 19 al 26 (Berkeveld et al., 2009), o 7 horas al día, los días 14 al 28 (Millet et al., 2008). Por lo tanto, en nuestro estudio el efecto beneficioso respecto a la ingesta de dieta sólida, a pesar del corto periodo de separación impuesto (entre 6 y 10 horas) podría deberse al inicio tardío de la lactación intermitente (a los 28 días), de forma similar a lo observado por otros autores al retrasar el periodo de separación de la madre (Berkeveld et al., 2008). Berkeveld et al. (2009) observaron que la combinación de la lactación intermitente (1 semana) con una lactación prologada (33 días) mejora la adaptación en el post-destete en términos de crecimiento, ingesta de alimento y características del tracto digestivo, respecto a los resultados obtenidos cuando simplemente se aumenta el tiempo de lactación intermitente (2 semanas). Además, la lactación intermitente durante un periodo prolongado (43 días) contribuye a estimular la conducta alimentaria sin causar estrés en los lechones (Berkeveld et al., 2007b). Por lo tanto, el destete a una edad más tardía (35 días), lo que implica un mayor desarrollo del tracto digestivo, así como una separación más gradual de la madre, son factores que pudieron contribuir a estimular la ingesta de alimento sólido en los lechones en lactación intermitente del presente ensayo. Sin embargo, la estimulación de la ingesta en los animales bajo el tratamiento de lactación intermitente no provocó diferencias significativas en la ganancia de peso media diaria o el PV en comparación con los lechones en lactación convencional, a pesar de que se observó una evidente variación numérica. Otros autores han observado incluso un menor peso y crecimiento de los lechones al destete tras la imposición de la lactancia intermitente (Kuller et al., 2004; 2007; Berkeveld et al., 2009), lo que sugiere que la ingesta de pienso durante dicho periodo no es suficiente para llegar a compensar el déficit que la separación de la madre provoca en la ingesta

de leche. Sólo cuando la separación ocurre durante periodos más cortos (6 horas/día) no se observan efectos negativos en la ganancia de peso (Newton et al., 1987).

Para estudiar los posibles efectos negativos sobre la ingesta de leche atribuidos a la separación de la madre, en nuestro estudio realizamos una estimación de dicha ingesta durante el periodo comprendido entre los días 28 a 35, asumiendo el valor de 0,793 para la relación ganancia de peso vivo:ingesta de alimento sólido, expresado en materia seca, obtenido en lechones Ibéricos en lactación con acceso exclusivo a leche materna (Aguinaga et al., 2011a). Así, calculamos la ganancia media diaria a partir del consumo de alimento sólido en ese mismo periodo y, a su vez, la ganancia media diaria debida a la ingesta de leche y, finalmente, la ingesta de leche en sí. De acuerdo a estos cálculos, la ingesta de leche durante la semana previa al destete en los lechones en intermitencia no fue inferior a la observada en los animales en lactación convencional (742 y 668 g/día de media, respectivamente). Por lo tanto, las condiciones especiales de intermitencia realizadas en nuestro experimento parecen contrarrestar el efecto negativo sobre la ingesta de leche durante el periodo limitado de acceso a la madre indicado por otros autores (Kuller et al., 2004), y, como consecuencia, no se observaron efectos negativos sobre la ganancia diaria de peso o el PV.

La tasa de crecimiento media en lechones Ibéricos alimentados exclusivamente con leche de sus madres durante un periodo de 34 días fue de 168 g/día (Aguinaga et al., 2011a), valor muy similar al observado en los lechones bajo lactación convencional (172 ± 12 g/día), aunque menor que el valor mostrado por lechones en intermitencia (197 ± 9 g/día). Además, los lechones en intermitencia alcanzaron numéricamente un peso mayor al destete que los de lactación convencional (8,13 frente a 7,12 kg, respectivamente, aunque sin diferencias significativas). Uno de los factores más críticos que determina un óptimo rendimiento en el crecimiento de los lechones en fases posteriores es el peso de los mismos al destete; los lechones con pesos superiores en ese momento crecen con un mayor rendimiento hasta alcanzar el peso de sacrificio (King y Pluske, 2003) y, según Close y Cole (2003), la edad de sacrificio se puede reducir como mínimo en 10 días para un cerdo que tiene 1 kg más de peso al destete. En el presente estudio encontramos un aumento medio del 12,3% del PV al destete en los lechones en lactación intermitente comparados con los que se

encontraban bajo el tratamiento de lactación convencional, pudiendo estar relacionado con un aumento de la ingesta de alimento sólido (como se observa en las correlaciones positivas obtenidas entre la ingesta de alimento sólido entre los días 28 y 35 y la ganancia media diaria, y el PV al destete). Además, el 46% de la ganancia total de peso diaria fue debida a la ingesta de alimento sólido en el grupo de lactancia intermitente, comparado con el 34% en los lechones en lactación convencional.

El contenido corporal de proteína, grasa, minerales y agua al nacimiento y al destete observado en el presente experimento fue similar al obtenido en estudios previos en lechones Ibéricos alimentados exclusivamente con leche materna durante 35 días (Aguinaga et al., 2011a). En comparación con lechones de genotipo convencional al nacimiento, los lechones Ibéricos presentaron mayores contenidos en proteína, grasa y minerales, así como un mayor contenido energético (Noblet y Etienne, 1986; Jentsch et al., 1995). La composición corporal al destete podría estar influenciada por la duración de la lactancia y la ingesta de alimento sólido, por lo que la comparación con otros experimentos, especialmente aquellos en los que se utilizan lechones de genotipo convencional, que habitualmente son destetados a edades más tempranas, podría no ser apropiada en este caso.

La composición corporal de la ganancia de peso en los lechones Ibéricos destetados a los 35 días observada en el estudio de Aguinaga et al. (2011a) muestra un mayor contenido proteico (172 g/kg de ganancia de peso) que el encontrado en nuestro estudio; el contenido en grasa y energía (152 g/kg de ganancia de peso y 10,1 MJ/kg de ganancia de peso) fue ligeramente superior al observado en lechones en intermitencia y mayor que en lechones bajo lactación convencional. El contenido en minerales por kg de peso ganado en los lechones Ibéricos alimentados sólo con leche (41,4 g/kg de ganancia de peso) fue mayor que el observado en el presente experimento (34,1 g/kg de ganancia de peso, de media).

Gracias a los estudios realizados en nuestro grupo de investigación, conocemos que los cerdos Ibéricos se diferencian considerablemente de los cerdos de genotipo magro en la composición en nutrientes de la ganancia de peso diaria (Nieto et al., 2002; Conde-Aguilera et al., 2011a). Sin embargo, no se ha encontrado información en

la bibliografía respecto a los posibles efectos de la lactación intermitente sobre la composición corporal de los lechones al destete, que, a su vez, podría afectar al crecimiento y desarrollo en el post-destete. Según Wolter et al. (2002), en cerdos convencionales el impacto del aporte adicional de nutrientes durante la lactancia sobre la composición corporal del peso al sacrificio es muy limitado. Ahora bien, cuando la ingesta extra de alimento durante la lactación produce un cambio en la composición corporal al destete, podría también influir en los parámetros productivos en el periodo de post-destete. Nuestros estudios muestran efectos significativos del tratamiento de lactación intermitente sobre la composición corporal de lechones Ibéricos destetados, especialmente en las cantidades diarias depositadas tanto de grasa como de energía. Al estudiar la deposición de los nutrientes en los diferentes compartimentos corporales, se observó que el aumento de la retención de grasa corporal se debió a una mayor retención en la canal, al tratarse del mayor almacén de lípidos del animal, lo cual supuso un 26% de incremento en la concentración de grasa de la canal en lechones en intermitencia en comparación con los de lactación convencional. Se ha observado que los lechones jóvenes metabolizan preferentemente la grasa y evitan la utilización de la proteína corporal cuando el aporte de nutrientes es limitado, sobre todo en el post-destete (William, 2003). Además, se requiere un ritmo crecimiento de aproximadamente 200 g/día en los lechones jóvenes antes de que la grasa corporal empiece a acumularse (Whittemore et al. (1978). Por lo tanto, un aumento en la retención de grasa previo al destete podría beneficiar el desarrollo posterior, ya que se ha demostrado que en el destete se produce generalmente la movilización de los lípidos para conseguir la energía necesaria para llevar a cabo procesos vitales, mientras que la proteína se mantiene o incluso se deposita en el organismo. Este hecho podría ser particularmente importante para el lechón Ibérico, puesto que bajo determinados sistema de manejo debe enfrentarse a condiciones ambientales severas.

Nuestros resultados indican que el tratamiento de intermitencia no produjo efecto alguno sobre la concentración de proteína corporal o su retención. Por lo tanto, y de acuerdo con resultados previos de Aguinaga et al. (2011a), los lechones Ibéricos alcanzaron su máximo potencial para la deposición proteica en el rango comprendido

entre 27,4 y 30,3 g/día, cifras muy similares a las determinadas para genotipos convencionales (Noblet y Etienne, 1986).

Los lechones bajo el tratamiento de intermitencia no presentaron una mayor concentración corporal de minerales en comparación con los lechones en lactación convencional y, en consecuencia, no se observó ninguna diferencia en los niveles corporales de Ca y P. El análisis de la distribución de minerales en los principales compartimentos mostró que solamente la fracción formada por cabeza-patas-rabo se enriqueció significativamente (g/kg) en Ca y P. La concentración de Ca y P en la canal no se afectó, lo que nos indicaría que el mayor peso relativo de este componente observado en los lechones en intermitencia se debería a otros componentes diferentes al hueso, en el que estos elementos son mayoritarios (el 99% y 80% del Ca y P corporal, respectivamente, se localizan en el esqueleto). Así pues, el aumento de la proporción relativa del peso de la canal observada en los lechones en intermitencia estaría relacionado con el incremento de la deposición de grasa de la canal.

La concentración de Ca, expresada por kg de PVV y por kg de ganancia en peso se incrementó ligeramente (alrededor de un 10%) en lechones en intermitencia en comparación con los lechones que siguieron una lactación convencional. Basándonos en éstos resultados, y teniendo en cuenta el contenido en Ca y P aportado por la leche (calculado a partir de la estimación de la ingesta de leche) y el aportado por el pienso, es en el tratamiento de intermitencia donde se produjo una mayor eficiencia de utilización del Ca de la dieta (90% vs 79% del Ca ingerido se retuvo en los lechones en intermitencia y convencionales, respectivamente). Al contrario, la eficiencia de utilización del P no se vio afectada (75% y 74% para los grupos de intermitencia y convencional, respectivamente).

El aumento de la ingesta de alimento sólido observado en lechones en intermitencia (como consecuencia del manejo de intermitencia progresivo que realizamos), provocó cambios en la composición corporal al destete, principalmente relacionados con una mayor acumulación de grasa en la canal. Los posibles beneficios de esta práctica deberían de tenerse en cuenta, especialmente en sistemas de manejo

bajo los cuales los lechones se crían al aire libre, donde un aporte extra de tejido graso podría suponer ciertas ventajas frente a condiciones ambientales adversas.

7.4. COMPOSICIÓN EN MINERALES TRAZA DE LECHONES BAJO TRATAMIENTOS DE LACTANCIA EXCLUSIVA, CONVENCIONAL Y DE INTERMITENCIA

La ingesta de minerales en el organismo animal debe ser suficiente y adecuada para asegurar el mantenimiento de las reservas en los diferentes tejidos corporales y conseguir un equilibrio adecuado en el crecimiento y desarrollo, así como para una producción animal más eficiente y respetuosa con el medioambiente.

De una forma sistemática se incluyen elementos minerales traza como son el Fe, Cu y Zn en las dietas para lechones. Además, se añaden frecuentemente cantidades suplementarias, especialmente de Cu y Zn, a las dietas con el fin de estimular el crecimiento y prevenir enfermedades intestinales o dermatológicas.

En nuestro estudio, realizamos el análisis mineral de la dieta sólida ofrecida a los lechones y encontramos los siguientes contenidos de Fe, Cu y Zn: 240, 170 y 2900 mg/kg de dieta, respectivamente, los cuales son los esperados en piensos compuestos formulados como piensos de iniciación o pre-estarter, a pesar de que las recomendaciones para lechones en esa etapa son mucho menores (Fe 100-120, Cu 6 y Zn 100; mg/kg de dieta, (NRC, 1998; BSAS, 2003).

Los valores de los microminerales observados en la dieta sólida fueron muy inferiores a los analizados en la leche de cerda Ibérica, cuyos contenidos medios fueron 1,68, 1,46 y 11,10 mg/kg para Fe, Cu y Zn, respectivamente. Por lo tanto, el consumo del pienso pre-estarter antes del destete, como sucede en los tratamientos de lactación intermitente y convencional, supuso un aumento drástico en la ingesta de elementos traza en comparación con los lechones alimentados únicamente con leche de cerda, la cual es una fuente muy pobre en dichos minerales, según nuestros datos y los descritos para genotipos convencionales (Csapó et al., 1996).

7.4.1. Hierro

Para mantener los almacenes de Fe y los niveles de hemoglobina en un estado adecuado, los lechones en lactación deben retener aproximadamente 21 mg/kg de PV (Braude et al., 1962). Si tenemos en cuenta el consumo medio de leche observado en lechones Ibéricos (863 g/d (Aguinaga et al., 2011a)) y la concentración media de Fe en la leche de cerda Ibérica, la cantidad de Fe suministrada en la leche (según nuestros cálculos, 1,43 mg/día de media en el tratamiento bajo lactancia exclusiva), no cubre las necesidades de Fe óptimas estimadas para lechones en dicha fase de crecimiento. Por tanto, debido a que la leche proporciona una cantidad inadecuada de Fe, la inyección de 200 mg de Fe en los 3 primeros días de vida del lechón se ha convertido en una práctica común para prevenir la anemia (Jolliff y Mahan, 2011), por lo que también se llevó a cabo en todos los animales de nuestro estudio.

Las cantidades adicionales proporcionadas por la ingesta de alimento sólido en los grupos de lactación intermitente y convencional no mejoraron la concentración corporal total de Fe al destete, ni la retención de Fe durante el periodo de lactación. Hansen et al. (2010) observaron que la regulación intestinal de la absorción de Fe podría no ser totalmente funcional durante las primeras semanas de vida de los lechones, ya que los niveles de ARNm de los transportadores de Fe, el transportador de metales divalentes 1 y la ferroportina, no se expresan en la mucosa duodenal hasta los 26-47 días de edad. La administración intramuscular de Fe en cantidades mayores de 200 mg en lechones recién nacidos, sí mejora el estatus férrico determinado por el análisis de hemoglobina y hematocrito al destete; sin embargo, la adición de Fe de la dieta no tiene ningún efecto significativo sobre la hematología hasta los 14-21 días post-destete (Jolliff y Mahan, 2011). A pesar de no haber realizado la medida de los parámetros hematológicos de Fe, ya que aproximadamente el 50-60% del Fe total corporal está presente como hemoglobina circulante (Mateos et al., 2005), podemos decir que la medida de Fe en la sangre podría ser un indicador fiable del estatus férrico en nuestros animales. La ausencia de diferencias en las concentraciones sanguíneas de Fe entre animales alimentados exclusivamente con leche y aquellos con dieta sólida podría explicarse por la baja absorción intestinal de Fe en los lechones. Sin embargo,

las altas concentraciones de Fe de las vísceras (hasta un 20% del total corporal) que observamos en el grupo de intermitencia, sugieren un posible efecto beneficioso del Fe de la dieta sobre los almacenes de Fe, principalmente en el hígado. Encontramos una clara tendencia hacia el aumento en los valores de contenido de Fe hepático en el grupo de intermitencia ($P = 0,10$), confirmando el efecto positivo de este tratamiento nutricional sobre el almacenamiento de Fe. De igual modo, existen estudios que muestran que la concentración de minerales hepáticos llega a ser mayor cuando se aumentan sus niveles en la dieta durante la etapa del post-destete (Hill y Spears, 2001; Martin et al., 2011).

Los valores de retención de Fe observados en nuestro estudio (32,3 mg de Fe/kg de ganancia de PVV, como media) sobrepasaron los requerimientos estimados en lechones en lactación para evitar la anemia (21 mg de Fe/kg de PV, Braude et al., 1962). Esta retención de Fe durante el periodo de lactancia permite a los lechones Ibéricos destetados a los 35 días mantener unos valores de concentración corporal de Fe similares a los observados al nacimiento ($32,84 \pm 2,01$ mg/kg de PVV). Sin embargo, Mahan y Shields (1998) determinaron en cerdos de genotipos convencionales que el Fe corporal aumenta desde el nacimiento hasta los 20 kg de PV, para a continuación, disminuir gradualmente hasta los 145 kg de PV. Los valores obtenidos por estos autores fueron de 19,97 y 25,42 mg/kg de PVV libre de grasa, en lechones al nacimiento y al destete (28 días), datos considerablemente menores que los datos observados en nuestros lechones Ibéricos. Dichas diferencias, podrían deberse a los altos niveles de mioglobina y Fe presentes en el músculo de cerdos Ibéricos, comparados con los observados en cerdos de genotipo convencional (Ventanas et al., 2006).

7.4.2. Cobre

Como hemos indicado en el capítulo 1, el Cu es un mineral muy abundante en los alimentos, y además, sus necesidades para prevenir una deficiencia fisiológica son muy bajas. A pesar de ello, la mayoría de los productores de ganado porcino incluyen

niveles farmacológicos de Cu en la dieta de post-destete (125-250 mg/kg) para conseguir tanto un mayor crecimiento, como un mejor índice de conversión del alimento (Hill et al., 2001). El inicio del consumo del pienso de iniciación antes del destete, tanto en el grupo de lactación convencional como intermitente, no aumentó ni la concentración corporal de Cu en los lechones al destete ni la retención de Cu por kg de PVV, en comparación con el tratamiento bajo lactancia exclusiva, a pesar de que los niveles de Cu del pienso de iniciación fueron considerablemente mayores que la concentración de Cu en la leche, como ya se ha comentado. Se han propuesto varios mecanismos para justificar el efecto beneficioso del Cu sobre la salud y el crecimiento, como pueden ser (Mateos et al., 2005):

- actuar como agente antimicrobiano,
- mejorar la digestibilidad de ciertos nutrientes,
- mejorar la función inmunitaria,
- proteger a las células frente a la oxidación y los daños producidos por los radicales libres,
- estimular la ingesta de alimento.

Algunos autores han encontrado que el incremento de Cu en la dieta de lechones destetados de 35 días de edad desde niveles basales (16,5 mg/kg) hasta 100-250 mg/kg, favorece la absorción y la retención diaria de Cu (Veum et al., 2004). Jondreville et al. (2002) observaron que el suministrar dietas con un contenido en Cu de 250 mg/kg durante 100-150 días podría incrementar el Cu en el hígado hasta 400-500 mg/kg en cerdos en crecimiento, siendo estos valores extremadamente altos. Además, en los lechones destetados de 35 días de edad, las concentraciones de Cu en hígado aumentaron linealmente al incrementar el contenido en Cu de la dieta hasta un 150% de las recomendaciones propuestas por el NRC (1998) (Martin et al., 2011). En cambio, en nuestro estudio, los lechones alimentados con pienso de iniciación no mostraron

ningún incremento en la concentración de Cu en los principales componentes corporales (canal y vísceras). Además, el análisis del hígado no mostró diferencias significativas entre los lechones sometidos a los diferentes tratamientos. Las concentraciones superiores de Cu en sangre y en el componente cabeza-patas-rabo de los lechones parcialmente alimentados con dieta sólida no alteraron el contenido corporal total de Cu, debido a que estos componentes representan fracciones minoritarias del Cu total corporal en el animal. Ahora bien, el Cu circulante puede acomplejarse a la superóxido dismutasa y a la ceruloplasmina (enzimas implicadas en la protección ante daños de radicales libres), y por lo tanto, altos niveles de Cu en sangre podrían tener efectos positivos en la actividad de las enzimas antioxidantes (Mateos et al., 2005).

Como se ha mencionado anteriormente, existe poca información sobre los elementos traza en la composición corporal del ganado porcino. En cerdos de genotipos mejorados, se ha descrito que el Cu corporal disminuye drásticamente desde el nacimiento hasta el destete, presentando valores (expresados como PVV libre de grasa) de 1,61 y 1,32 mg/kg, respectivamente (Mahan y Shields, 1998). En nuestro estudio, los valores expresados respecto al PVV, son ligeramente mayores, pero con la misma tendencia a disminuir desde el nacimiento (2,89 mg/kg) hasta el destete (1,86 mg/kg, como media). La disminución de la concentración corporal de Cu desde el nacimiento hasta el destete ha sido atribuida al bajo contenido en Cu de la leche de cerda, aunque también se han observado descensos en etapas posteriores. Estos datos confirman que el Cu de la dieta no se absorbe de una forma eficaz y completa en los cerdos, y, por lo tanto, al aumentar los niveles de Cu de la dieta se incrementa la concentración de Cu en las heces, lo cual supone una potencial amenaza para el medio ambiente (Kornegay y Verstegen, 2001). En este sentido, diversas investigaciones han intentado encontrar fuentes de Cu diferentes al CuSO_4 que mejoren la absorción y retención del mismo, disminuyendo así su excreción, tales como el Cu-propionato (Veum et al., 2004) o Cu-lisina (Apgar y Kornegay, 1996).

7.4.3. Zinc

Según lo observado en diferentes estudios, el suplementar la dieta de los lechones con elevadas cantidades de Zn reduce la incidencia de diarreas post-destete y favorece el crecimiento en lechones recién destetados (Poulsen, 1995; Hill et al., 2001). Por ello, se añaden a las dietas para lechones niveles farmacológicos de Zn (2000-3000 mg/kg de dieta) principalmente como agente promotor del crecimiento. Pero dicho aumento en la dieta, unido a la baja biodisponibilidad del Zn, incluso del óxido de Zn, produce un aumento en los niveles de excreción y con ello de la contaminación medioambiental.

En nuestro experimento, el aporte de la dieta sólida suplementada con niveles farmacológicos de Zn antes del destete produjo un aumento en el contenido corporal total de Zn de los lechones al destete y en la retención total de Zn durante el periodo de lactación, siendo el efecto más pronunciado cuando se aumentó la ingesta de dieta pre-estarter mediante el tratamiento de lactación intermitente.

Teniendo en cuenta el contenido en Zn en la leche de las cerdas Ibéricas y el consumo medio de leche de los lechones Ibéricos (Aguinaga et al., 2011a), podemos calcular que el consumo medio en los animales bajo el tratamiento de lactancia exclusiva fue aproximadamente de 10 mg Zn/día, valor notablemente más bajo que el establecido en las recomendaciones del NRC (1998) para lechones de 5 a 10 kg (50 mg Zn/día). Del mismo modo, la ingesta de Zn estimada a partir del consumo de dieta sólida en los tratamientos de lactación convencional e intermitente alcanzó valores cercanos a 114,5 y 165,1 mg/día, respectivamente. Por lo tanto, los animales de los grupos de lactación convencional e intermitente consumieron cantidades de Zn considerablemente más altas que los animales del grupo de lactancia exclusiva. Así mismo, encontramos mayores concentraciones de Zn en todos los componentes corporales cuando se les ofreció dieta sólida a los lechones, existiendo una marcada diferencia en la concentración en sangre. Esta observación está en concordancia con el ensayo realizado por Rincker et al. (2005), en el que lechones destetados que consumieron durante 14 días (de 20 a 35 días de edad) una dieta con niveles

farmacológicos de Zn presentaron mayores excreciones fecales y concentraciones corporales de Zn que los cerdos alimentados con dietas no suplementadas con Zn. A pesar de no haber realizado la medida de excreción de Zn, los valores de retención total de este mineral nos permitieron calcular que, aproximadamente, el 40% del Zn ingerido en la leche se retuvo en los animales bajo el tratamiento de lactación exclusiva, mientras que la retención relativa de Zn en los grupos de lactación convencional e intermitente fue substancialmente menor. Puesto que la tasa de retención de Zn del alimento es menor cuando la concentración en la dieta es mayor que las necesidades corporales (Rincker et al., 2005), nuestros datos confirman que el contenido de Zn en el pienso de iniciación estuvo muy por encima de las necesidades de los lechones durante el periodo de lactación. Por ello, gran parte del Zn ingerido con la dieta pre-estarter por el lechón en lactación se excretó, a pesar de que las concentraciones corporales de Zn fueron superiores en los animales alimentados con dicha dieta. Según Rincker et al. (2005), una vez que los almacenes corporales están cargados, los minerales en exceso que aporta la dieta son excretados. Por otra parte, además de la preocupación ambiental, las altas concentraciones de Zn de la dieta podrían perturbar la homeostasis corporal de estos y otros elementos, y, de acuerdo con algunos autores, la práctica de adicionar niveles farmacológicos de Zn en las dietas para cerdos debería cuestionarse y abordarse en profundidad, para así conocer los aportes necesarios para un adecuado estímulo del crecimiento sin llegar a causar toxicidad en el organismo o en el medio ambiente.

Según Mahan y Shields (1998), la concentración corporal del Zn en lechones de genotipos mejorados incrementa rápidamente desde el nacimiento hasta el destete (10,93 y 15,25 mg Zn/kg de PVV libre de grasa, respectivamente), siendo menor que los valores observados en lechones Ibéricos bajo lactancia exclusiva (19,05 y 24,39 mg/kg de PVV al nacimiento y al destete, respectivamente). En lechones de 35 días de edad alimentados con niveles farmacológicos de Zn durante 14 días, Rincker et al. (2005) encontraron concentraciones corporales de Zn mucho mayores que las de nuestros animales en lactación convencional e intermitente.

Por otro lado, diversos estudios con lechones en lactación han determinado que el aumento de Zn en la dieta produce un aumento de la concentración de Zn en el

hígado (Carlson et al., 1999; Rincker et al., 2005), al igual que ocurrió en nuestro ensayo. Este efecto parece deberse a la actividad de la metalotioneína, una enzima que regula la absorción intestinal de Zn mediante su unión al Zn de la dieta en el intestino. Tras su absorción, el Zn es transportado en el plasma y depositado en el hígado, y por lo tanto, el aumento de los niveles de Zn de la dieta induce mayores concentraciones hepáticas de metalotioneína (Carlson et al., 1999). Los valores observados en lechones de genotipos convencionales de 35 días de edad alimentados con dietas no enriquecidas con Zn son muy similares a los que encontramos en los lechones Ibéricos bajo el tratamiento de lactación exclusiva (52,52 y 53,22 mg Zn/kg de hígado, respectivamente). Sin embargo, en cerdos alimentados con dietas que contienen 2.000 mg Zn/kg, la concentración del hígado aumenta drásticamente hasta 350 mg/kg (Rincker et al., 2005), valor superior al observado en lechones Ibéricos en lactación convencional e intermitente, según nuestros resultados

Por último, debemos incidir en las posibles interacciones descritas entre los minerales traza, tales como el Fe, Cu y Zn. En nuestro experimento no observamos ninguna correlación estadística respecto a la retención corporal o la concentración total al destete entre el Fe, Cu y Zn. Sin embargo, en la sangre se encontró una correlación negativa entre las concentraciones de Cu y Fe ($r = -0,4613$; $P = 0,0007$), mientras que la correlación fue positiva entre el Cu y el Zn ($r = 0,4040$; $P = 0,0033$). En el componente de cabeza-patas-rabo encontramos resultados similares, aunque no observamos ninguna correlación entre los distintos minerales traza de las vísceras, hígado o canal. La correlación negativa entre el Cu y Fe en sangre podría deberse a la ceruloplasmina (Osaki y Johnson, 1969), puesto que el exceso de Zn induce una disminución de la actividad de la ceruloplasmina (enzima compuesta de Cu y necesaria para la unión del Fe a la transferrina por medio de su actividad ferroxidasa).

CAPÍTULO 8

Resumen y conclusiones

La etapa de lactancia supone una de las fases más críticas en la vida del lechón, puesto que en ella van a concurrir una serie de cambios fisiológicos de los que dependerán que el animal supere con éxito el difícil proceso del destete. Durante esta etapa, la provisión de nutrientes a través de la leche de la madre será fundamental para el desarrollo del animal, aunque hoy día es una práctica habitual en la producción ganadera introducir el alimento sólido, a través de pienso de iniciación, unos días previos al destete. De esta forma, se pretende reducir el gran estrés que supone para el lechón la separación de la madre y las consecuencias negativas que podría tener el cambio brusco de una dieta láctea, altamente digestible, a una sólida, con grandes proporciones de cereales, relativamente difícil de digerir para el lechón. Por ello, el destete se suele asociar con una reducción de la ingesta de alimento, menor crecimiento, y una mayor susceptibilidad a la diarrea.

El aporte de nutrientes orgánicos en la leche de cerdas convencionales ha sido objeto de diversas investigaciones; sin embargo, la composición de la leche de cerda Ibérica es un tema muy poco estudiado, y menos aún la composición de su fracción mineral, sobre lo que no existen datos actualmente. También hay una falta de información respecto a los cambios que el diferente manejo nutricional durante la fase de lactancia pudiera suponer en la composición corporal del lechón, especialmente en los componentes minerales. La nutrición mineral del ganado porcino no ha sido nunca un tema prioritario para los especialistas, a pesar de las importantes funciones que los minerales realizan en el organismo y que el mantenimiento de unos niveles adecuados de éstos será imprescindible para el buen desarrollo y la salud del animal.

Las diferencias en la composición de la leche de cerda Ibérica respecto a la de otros genotipos, así como las potenciales diferencias en la utilización de sus nutrientes

por el lechón, pueden servir de punto de partida para formular piensos de iniciación para lechones Ibéricos, puesto que los existentes están diseñados específicamente para genotipos magros. Tales piensos contienen cantidades sobreañadidas de elementos inorgánicos, que superan las necesidades del animal y que, además, finalmente fluyen al medio ambiente, con grave deterioro del mismo.

Por todo ello, la presente Tesis Doctoral pretende aportar nuevos conocimientos en el área de la nutrición mineral en el ganado porcino, concretamente en el cerdo Ibérico, en el periodo comprendido durante la lactación, entre el nacimiento y el destete.

Uno de los sistemas más utilizados para estimular la ingesta de pienso de iniciación es la lactancia intermitente, que consiste en separar a los lechones de las madres durante un periodo de tiempo fijo a lo largo del día. En nuestro estudio hemos realizado un ensayo de intermitencia progresivo, en el que el periodo de separación entre el lechón y la madre fue aumentando diariamente. Se realizaron dos réplicas consecutivas en las que la temperatura ambiental de las salas fue de $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$ en la primera, y $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ en la segunda.

Para ello, se seleccionaron 38 cerdas Ibéricas de la estirpe Silvela, entre ellas 4 cerdas por réplica se utilizaron como nodrizas para la obtención de muestras de leche, en un experimento realizado en dos réplicas consecutivas (cada una de ellas con 5 camadas por tratamiento). Nuestro experimento comenzó con el nacimiento de los lechones y finalizó tras 34 días de lactancia. Se realizaron los siguientes grupos experimentales:

- d. *Tratamiento de lactancia exclusiva*: los lechones tuvieron libre acceso a la madre las 24 horas del día, siendo la leche materna su única fuente de alimento.
- e. *Tratamiento de lactancia convencional*: durante los primeros 14 días de vida sólo ingirieron leche materna. A partir del día 15 tuvieron, además, libre acceso al pienso de iniciación y agua *ad libitum* hasta el día 34.

f. *Tratamiento de lactancia intermitente*: los lechones fueron sometidos a la siguiente pauta de alimentación:

- Primeros 14 días de lactancia, sólo leche materna.
- Días 15 a 28: acceso permanente al pienso de iniciación a libre disposición.
- Días 29 y 30: 6 horas de restricción de acceso a la madre (de 8:00 a 14:00 horas).
- Días 31 y 32: 8 horas de restricción de acceso a la madre (de 8:00 a 16:00 horas).
- Días 33 y 34: 10 horas de restricción de acceso a la madre (de 8:00 a 18:00 horas).

Durante los periodos de restricción de acceso a la madre, los lechones tenían libre acceso al pienso de iniciación así como agua *ad libitum*.

Los animales se pesaron individualmente al nacimiento y semanalmente a partir del quinto día del periodo de lactación. Por otra parte, las muestras de leche se recolectaron los días 5, 12, 19, 26 y 34 tras el parto.

Mediante la técnica de los sacrificios comparados se determinó la retención corporal de nutrientes en los lechones durante el periodo experimental. Para ello, se sacrificaron 8 animales al nacimiento, 4 en cada una de las réplicas, y un animal de cada camada al final del ensayo (es decir, 5 por tratamiento y por réplica). En cada réplica, los datos de composición del grupo inicial fueron utilizados para estimar la composición del resto de los lechones al nacimiento.

Una vez analizados estadísticamente los datos experimentales, se observaron escasas diferencias significativas entre ambas réplicas para algunos de los parámetros estudiados.

Por un lado, realizamos el estudio de la utilización de minerales de la leche y la composición mineral de los lechones Ibéricos bajo el tratamiento de lactancia exclusiva. Según los resultados obtenidos, el contenido en cenizas tanto de la leche

como de los lechones (g/kg) fue más alto que en genotipos magros. Así mismo, el contenido medio de cenizas por kg de peso ganado fue considerablemente mayor en lechones Ibéricos (40,6 g/kg frente a 28-29 g/kg descrito en lechones convencionales).

Los lechones al destete contenían más Ca (11-12,7 frente a 7,4 g/kg de PVV) y P (7-7,5 frente a 4,9 g/kg de PVV), en comparación con los datos existentes procedentes de lechones de razas convencionales. Los diferentes macro-minerales derivados de la leche materna se retuvieron en el lechón Ibérico con una eficiencia del 78,3%, 66,3% y 48,7% para el Ca, P y Mg, respectivamente.

Encontramos una tendencia hacia una mayor eficiencia de conversión de la dieta en la réplica 1 en comparación con la 2 ($P = 0,075$), la cual podría explicar en parte, la mayor deposición de minerales que encontramos en la réplica 1 ($P < 0,05$). La biodisponibilidad de Ca (porcentaje de Ca corporal retenido respecto al ingerido en los lechones bajo el tratamiento de lactancia exclusiva) fue mayor ($P < 0,05$) en el ensayo 1 que en el ensayo 2 ($81,8 \pm 1,4$ y $74,9 \pm 2,6\%$, respectivamente). Las diferencias en el metabolismo mineral entre los ensayos podrían deberse a las diferencias en la temperatura ambiente, aunque no se pueden descartar otros posibles factores.

En cuanto a la comparación entre los grupos de lechones sometidos a lactancia convencional o intermitente, encontramos una mejora en la ingesta media diaria de pienso de iniciación en el tratamiento de intermitencia durante los días en los que se impuso la separación de la madre, es decir, los últimos 7 días del ensayo (125 ± 12 en el grupo de intermitencia frente a 67 ± 15 g/lechón en el grupo de lactación convencional, $P = 0,04$), aunque los pesos corporales al destete no alcanzaron diferencias significativas entre los dos grupos ($8,1 \pm 0,3$ frente a $7,2 \pm 0,4$ kg, intermitente y convencional, respectivamente, $P = 0,11$).

Por otro lado, no observamos diferencias entre los lechones sometidos a lactancia convencional o intermitente respecto al contenido o concentración corporal de proteína al destete. Sin embargo, los valores de grasa corporal, en estrecha correlación con los de energía, fueron significativamente superiores en los lechones del tratamiento de lactación intermitente, tanto en la cantidad total de grasa detectada ($P = 0,015$) como en su concentración corporal ($P = 0,040$).

En cuanto al contenido total de cenizas se produjo un incremento en el tratamiento de lactación intermitente ($P = 0,016$), aunque las diferencias no fueron significativas cuando los valores se expresaron en relación al peso del animal. La concentración corporal de cenizas se correlacionó de forma positiva y muy significativa con los niveles de Ca ($r = 0,920$, $P = 0,000$), pero no encontramos correlación con los niveles de P.

El tratamiento de lactancia en intermitencia no afectó a la deposición proteica, pero sí mejoró significativamente la retención diaria de grasa, energía, cenizas totales y Ca, en comparación con el tratamiento de lactancia convencional. En, cada kg de peso ganado por los animales del grupo sometido a lactancia intermitente se observó una tendencia a una mayor riqueza en grasa respecto a los animales del grupo de lactancia convencional (149 vs. 121 g/kg, $P = 0,073$), lo cual fue debido fundamentalmente a una mayor deposición de grasa en la canal en este grupo ($24,2 \pm 2,46$ vs. $15,1 \pm 1,24$ g/d, para el grupo de lactancia intermitente y convencional, respectivamente, $P = 0.004$). Sin embargo, la ganancia de peso contenía prácticamente la misma cantidad de cenizas totales (y por lo tanto de Ca y P) en ambos tratamientos.

Se realizó un estudio comparativo entre los tres grupos experimentales, para determinar si el diferente tratamiento nutricional de los lechones durante la lactancia afectaba a la retención y a la composición corporal al destete de los elementos traza (Fe, Cu y Zn). El contenido medio de dichos elementos en la leche de cerda Ibérica fue de 1,65, 1,46 y 11,10 mg/kg, para Fe, Cu y Zn, respectivamente, mientras que los valores analizados en el pienso de iniciación suministrado a los lechones fueron de 240, 170 y 2900 mg/kg, respectivamente. Por tanto, el consumo de pienso en los grupos sometidos a lactancia convencional e intermitente supuso un incremento drástico en la ingesta de elementos traza respecto a los lechones alimentados exclusivamente con leche.

Sin embargo, la concentración corporal de Fe no mostró diferencias entre los distintos grupos al destete, aunque sí se observó una mayor concentración de este elemento en el hígado de lechones bajo el tratamiento de lactación en intermitencia

(32,3, 30,5 y 50,0 mg/kg para los tratamientos de lactancia exclusiva, convencional e intermitente, respectivamente; $P = 0,101$).

La ingesta de pienso de iniciación no supuso aumentos en la concentración corporal de Cu en los animales que lo consumieron, respecto a los que solo tomaron leche, ni tampoco se observaron incrementos a nivel hepático. La concentración de Cu fue mayor en algunos componentes (sangre y cabezas-patas-rabo) en el tratamiento de lactancia convencional respecto al tratamiento de lactancia exclusiva, pero la contribución relativa de dichos componentes al Cu total corporal es minoritaria.

Las diferencias más notables debidas al manejo nutricional fueron las observadas para el Zn, ya que se detectó un aumento progresivo en la retención y contenido corporal del Zn según los tratamientos: lactación intermitente > lactación convencional > lactación exclusiva ($P < 0,001$), presentando diferencias significativas en todos los compartimentos del animal. La concentración de Zn hepático aumentó aproximadamente 3 veces en los lechones alimentados con leche y pienso de iniciación respecto a los alimentados exclusivamente con leche materna (53, 149 y 157 mg/kg para los lechones en lactancia exclusiva, convencional e intermitente, respectivamente; $P = 0,029$).

Los resultados obtenidos en este trabajo de Tesis Doctoral nos permiten establecer las siguientes conclusiones:

1. La leche de cerda Ibérica presenta una cantidad de minerales totales superior a la descrita para cerdas convencionales, debido, fundamentalmente, a su elevado contenido en Ca, pero también a niveles superiores de P, Mg y Zn. Las concentraciones corporales de dichos minerales observadas en los lechones Ibéricos al destete son, además, mayores que las observadas en lechones de razas convencionales.

2. El tratamiento de lactancia intermitente supone un estímulo efectivo para el consumo de pienso en el lechón Ibérico, aunque no llega a mejorar de manera significativa el crecimiento de los animales. Dicho tratamiento da lugar a aumentos en la retención y en la concentración corporal de grasa en lechones, cambios que pueden suponer una ventaja para superar la movilización lipídica que tiene lugar en los primeros días tras el destete. Este hecho puede ser de mayor relevancia para el lechón Ibérico cuando la cría se realiza en sistemas extensivos o semiextensivos.

3. La ingesta de pienso de iniciación durante la lactancia suplementado con niveles farmacológicos de elementos traza, supone ciertos cambios en los niveles corporales de dichos elementos respecto a los animales alimentados exclusivamente con leche de sus madres. Entre ellos, destaca el drástico aumento de la concentración de Zn en todos los compartimentos corporales en el momento del destete. Es necesario evaluar la idoneidad de la inclusión de altos niveles de elementos traza en el pienso ofrecido a los lechones en la etapa previa al destete, intentando buscar un equilibrio entre sus posibles ventajas para la salud del animal y el deterioro que su elevada excreción puede causar en el medioambiente.

4. Los resultados obtenidos en la presente Tesis Doctoral aportan información sobre la composición en minerales de la leche de cerda Ibérica y del organismo del lechón Ibérico durante el periodo de lactancia bajo distinto manejo nutricional. La información existente en la bibliografía sobre esta materia es escasa en nutrición porcina en general, e inexistente para la raza porcina Ibérica. De esta información aportada, se pueden deducir aplicaciones prácticas directas relacionadas con el manejo nutricional y la formulación de piensos de iniciación específicos del lechón Ibérico.

CAPÍTULO 9

Summary and conclusions

The suckling period is one of the most critical phases in the piglet life. A number of physiological changes occur at this stage that will determine the successful overcome of the difficult process of weaning. Nutrient supply from sows' milk is essential for the piglet growth although, nowadays, provision of creep feed as a pre-starter diet several days before weaning, is a usual practice. In this way, the piglet stress caused by the mother separation, and the negative consequences derived from the drastic change from a high-digestible milk diet to a solid more indigestible one (with high content of cereals) could be ameliorated. Therefore, weaning is often associated with reduced feed intake and growth and increased susceptibility to diarrhea.

There is information available on the literature concerning the organic nutrient supply of milk from conventional sows; however, the Iberian sow milk composition has been barely investigated and, particularly, concerning the composition of the mineral fraction of milk there is no data available nowadays. Furthermore, there is a lack of information about changes on body composition of piglets at weaning due to different nutritional managements during the suckling period, especially on mineral composition. In fact, the mineral nutrition of pigs has been a subject of less priority for swine nutritionist, despite the key role that minerals have for an adequate animal development and health.

Differences in milk composition between the Iberian pig and other pig types, as well as potential differences in the use of milk nutrients by the piglet, may serve as a starting point for making specific milk-replacers for Iberian piglets, since those available are specifically designed for lean or conventional piglets. The same goes for starter feeds used in the pre-weaning stage as such feeds may contain quantities of

inorganic elements which exceed animal requirements resulting in increased mineral excretion and hence in environmental pollution.

Within this background, this Doctoral Thesis aims to contribute with new knowledge in the field of mineral nutrition in pigs, particularly in the suckling Iberian piglet between birth and the weaning period.

The so-called intermittent suckling is the temporary separation of sows and piglets in certain periods along the day during the second half of lactation, a process that may help to stimulate piglets' intake of solid feed. In our study, the practice of a progressive intermittence was carried out with a temporary schedule in which the period of separation between piglets and dams was increased daily.

A group of thirty eight third-pregnancy purebred Iberian sows of the Silvela strain were selected in two trial replicates. Four sows per replicate were used for milk sampling (nursery sows) and the remaining sows and their litters were subjected to one of 3 different nutritional treatments (5 liters per treatment and replicate). Our experiment began with the birth of piglets and ended after 34 days of lactation. The trial replicates were performed consecutively. The ambient temperature of the farrowing room was $27 \pm 2^{\circ}\text{C}$ and $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ for the first and second replicates, respectively.

We arranged the following experimental groups:

- a. *Treatment of exclusively milk feeding*: piglets had free access to the sows 24 hours per day with milk as the only source of food.
- b. *Treatment of conventional suckling*: during the first 14 days of age piglets only received sows' milk. From day 15 of age onwards, piglets had also free access to the pre-starter diet and water *ad libitum* until day 34.
- c. *Treatment of intermittent suckling*: piglets were subjected to the following feeding schedule:
 - For the first 14 weaning days they were fed only on sow milk.

- From day 15 to 28 piglets had also free and permanent access to a pre-starter diet.
- From day 29 to 30: piglets were separated 6 hours from the sow (from 8:00 to 14:00 h).
- From day 31 to 32: piglets were separated 8 hours from the sow (from 8:00 to 16:00 h).
- From day 33 to 34: piglets were separated 10 hours from the sow (from 8:00 to 18:00 h).

During periods of restricted access to the mother, piglets had free access to pre-starter diet and water *ad libitum*.

The animals were weighed individually at birth and weekly from the fifth day of the period of lactation. Milk samples were collected on days 5, 12, 19, 26 and 34 after birth.

Nutrient retention of the piglets was determined by the comparative slaughter technique. For this purpose, 8 piglets were sacrificed at birth, 4 in each of the replicates, and one animal from each litter was slaughtered at the end of the trial (i.e. 5 piglets per treatment and replicate). In each replicate, data from the initial group composition were used to estimate the composition of the rest of piglets at birth.

Once the statistical analysis of the data was performed, only occasional significant differences between replicates were found for some of the parameters studied.

Firstly, we determined mineral composition of milk and mineral composition and retention of Iberian piglets, and then estimated milk mineral utilization by the piglets under exclusive sow milk access. According to the obtained results, the ash content of both milk and piglets was higher than those described for lean genotypes. The average content of ash per kg of weight gain was considerably higher in Iberian pigs (40.6 g/kg compared to 28-29 g/kg found in conventional piglets).

Weaned Iberian piglets contained more Ca (11 to 12.7 vs. 7.4 g/kg EBW) and P (7-7.5 vs. 4.9 g/kg EBW), in comparison with available data for conventional piglets. The different macro-minerals from sow milk were retained by the Iberian piglet with an efficiency of 78.3%, 66.3% and 48.7% for Ca, P and Mg, respectively.

We found a trend towards a greater feed (milk) efficiency on replicate 1 compared with replicate 2 ($P = 0.075$), which could be explained in part by the increased deposition of minerals found in the replicate 1 ($P < 0.05$). The bioavailability of Ca (percentage of retained Ca from ingested Ca in piglets exclusively fed on sow milk) was higher ($P < 0.05$) in trial 1 than trial 2 (81.8 ± 1.4 vs. $74.9 \pm 2.6\%$, respectively). Differences in mineral metabolism between trials may be attributed to differences in environmental temperature, although other possible factors cannot be discarded.

When piglets under conventional and intermittent suckling were compared, we found an improvement in average daily intake of the pre-starter diet in the intermittent suckled group during the days of temporary separation from the mother, i.e. the last 7 days of the assay (125 ± 12 in the intermittent group versus 67 ± 15 g/piglet in the group of conventional lactation, $P = 0.04$), despite body weights at weaning were not significantly different between groups (8.1 ± 0.3 vs. 7.2 ± 0.4 kg, for intermittent and conventional suckled piglets, respectively, $P = 0.11$).

No significant differences were observed between intermittent and conventional suckled piglets in total protein content or concentration at weaning. Nevertheless, values of body fat (strongly correlated with those of energy) were significantly higher in the intermittent than in the conventional suckled group both in total ($P = 0.015$) and relative quantities ($P = 0.040$). Total ash content was increased in the intermittent suckled piglets ($P = 0.016$), although differences were not significant when values were expressed relative to body weight. The ash body concentration was well correlated with Ca levels ($r = 0.920$, $P = 0.000$), but no correlation was found between body ash and P levels.

The intermittent suckling treatment did not affect protein deposition, although significantly improved daily retention of fat, energy, ash and Ca, compared to the

conventional treatment. Each kg of weight gained by the intermittent suckled piglets tended to be more enriched in fat than in the conventional suckling group (149 vs. 121 g/kg, $P = 0.073$), which was mainly due to an increased deposition of fat in the carcass in the former (24.2 ± 2.46 vs. 15.1 ± 1.24 g/d, in the intermittent and conventional suckling groups, respectively, $P = 0.004$). However, weight gain contained nearly the same amount of total ash in both treatments, but with a slightly higher amount of Ca (10%) in the group subjected to intermittent suckling.

A comparative study between the three experimental groups (exclusively milk fed, intermittent suckled and conventional suckled) was performed to determine whether different nutritional management of piglets during lactation affects the retention and body composition at weaning of trace elements (Fe, Cu and Zn). The average content of these elements in the Iberian sow milk were 1.65, 1.46 and 11.10 mg/kg, for Fe, Cu and Zn, respectively, whereas those analyzed in the creep feed supplied to piglets were 240, 170 and 2900 mg/kg, respectively. Therefore, solid feed consumption by the groups under conventional and intermittent suckling lead to a considerably increase of trace element intake compared to piglets fed exclusively on sows' milk.

Fe body concentration did not differ between groups at weaning, although there was higher Fe concentration in the liver of pigs under the intermittent suckling treatment (32.3, 30.5 and 50.0 mg/kg for exclusively sow milk intake, conventional and intermittent suckling groups, respectively, $P = 0.101$).

No differences were observed in whole-body or liver concentration of Cu between groups, although Cu concentration was increased in some body components (blood and heat-feet-tail) in the conventional suckling compared to the exclusively milk feeding group, although these components accounted for minority contributions to total body Cu.

The most notable differences due to nutritional management were observed for Zn, since there was a progressive increase in the retention and body concentration of this element according to the following treatment pattern: intermittent suckling > conventional suckling > exclusive milk feeding ($P < 0.001$), showing significant

differences for all body components of the animal. Zn liver concentration increased by 3-fold in creep fed compared to milk fed piglets (53, 149 and 157 mg/kg for piglets exclusively fed on sow milk, conventional and intermittent suckling piglets, respectively, $P = 0.029$).

From the results obtained in this Thesis we can establish the following conclusions:

1. The Iberian sow's milk has higher mineral concentration compared with the information available relative to conventional sows, particularly due to its high content of Ca, but also to higher levels of P, Mg and Zn. In weaned Iberian piglets higher body concentrations of these minerals are also detected in comparison with leaner weaned piglets.
2. The intermittent suckling treatment is an effective stimulus for solid feed consumption of the Iberian piglet, although not significantly improve in animal performance at weaning has been detected. Such treatment leads to an increase in retention and body fat concentration in piglets, which can imply an advantage to overcome the lipid mobilization frequently occurring during the first days after weaning. This fact could have additional relevance for Iberian piglet reared under extensive or semi-extensive outdoor systems.
3. The pre-starter diet intake during the nursing period, supplemented with pharmacologic levels of trace elements before to weaning, involves certain changes in body concentration of these elements compared with piglets fed exclusively on sow milk. The most noticeably of these changes is the dramatic increase in the concentration of Zn in all body compartments at weaning. It is necessary to evaluate the convenience of including such high levels of trace elements in the feed given to piglets, taking into account the

right balance between potential benefits for animal health and the harmful effects from the environmental point of view.

4. The results obtained in this Thesis provide information on the mineral composition of Iberian sow's milk and the Iberian piglet mineral composition during lactation under different nutritional management. The information in the literature on this subject is poor in swine nutrition in general, and nonexistent for the Iberian pig breed. From the information derived from the present work it may be possible to obtain direct practical applications related to nutritional management and formulation of specific starter feeds for the Iberian piglet.

CAPÍTULO 10

Referencias bibliográficas

- AGUINAGA, M.A.**, 2010. Utilización de nutrientes en el lechón Ibérico durante la lactancia y el post-destete., *Nutrición Animal*, Universidad de Granada. Tesis Doctoral.
- AGUINAGA, M.A., GOMEZ-CARBALLAR, F., NIETO, R., AGUILERA, J.F.**, 2011a. Production and composition of Iberian sow's milk and use of milk nutrients by the suckling Iberian piglet. *Animal*. 5, 1390-1397.
- AGUINAGA, M.A., GOMEZ-CARBALLAR, F., NIETO, R., AGUILERA, J.F.**, 2011b. Utilization of milk amino acids by the suckling Iberian piglet. *J. Anim. Physiol. A-Anim. Nutr.* 95, 771-780.
- AHERNE, F.X., DANIELSEN, V., NIELSEN, H.E.**, 1982. The effects of creep feeding on preweaning and post-weaning pig performance. *Acta Agricul. Scandinavica* 32, 155-160.
- ALONSO, V., PROVINCIAL, L., GIL, M., GUILLÉN, E., RONCALÉS, P., BELTRÁN, J.A.**, 2012. The impact of short-term feeding of magnesium supplements on the quality of pork packaged in modified atmosphere. *Meat Sci.* 90, 52-59.
- ALSTON-MILLS, B., IVERSON, S.J., THOMPSON, M.P.**, 2000. A comparison of the composition of milks from Meishan and crossbred pigs. *Livest. Prod. Sci.* 63, 85-91.
- AOAC**, 2003. Association of Analytical Chemistry. Official Methods of Analysis, 17th ed., 2nd revision. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- APGAR, G.A., KORNEGAY, E.T.**, 1996. Mineral balance of finishing pigs fed copper sulfate or a copper-lysine complex at growth-stimulating levels. *J. Anim. Sci.* 74, 1594-1600.
- APPLEBY, M.C., PAJOR, E.A., FRASER, D.**, 1992. Individual variation in feeding and growth of piglets - effects of increased access to creep food. *Anim. Prod.* 55, 147-152.
- ARC**, 1981. The Nutrient Requirements of Pigs. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal, Slough, UK.

- ATWOOD, C.S., HARTMANN, P.E.,** 1992. Collection of fore and hind milk from the sow and the changes in milk-composition during suckling. *J. Dairy Res.* 59, 287-298.
- BAREA, R., NIETO, R., LARA, L., GARCIA, M.A., VILCHEZ, M.A., AGUILERA, J.F.,** 2006. Effects of dietary protein content and feeding level on carcass characteristics and organ weights of Iberian pigs growing between 50 and 100 kg live weight. *Anim. Sci.* 82, 405-413.
- BAREA, R., NIETO, R., AGUILERA, J.F.,** 2007. Effects of the dietary protein content and the feeding level on protein and energy metabolism in Iberian pigs growing from 50 to 100 kg body weight. *Animal.* 1, 357-365.
- BARNETT, K.L., KORNEGAY, E.T., RISLEY, C.R., LINDEMANN, M.D., SCHURIG, G.G.,** 1989. Characterization of creep feed consumption and its subsequent effects on immune-response, scouring index and performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 67, 2698-2708.
- BERKEVELD, M., LANGENDIJK, P., BOLHUIS, J.E., KOETS, A.P., VERHEIJDEN, J.H.M., TAVERNE, M.A.M.,** 2007a. Intermittent suckling during an extended lactation period: Effects on piglet behavior. *J. Anim. Sci.* 85, 3415-3424.
- BERKEVELD, M., LANGENDIJK, P., SOEDE, N.M., KEMP, B., TAVERNE, M.A., VERHEIJDEN, J.H., KUIJKEN, N., KOETS, A.P.,** 2009. Improving adaptation to weaning: effect of intermittent suckling regimens on piglet feed intake, growth, and gut characteristics. *J. Anim. Sci.* 87, 3156-3166.
- BERKEVELD, M., LANGENDIJK, P., VAN BEERS-SCHREURS, H.M.G., KOETS, A.P., TAVERNE, M.A.M., VERHEIJDEN, J.H.M.,** 2007b. Postweaning growth check in pigs is markedly reduced by intermittent suckling and extended lactation. *J. Anim. Sci.* 85, 258-266.
- BERKEVELD, M., LANGENDIJK, P., VERHEIJDEN, J.H.M., TAVERNE, M.A.M., VAN NES, A., VAN HAARD, P., KOETS, A.P.,** 2008. Citrulline and intestinal fatty acid-binding protein: Longitudinal markers of postweaning small intestinal function in pigs? *J. Anim. Sci.* 86, 3440-3449.

- BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO**, 2005. Real Decreto Español 1201/2005 sobre la protección de los animales utilizados para experimentación y otros fines científicos, En: Boletín Oficial del Estado, pp. 34367-34391.
- BRADLEY, B.D., GRABER, G., CONDON, R.J., FROBISH, L.T.**, 1983. Effects of graded levels of dietary copper on copper and iron concentrations in swine tissues. *J. Anim. Sci.* 56, 625-630.
- BRAUDE, R.**, 1980. Twenty five years of widespread use of copper as an additive to diets of growing pigs. En: *Copper in animal wastes and sewage sludge*. Ed.: L'Hermitte, P.y.J.D., INRA Publisher, Bordeaux, Francia. pp. 3-15.
- BRAUDE, R., CHAMBERLAIN, A.G., KOTARBINSKA, M., MITCHELL, K.G.**, 1962. The metabolism of iron in piglets given labeled iron either orally or by injection. *Br. J. Nutr.* 16, 427-449.
- BROUWER, E.**, 1965. Report of subcommittee on constants and factors., En: 3rd Symposium on energy metabolism., European Association for Animal Production, London, Academic Press, pp. 441-443.
- BSAS**, 2003. Nutrient Requirement Standards for Pigs. *Br. Soc. Anim. Sci.* Penicuik, Midlothian, UK.
- BUXADÉ, C., DAZA, A.**, 2001. Porcino Ibérico: aspectos claves. Ed.: Mundi-Prensa, España.
- CARAFOLI, E.**, 1991. Calcium pump of the plasma membrane. *Physiol. Rev.* 71, 129-153.
- CARLSON, M.S., HILL, G.M., LINK, J.E.**, 1999. Early- and traditionally weaned nursery pigs benefit from phase-feeding pharmacological concentrations of zinc oxide: effect on metallothionein and mineral concentrations. *J. Anim. Sci.* 77, 1199-1207.
- CLOSE, W.H., COLE, D.J.A.**, 2003. Nutrition of sows and boards. Nottingham University Press, United Kingdom.
- CLOWES, E.J., WILLIAMS, I.H., BARACOS, V.E., PLUSKE, J.R., CEGIELSKI, A.C., ZAK, L.J., AHERNE, F.X.**, 1998. Feeding lactating primiparous sows to establish three divergent

metabolic states: II. Effect on nitrogen partitioning and skeletal muscle composition. *J. Anim. Sci.* 76, 1154-1164.

CONDE-AGUILERA, J.A., 2010. Utilización de nutrientes y energía en el lechón Ibérico tras el destete. Estudio in vivo y en hepatocitos. *Nutrición animal*, Universidad de Granada. Tesis Doctoral.

CONDE-AGUILERA, J.A., AGUINAGA, M.A., AGUILERA, J.F., NIETO, R., 2011a. Nutrient and energy retention in weaned Iberian piglets fed diets with different protein concentrations. *J. Anim. Sci.* 89, 754-763.

CONDE-AGUILERA, J.A., AGUINAGA, M.A., LARA, L., AGUILERA, J.F., NIETO, R., 2011b. Carcass traits and organ weights of 10-25-kg body weight Iberian pigs fed diets with different protein-to-energy ratio. *Anim. Feed Sci. Tech.* 164, 116-124.

CSAPÓ, J., MARTIN, T.G., CSAPÓ-KISS, Z.S., HÁZAS, Z., 1996. Protein, fats, vitamin and mineral concentrations in porcine colostrum and milk from parturition to 60 days. *Inter. Dairy J.* 6, 881-902.

CHAPINAL, G., DALMAU, A., FÀBREGA, G., MANTECA, X., RUIZ, J.L., VELARDE, A., 2006. Bienestar del lechón en la fase de lactación, destete y transición. *Avances en tecnología porcina* 3, 77-89.

CHESTERS, J.K., 1992. Trace element-gene interactions. *Nutr. Rev.* 50, 217-223.

DARRAGH, A.J., MOUGHAN, P.J., 1998. The composition of colostrum and milk., En: *The Lactating Sow*. Ed.: Moughan., M.W.A.V.a.P.S. Wageningen University Press.

DAVIS, M.E., MAXWELL, C.V., BROWN, D.C., DE RODAS, B.Z., JOHNSON, Z.B., KEGLEY, E.B., HELLWIG, D.H., DVORAK, R.A., 2002. Effect of dietary mannan oligosaccharides and(or) pharmacological additions of copper sulfate on growth performance and immunocompetence of weanling and growing/finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80, 2887-2894.

DEVGUN, M.S., 1991. Serum 25-hydroxyvitamin D in Wistar rats fed vitamin D deficient or normal diet: effect of ultraviolet irradiation and temperature. *Med. Lab. Sci.* 48, 193-195.

- DIÉGUEZ GARBAYO, E.**, 2001. Base Animal: pasado, presente y futuro., Porcino Ibérico: aspecto claves., Ed.: Mundiprensa, Madrid, Spain., pp. 49-82.
- DIÉGUEZ GARBAYO, E.**, 2011. El Registro Informativo del Ibérico (RIBER) y sus datos. Sólo Cerdo Ibérico Nº 25, 98-106.
- DILGER, R.N., ADEOLA, O.**, 2006. Estimation of true phosphorus digestibility and endogenous phosphorus loss in growing chicks fed conventional and low-phytate soybean meals. Poultry Sci. 85, 661-668.
- DOCE**, 2003. Reglamento (CE) Nº 1334/2003 de la comisión por el que se modifican las condiciones para la autorización de una serie de aditivos en la alimentación animal pertenecientes al grupo de los oligoelementos. Boletín Oficial del Estado (BOE), Madrid.
- DOVE, C.R.**, 1995. The effect of copper level on nutrient utilization of weanling pigs. J. Anim. Sci. 73, 166-171.
- EARLE, I.P., STEVENSON, J.W.**, 1965. Relation of Dietary Zinc to Composition of Sow Colostrum and Milk. J. Anim. Sci. 24, 325-328.
- ELLIOT, J.I., LODGE, G.A.**, 1977. Body-composition and glycogen reserves in neonatal pig during 1st 96 hours postpartum. Can. J. Anim. Sci. 57, 141-150.
- ENGLISH, P.R.**, 1980. Establishing the early weaned pig. Proc. Pig Vet. Soc., 29-37.
- EVERTS, H., DEKKER, R.A.**, 1994. Balance trials and comparative slaughtering in breeding sows - description of techniques and observed accuracy. Livest. Prod. Sci. 37, 339-352.
- EVERTS, H., JONGBLOED, A., DEKKER, R.A.**, 1998. Calcium, magnesium and phosphorus balance of sows during lactation for three parities. Livest. Prod. Sci. 55, 109-115.
- FAHMY, M.H.**, 1972. Comparative study of colostrum and milk composition of seven breeds of swine. Can. J. Anim. Sci. 52, 621-627.

- FEDNA**, 2003. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos. Fundación Española Desarrollo Nutrición Animal, Madrid, Spain.
- FEDNA**, 2006. Normas FEDNA para la formulación de piensos. Ganado porcino. Fundación Española Desarrollo Nutrición Animal, Madrid, Spain.
- FERNANDEZ-FIGARES, I., LACHICA, M., NIETO, R., RIVERA-FERRE, M.G., AGUILERA, J.F.**, 2007. Serum profile of metabolites and hormones in obese (Iberian) and lean (Landrace) growing gilts fed balanced or lysine deficient diets. *Livest. Sci.* 110, 73-81.
- FERNANDEZ, J.A.**, 1995. Calcium and phosphorus-metabolism in growing pigs. 1. Absorption and balance studies. *Livest. Prod. Sci.* 41, 233-241.
- GALLOWAY, S.T., JACOBSON, N.L., BEITZ, D.C.**, 1989. Swine Research Report. Ames (USA):Iowa State University. Effect of dietary calcium and vitamin d3 on immune response and blood parameters of young swine. No. ASL-R658.
- GARCIA-VALVERDE, R., BAREA, R., LARA, L., NIETO, R., AGUILERA, J.F.**, 2008. The effects of feeding level upon protein and fat deposition in Iberian heavy pigs. *Livest. Sci.* 114, 263-273.
- GARCÍA VALVERDE, R.**, 2007. Determinación de la contribución relativa de bellota y hierba a la ingesta energética y proteica global del cerdo Ibérico en montanera. Estudio de la interacción de dichos recursos desde los puntos de vista digestivo y metabólico, *Nutrición Animal*. Universidad de Córdoba. Tesis doctoral.
- GÓMEZ-CARBALLAR, F., AGUINAGA, M.A., NIETO, R., AGUILERA, J.F.**, 2009. Effects of intermittent suckling on the performance and digestive efficiency of Iberian piglets weaned at 35 days of age. *Livest. Sci.* 124, 41-47.
- GÓMEZ CARBALLAR, F.**, 2000. Evolución de los sistemas de explotación del cerdo Ibérico. *Sólo Cerdo Ibérico* Nº 4, 39-44.

- HANSEN, S.L., TRAKOOLJUL, N., SPEARS, J.W., LIU, H.C.,** 2010. Age and dietary iron affect expression of genes involved in iron acquisition and homeostasis in young pigs. *J. Nutr.* 140, 271-277.
- HILL, G.M., MAHAN, D.C., CARTER, S.D., CROMWELL, G.L., EWAN, R.C., HARROLD, R.L., LEWIS, A.J., MILLER, P.S., SHURSON, G.C., VEUM, T.L.,** 2001. Effect of pharmacological concentrations of zinc oxide with or without the inclusion of an antibacterial agent on nursery pig performance. *J. Anim. Sci.* 79, 934-941.
- HILL, G.M., SPEARS, J.W.,** 2001. En: Trace and ultratrace elements in swine nutrition. Ed.: A.J.L.a.L.L., Swine Nutrition, CRC Press, Boca Raton, FL., pp. 229-261.
- HURWITZ, S.,** 1996. Homeostatic control of plasma calcium concentration. *Critical Rev. Biochem. Mol. Bio.* 31, 41-100.
- INEA,**2002.http://www.inea.uva.es/web/zootecnia/Monogastricos/cerdos_iberico.htm, Escuela Universitaria Ingeniería Técnica Agrícola.
- JENTSCH, W., BEYER, M., SCHIEMANN, R., HOFFMANN, L.,** 1995. Studies on energy and nitrogen-metabolism of pregnant and lactating sows as well as suckling piglets .7. energy and nitrogen-metabolism of suckling piglets. *Arch. Anim. Nutr.-Arch. Tierernahr.* 47, 319-344.
- JOLLIFF, J.S., MAHAN, D.C.,** 2011. Effect of injected and dietary iron in young pigs on blood hematology and postnatal pig growth performance. *J. Anim. Sci.* 89, 4068-4080.
- JONDREVILLE, C., REVY, P.S., DOURMAD, J.Y.,** 2003. Dietary means to better control the environmental impact of copper and zinc by pigs from weaning to slaughter. *Livest. Prod. Sci.* 84, 147-156.
- JONDREVILLE, C., REVY, P.S., JAFFREZIC, A., DOURMAD, J.Y.,** 2002. Le cuivre dans l'alimentation du porc : oligoélément essentiel, facteur de croissance et risque potentiel pour l'Homme et l'environnement. *INRA Prod. Anim.* 15 (4), 247-265.

- JONGBLOED, A.W., MROZ, Z., VAN DER WEIJ-JONGBLOED, R., KEMME, P.A.,** 2000. The effects of microbial phytase, organic acids and their interaction in diets for growing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 67, 113-122.
- JONGBLOED, R.H., TRAAS, T.P., LUTTIK, R.,** 1996. A probabilistic model for deriving soil quality criteria based on secondary poisoning of top predators. II. Calculations for dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and cadmium. *Ecotoxicol. Environ. Safety.* 34, 279-306.
- KIDD, M.T., FERKET, P.R., QURESHI, M.A.,** 1996. Zinc metabolism with special reference to its role in immunity. *Worlds Poult. Sci. J.* 52, 309-324.
- KIES, A.K., KEMME, P.A., SEBEK, L.B.J., VAN DIEPEN, J.T.M., JONGBLOED, A.W.,** 2006. Effect of graded doses and a high dose of microbial phytase on the digestibility of various minerals in weaner pigs. *J. Anim. Sci.* 84, 1169-1175.
- KING, R.H., PLUSKE, J.R.,** 2003. En: Nutritional management of the pig in preparation for weaning., Ed.: Pluske, J.R., Le Dividich, J. Verstegen, M.W A., Weaning the pig. Concepts and consequences., Wageningen Academic Publishers., pp. 37-51.
- KLAVER, J., VANKEMPEN, G.J.M., DELANGE, P.G.B., VERSTEGEN, M.W.A., BOER, H.,** 1981. Milk-composition and daily yield of different milk components as affected by sow condition and lactation-feeding regimen. *J. Anim. Sci.* 52, 1091-1097.
- KLOBASA, F., WERHAHN, E., BUTLER, E.,** 1987. Composition of sow milk during lactation. *J. Anim. Sci.* 64, 1458-1466.
- KORNEGAY, E.T., QIAN, H.,** 1996. Replacement of inorganic phosphorus by microbial phytase for young pigs fed on a maize-soyabean-meal diet. *Br. J. Nutr.* 76, 563-578.
- KORNEGAY, E.T., VERSTEGEN, M.W.A.,** 2001. En: Swine nutrition and environmental pollution and odor control. Ed.:Southern., A.J.L.L.L., Swine Nutrition, CRC Press, Boca Raton, FL., Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana, USA, p. 611.

- KULLER, W.I., SOEDE, N.M., VAN BEERS-SCHREURS, H.M., LANGENDIJK, P., TAVERNE, M.A., KEMP, B., VERHEIJDEN, J.H.**, 2007. Effects of intermittent suckling and creep feed intake on pig performance from birth to slaughter. *J. Anim. Sci.* 85, 1295-1301.
- KULLER, W.I., SOEDE, N.M., VAN BEERS-SCHREURS, H.M.G., LANGENDIJK, P., TAVERNE, M.A.M., VERHEIJDEN, J.H.M., KEMP, B.**, 2004. Intermittent suckling: Effects on piglet and sow performance before and after weaning. *J. Anim. Sci.* 82, 405-413.
- LAGUNA SANZ, E.**, 1998. *El cerdo Ibérico en el próximo milenio*. Ediciones Mundiprensa, Madrid, Spain.
- LAWLOR, P.G., LYNCH, P.B., CAFFREY, P.J., O'DOHERTY, J.V.**, 2002. Effect of pre- and post-weaning management on subsequent pig performance to slaughter and carcass quality. *Anim. Sci.* 75, 245-256.
- LIPINSKI, P., STARZYNSKI, R.R., CANONNE-HERGAUX, F., TUDEK, B., OLINSKI, R., KOWALCZYK, P., DZIAMAN, T., THIBAudeau, O., GRALAK, M.A., SMUDA, E., WOLINSKI, J., USINSKA, A., ZABIELSKI, R.**, 2010. Benefits and risks of iron supplementation in anemic neonatal pigs. *American J. Pathol.* 177, 1233-1243.
- MAGRAMA**, 2011. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente <http://www.magrama.es/>. Accedido 15 de junio de 2012.
- MAHAN, D.C.**, 1982. Dietary calcium and phosphorus levels for weanling swine. *J. Anim. Sci.* 54, 559-564.
- MAHAN, D.C.**, 1990. Mineral nutrition of the sow: a review. *J. Anim. Sci.* 68, 573-582.
- MAHAN, D.C., LEPINE, A.J.**, 1991. Effect of pig weaning weight and associated nursery feeding programs on subsequent performance to 105 kilograms body-weight. *J. Anim. Sci.* 69, 1370-1378.
- MAHAN, D.C., SHIELDS, R.G.**, 1998. Macro- and micromineral composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight. *J. Anim. Sci.* 76, 506-512.
- MANNERS, M.J., MCCREA, M.R.**, 1963. Changes in chemical composition of sow-reared piglets during 1st month of life. *Br. J. Nutr.* 17, 495-&.

- MARM**, 2010. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. <http://www.marm.es/>. Accedido abril de 2012.
- MARM**, 2011. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. <http://www.marm.es/>. Accedido mayo de 2012.
- MARTIN, R.E., MAHAN, D.C., HILL, G.M., LINK, J.E., JOLLIFF, J.S.**, 2011. Effect of dietary organic microminerals on starter pig performance, tissue mineral concentrations, and liver and plasma enzyme activities. *J. Anim. Sci.* 89, 1042-1055.
- MARTÍNEZ-ALMELA, J.**, 2006. En: Consideraciones previas al diseño de alojamientos e instalaciones ganaderas. Buscando Equilibrios para un Nuevo Orden Zootécnico, Ed: Alacanthis Comunicaciones y Estrategias, SLU, Madrid, pp. 7-14.
- MATEOS, G.G., GARCÍA, D., JIMÉNEZ, E.**, 2004. Microminerales en alimentación de monogástricos. Aspectos técnicos y consideraciones legales. XX Curso de especialización FEDNA, 275-323.
- MATEOS, G.G., GARCÍA, M.**, 1998. Uso de premezclas en fabricación de piensos. Características y composición de las materias primas utilizadas en macrocorrectores. XIV Curso de Especialización FEDNA. Avances en Nutrición y Alimentación Animal., 171-190.
- MATEOS, G.G., LÁZARO, R., ASTILLERO, J.R., PÉREZ, M.**, 2005. En: Trace minerals: what text books don't tell you. Ed.: Tucker, J.A.T.P.a.L.A., Re-Defining Mineral Nutrition, Nottingham University Press, UK, pp. 21-62.
- MERLOT, E., MEUNIER-SALAUN, M.C., PRUNIER, A.**, 2004. Behavioural, endocrine and immune consequences of mixing in weaned piglets. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 85, 247-257.
- MILLER, M.B., HARTSOCK, T.G., EREZ, B., DOUGLASS, L., ALSTONMILLS, B.**, 1994. Effect of dietary calcium-concentration during gestation and lactation in the sow on milk-composition and litter growth. *J. Anim. Sci.* 72, 1315-1319.

- MILLET, S., ALUWE, M., DE BRABANDER, D.L., VAN OECKEL, M.J.,** 2008. Effect of seven hours intermittent suckling and flavour recognition on piglet performance. *Arch. Anim. Nutr.* 62, 1-9.
- MILLIGAN, B.N., DEWEY, C.E., DE GRAU, A.F.,** 2002. Neonatal-piglet weight variation and its relation to pre-weaning mortality and weight gain on commercial farms. *Prev. Vet. Med.* 56, 119-127.
- MORMÈDE, P., HAY, M.,** 2003. Behavioural changes and adaptations associated with weaning., En: *Weaning the pig, concept and consequences*. Ed.: Pluske, J.R., Le Dividich, J., Verstegen, M.W.A., Wageningen Academic Publishers, pp. 53-60.
- NABUURS, M.J.A.,** 1998. Weaning piglets as a model for studying pathophysiology of diarrhea. *Vet. Q.* 20, S42-S45.
- NABUURS, M.J.A., VANZIJDVELD, F.G., DELEEUW, P.W.,** 1993. Clinical and microbiological field studies in the netherlands of diarrhea in pigs at weaning. *Res. Vet. Sci.* 55, 70-77.
- NEWTON, E.A., STEVENSON, J.S., DAVIS, D.L.,** 1987. Influence of duration of litter separation and boar exposure on estrous expression of sows during and after lactation. *J. Anim. Sci.* 65, 1500-1506.
- NIETO, R., MIRANDA, A., GARCIA, M.A., AGUILERA, J.F.,** 2002. The effect of dietary protein content and feeding level on the rate of protein deposition and energy utilization in growing Iberian pigs from 15 to 50 kg body weight. *Br. J. Nutr.* 88, 39-49.
- NIETO, R., LARA, L., GARCIA, M.A., VILCHEZ, M.A., AGUILERA, J.F.,** 2003. Effects of dietary protein content and food intake on carcass characteristics and organ weights of growing Iberian pigs. *Anim. Sci.* 77, 47-56.
- NIETO, R., SEIQUER, I., AGUILERA, J.F.,** 2008. The effect of dietary protein content on calcium and phosphorus retention in the growing Iberian pig. *Livest. Sci.* 116, 275-288.

- NOBLET, J., ETIENNE, M.,** 1986. Effect of energy level in lactating sows on yield and composition of milk and nutrient balance of piglets. *J. Anim. Sci.* 63, 1888-1896.
- NOBLET, J., ETIENNE, M.,** 1987. Body composition, metabolic rate and utilization of milk nutrients in suckling piglets. *Repr. Nutr. Develop.* 27, 829-839.
- NOBLET, J., ETIENNE, M.,** 1989. Estimation of sow milk nutrient output. *J. Anim. Sci.* 67, 3352-3359.
- NONNECKE, B.J., FRANKLIN, S.T., REINHARDT, T.A., HORST, R.L.,** 1993. In vitro modulation of proliferation and phenotype of resting and mitogen-stimulated bovine mononuclear leukocytes by 1,25-dihydroxyvitamin D₃. *Vet. Immunol. Immunopathol.* 38, 75-89.
- NRC,** 1998. Nutrient requirement of swine. Natl Acad Press, Washington, DC.
- Nys, Y.,** 2001. Trace elements as related to growth and health in chickens. *Prod. Anim.* 14, 171-180.
- OSAKI, S., JOHNSON, D.A.,** 1969. Mobilization of Liver Iron by Ferroxidase (Ceruloplasmin). *J. Biol. Chem.* 244, 5757-5758.
- PAJOR, E.A., WEARY, D.M., CACERES, C., FRASER, D., KRAMER, D.L.,** 2002. Alternative housing for sows and litters Part 3. Effects of piglet diet quality and sow-controlled housing on performance and behaviour. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 76, 267-277.
- PAYNE, J.M., MANSTON, R.,** 1967. The safety of massive doses of vitamin D₃ in the prevention of milk fever. *Vet. Record.* 81, 214-216.
- PÉREZ, F.A.,** 2009. Prácticas de manejo del lechón en maternidad para mejorar su sobrevivencia y aumentar la productividad. *REDVET. Revista electrónica de Veterinaria.* 11, Nº 1.
- PLUSKE, J.R., WILLIAMS, I.H., ZAK, L.J., CLOWES, E.J., CEGIELSKI, A.C., AHERNE, F.X.,** 1998. Feeding lactating primiparous sows to establish three divergent metabolic states: III. Milk production and pig growth. *J. Anim. Sci.* 76, 1165-1171.

- POULSEN, H.D.**, 1995. Zinc-oxide for weaning piglets. *Acta Agric. Scand. Sect. Anim. Sci.* 45, 159-167.
- PRASAD, A.S., BAO, B., BECK, F.W., SARKAR, F.H.**, 2002. Zinc enhances the expression of interleukin-2 and interleukin-2 receptors in HUT-78 cells by way of NF-kappaB activation. *J.Lab.Clinic. Med.* 140, 272-289.
- PUPPE, B., TUCHSCHERER, M., TUCHSCHERER, A.**, 1997. The effect of housing conditions and social environment immediately after weaning on the agonistic behaviour, neutrophil/lymphocyte ratio, and plasma glucose level in pigs. *Livest. Prod. Sci.* 48, 157-164.
- REBOLLAR, P.G., MATEOS, G.G.**, 1999. El Fósforo en nutrición animal. Necesidades, valoración de materias primas y mejora de la disponibilidad. XV Curso de especialización FEDNA. *Avances en nutrición y alimentación animal.* 19-64.
- RENAUDEAU, D., NOBLET, J.**, 2001. Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on sow milk production and performance of piglets. *J. Anim. Sci.* 79, 1540-1548.
- RENAUDEAU, D., NOBLET, J., DOURMAD, J.Y.**, 2003. Effect of ambient temperature on mammary gland metabolism in lactating sows. *J. Anim. Sci.* 81, 217-231.
- RENAUDEAU, D., QUINIOU, N., NOBLET, J.**, 2001. Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on performance of multiparous lactating sows. *J. Anim. Sci.* 79, 1240-1249.
- REVELL, D.K., WILLIAMS, I.H., MULLAN, B.P., RANFORD, J.L., SMITS, R.J.**, 1998. Body composition at farrowing and nutrition during lactation affect the performance of primiparous sows: II. Milk composition, milk yield, and pig growth. *J. Anim. Sci.* 76, 1738-1743.
- RINCKER, M.J., HILL, G.M., LINK, J.E., MEYER, A.M., ROWNTREE, J.E.**, 2005. Effects of dietary zinc and iron supplementation on mineral excretion, body composition, and mineral status of nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 83, 2762-2774.

- RIVERA-FERRE, M.G., AGUILERA, J.F., NIETO, R., 2005.** Muscle fractional protein synthesis is greater in Iberian than in Landrace growing pigs fed adequate or lysine-deficient diets . J. Nutr. 135, 469-478.
- RIVERA-FERRE, M.G., AGUILERA, J.F., NIETO, R., 2006.** Differences in whole-body protein turnover between Iberian and Landrace pigs fed adequate or lysine-deficient diets. J. Anim. Sci. 84, 3346-3355.
- RODEHUTSCORD, M., HAVERKAMP, R., PFEFFER, E., 1998.** Inevitable losses of phosphorus in pigs, estimated from balance data using diets deficient in phosphorus. Archiv. fur Tierernahrung 51, 27-38.
- RUEDA SABATER, L., DIÉZ GARBAYO, E., 2007.** En: Manual de Cerdo Ibérico. 2ª ed. AECERIBER.
- RUTHERFURD, S.M., DARRAGH, A.J., HENDRIKS, W.H., PROSSER, C.G., LOWRY, D., 2006.** Mineral retention in three-week-old piglets fed goat and cow milk infant formulas. J. Dairy Sci. 89, 4520-4526.
- SLOAT, D.A., MAHAN, D.C., ROEHRIG, K.L., 1985.** Effect of pig weaning weight on postweaning body-composition and digestive enzyme development. Nutr. Rep. Inter. 31, 627-634.
- STRAIN, J.J., 1994.** En: Newer aspects of micronutrients in chronic disease: copper. The Proceedings of the Nutrition Society 53, 583-598.
- TAO, X., XU, Z.R., WANG, Y.Z., 2005.** Effect of excessive dietary fluoride on nutrient digestibility and retention of iron, copper, zinc, and manganese in growing pigs. Biol. Trace Elem. Res. 107, 141-151.
- THOMPSON, L.H., HANFORD, K.J., JENSEN, A.H., 1981.** Estrus and fertility in lactating sows and piglet performance as influenced by limited nursing. J. Anim. Sci. 53, 1419-1423.
- THYMAN, T., GUDBERGSEN, C., BRESSON, S., KRISTENSEN, N.B., HANSEN, C.F., 2007.** Intermittent suckling improves post-weaning feed uptake but does not change functional gut characteristics of piglets. Livest. Sci. 108, 132-136.

- UNDERWOOD, E.J., SUTTLE, N.F.**, 2003. En: *The Mineral Nutrition of Livestock*, 3^a edition., Wallingford, UK.
- VAN BEERS-SCHREURS, H.M.G., NABUURS, M.J.A., VELLENGA, L., KALSBECK-VAN DER VALK, H.J., WENSING, T., BREUKINK, H.J.**, 1998. Weaning and the weanling diet influence the villous height and crypt depth in the small intestine of pigs and alter the concentrations of short-chain fatty acids in the large intestine and blood. *J. Nutr.* 128, 947-953.
- VENTANAS, S., VENTANAS, J., JURADO, A., ESTEVEZ, M.**, 2006. Quality traits in muscle biceps femoris and back-fat from purebred Iberian and reciprocal Iberian x Duroc crossbred pigs. *Meat Sci.* 73, 651-659.
- VEUM, T.L., CARLSON, M.S., WU, C.W., BOLLINGER, D.W., ELLERSIECK, M.R.**, 2004. Copper proteinate in weanling pig diets for enhancing growth performance and reducing fecal copper excretion compared with copper sulfate. *J. Anim. Sci.* 82, 1062-1070.
- VALROS, A.E., RUNDGREN, M., SPINKA, M., SALONIEMI, H., RYDHMER, L., ALGERS, B.**, 2002. Nursing behaviour of sows during 5 weeks lactation and effects on piglet growth. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 76, 93-104.
- WENK, C., COLOMBANI, P.C., VAN MILGEN, J., LEMME, A.**, 2001. En: *Glossary: Terminology in animal and human energy metabolism*. Ed.: Press, W. Proceedings of the 15th symposium on energy metabolism in animals. Wageningen, pp. 409-421
- WHITTEMORE, C.T., AUMAITRE, A., WILLIAMS, I.H.**, 1978. Growth of body components in young weaned pigs. *J. Agric. Sci.* 91, 681-692.
- WILLIAM, I.H.**, 2003. Growth of the weaned pig. , En: *Weaning the pig. Concept and consequences*. Ed. Pluske, J.R., Le Dividich, J. Verstegen, M.W A. Wagening Academic Publishers, the Netherlands. , pp. 17-35.
- WOLTER, B.F., ELLIS, M., CORRIGAN, B.P., DEDECKER, J.M.**, 2002. The effect of birth weight and feeding of supplemental milk replacer to piglets during lactation on preweaning and postweaning growth performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.* 80, 301-308.

ZOU, S., MCLAREN, D.G., HURLEY, W.L., 1992. Pig colostrum and milk-composition - comparisons between chinese meishan and united-states breeds. *Livest. Prod. Sci.* 30, 115-127

3TRES3IBERICO.COM (<http://www.3tres3iberico.com/noticias>) 26 de junio de 2012.