

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

MÁSTER EN PRODUCCIÓN ANIMAL



**INCREMENTO DE ENERGÍA Y LISINA
EN DIETAS DE CERDOS DE CEBO:
RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS,
BALANCE DE NITRÓGENO Y
EMISIONES DE AMONIACO**

TESIS FINAL DE MÁSTER

Alumna:

Laura Torres Villanueva

Directora:

Alba Cerisuelo García

Co-directora:

Verónica Moset Hernández

Valencia, diciembre de 2009

RESUMEN

La estrategia de alimentación en la fase de cebo tiene una importante influencia sobre los costes productivos y el medio ambiente. Es importante dar con estrategias nutricionales que maximicen el rendimiento y minimicen la excreción de nutrientes al medio.

El objetivo de este trabajo ha sido estudiar las consecuencias de incrementar la cantidad de energía y lisina en el pienso de cerdos de cebo, sobre el rendimiento productivo y la composición corporal de los animales, así como obtener un balance de nitrógeno y realizar un estudio de la composición del purín y las emisiones de amoníaco.

Para la prueba productiva se utilizaron un total de 128 animales de $42 \pm 7,44$ kg de peso que se dividieron en dos tratamientos (LD y HD) según peso y sexo. Los animales del grupo HD se alimentaron con un pienso con mayor contenido en energía y lisina durante las dos fases de crecimiento estudiadas (40-60 kg: 3434,426 Kcal/kg ED y 1,0644% lisina. 60-100 kg: 3437,039 Kcal/kg ED y 1,0154% lisina) en comparación con los niveles de energía y lisina del pienso LD (40-60 kg: 3336,55 Kcal/kg ED y 1,0315% lisina. 60-100 kg: 3337,763 Kcal/kg ED y 0,9593% lisina). Se registró el peso de los animales y el consumo de pienso de manera quincenal. La grasa dorsal (GD) y profundidad de lomo (PL) se midieron mediante ultrasonidos también de manera quincenal. Al finalizar la prueba productiva (68 días) se seleccionaron un total de 12 hembras de $97,8 \pm 3,69$ kg de peso para la recogida total de heces y orina. Primero, la recogida fue durante 3 días consecutivos para la realización del balance de nitrógeno y después, durante otros 4 días más, para el estudio de emisiones de amoníaco del purín durante 11 días.

En cuanto a los resultados productivos, en general, un incremento de la cantidad de energía y lisina en el pienso dio lugar a un aumento de la eficiencia de crecimiento durante todo el ciclo ($P < 0,05$). Por periodos, las hembras HD mostraron un mayor consumo de pienso y ganancia de peso que las hembras LD de los 40 a los 60 kg de peso ($P < 0,05$), probablemente debido a un incremento de la GD durante este periodo ($P < 0,01$). No se observaron diferencias en los machos durante este periodo. De los 60 a los 100 kg los animales alimentados con el pienso HD mostraron mejores eficiencias de conversión ($P < 0,05$). Este resultado que fue más importante estadísticamente en los machos debido a que el pienso HD provocó, además, una tendencia a reducir el consumo de pienso en esta etapa ($P < 0,1$). El aporte extra de energía y lisina en el pienso HD dio lugar a un incremento significativo tanto de GD ($P < 0,1$) como de PL ($P < 0,05$) durante el segundo periodo tanto en machos como en hembras.

En cuanto al balance de nitrógeno no se observaron diferencias significativas en excreción de nitrógeno entre tratamientos ($P > 0,1$). Los valores de retención de nitrógenos fueron mayores en el grupo LD (65%) que en el grupo HD (56,6%), aunque no significativamente diferentes. Al analizar la composición del purín, el purín de los animales HD presentó un mayor porcentaje de sólidos totales y volátiles y una menor cantidad de ácidos grasos volátiles ($P < 0,05$) tanto al inicio como tras los 11 días de incubación. En cuanto al nitrógeno, el purín de los animales HD mostró mayores pérdidas de nitrógeno ($P < 0,05$) durante el periodo de incubación, pero este hecho no se tradujo en diferencias significativas en emisiones de amoníaco entre tratamientos.

En conclusión, la administración de un pienso con una mayor cantidad de energía y lisina durante la fase de cebo puede tener diferentes consecuencias según la fase de crecimiento y el sexo. En términos de excreción de nitrógeno y emisiones de amoníaco, el aporte extra de energía y lisina y las ratios lisina:energía utilizadas en este estudio no dieron diferencias significativas en excreción y emisiones aunque numéricamente los animales HD retuvieron menores cantidades de nitrógeno que los animales LD.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Programa de alimentación en la fase de cebo	3
1.1.1 Necesidades de energía, nutrientes y agua. Recomendaciones en cerdos en fase de crecimiento	3
1.1.2 Factores que afectan a las necesidades y a los rendimientos productivos ..	8
1.1.2.1 Genotipo y selección genética	8
1.1.2.2 Crecimiento y curvas de deposición de grasa y proteína	9
1.1.2.3 Sexo	11
1.1.2.4 Edad/peso sacrificio	12
1.1.2.5 Condiciones ambientales y de manejo (temperatura, humedad y densidad).....	14
1.2 Efecto del programa de alimentación sobre la excreción de nitrógeno y las emisiones de amoniaco	15
1.2.1 Impacto medioambiental de la ganadería	15
1.2.2 Excreción de nitrógeno y emisiones de amoniaco: influencia de la nutrición	18
 2. OBJETIVOS.....	 24
 3. MATERIAL Y MÉTODOS	 26
3.1 Ubicación e instalaciones.....	27
3.2 Animales y tratamientos	27
3.3 Procedimiento experimental.....	31
3.3.1 Medidas y toma de muestras	31
3.3.1.1 Rendimiento productivo.....	31
3.3.1.2 Balance de nitrógeno	32
3.3.1.3 Estudio de emisiones de amoniaco	34
3.3.2 Análisis químicos.....	37
3.3.2.1 Balance de nitrógeno	37
3.3.2.2 Estudio de emisiones de gases.....	39
3.4 Análisis estadístico	40

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1 Rendimientos productivos y composición corporal	43
4.1.1 Crecimiento y consumo.....	43
4.1.2 Composición corporal	45
4.2 Balance de nitrógeno	53
4.3 Composición del purín y emisiones de amoniaco	55
5. CONCLUSIONES	57
6. BIBLIOGRAFÍA	60

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La fase de cebo es una de las fases más largas de la cría del cerdo. Ésta comprende el crecimiento del cerdo desde los 20 a los 110-130 kg aproximadamente y su duración está en torno a los 3-4 meses dependiendo de la edad estipulada para el sacrificio en cada caso. La alimentación de los animales durante esta etapa supone hasta un 65-70% del coste total de producción y ejerce una marcada influencia sobre los rendimientos productivos en granja, así como sobre la calidad final de la canal y de la carne en matadero (Medel y Fuentetaja, 2000). Debido a su duración e impacto productivo, la estrategia de alimentación llevada a cabo en esta fase tendrá una profunda influencia sobre los costes productivos de cualquier explotación. Por ello, es importante conocer las necesidades de los animales en esta etapa y optimizar su alimentación para conseguir el máximo rendimiento.

Además, en la actualidad existe una creciente preocupación por el papel que ejerce la ganadería intensiva sobre el medio ambiente y la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Según el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, dentro del sector ganadero se considera que el estiércol es responsable de hasta un 27,6% de las emisiones de gases de efecto invernadero como el metano y el CO₂ y de otros gases potencialmente peligrosos como el amoníaco. En el marco del protocolo de Kioto (1997), los países firmantes, España entre ellos, persiguen una disminución de las emisiones que se sitúa en torno a 8% en el caso del estado español para los próximos años 2008-2012. Para ello, además de las medidas tecnológicas impulsadas desde la administración, en la actualidad se fomenta la aplicación de medidas complementarias como son las Mejores Tecnologías Disponibles (MTD's) desde diversos ámbitos de la producción animal, entre ellos la alimentación. En este sentido, es necesario dar con estrategias nutricionales que minimicen la excreción de nutrientes y el volumen de deyecciones y, con ello, las emisiones de gases a partir de los purines.

Por todo ello, es importante elaborar planes de alimentación que sean acordes a las necesidades y productividad de los animales y a las necesidades medioambientales.

A continuación, se realiza una breve exposición de las necesidades de los animales en fase de cebo, los factores que afectan a sus rendimientos y el impacto medioambiental de los purines.

1.1 PROGRAMA DE ALIMENTACIÓN EN LA FASE DE CEBO

Para establecer un programa de alimentación adecuado es necesario, en primer lugar, conocer las necesidades nutricionales de los animales y, en segundo lugar, conocer los factores más importantes capaces de influir en las necesidades.

1.1.1 NECESIDADES DE ENERGÍA, NUTRIENTES Y AGUA. RECOMENDACIONES EN CERDOS EN FASE DE CRECIMIENTO.

El cálculo de las necesidades del cerdo durante la fase de cebo, al igual que en otras fases de producción, se basan en un cálculo factorial, o lo que es lo mismo, en el conocimiento de unas ecuaciones o leyes de respuesta que tengan en cuenta la diversidad existente entre animales y las condiciones de explotación. Factores como el peso del animal (mantenimiento), la fase de crecimiento, el tipo genético (graso o magro), el sexo (macho, hembra o macho castrado) y las condiciones ambientales van a influir en las necesidades nutritivas de los animales (NRC, FEDNA y BSAS).

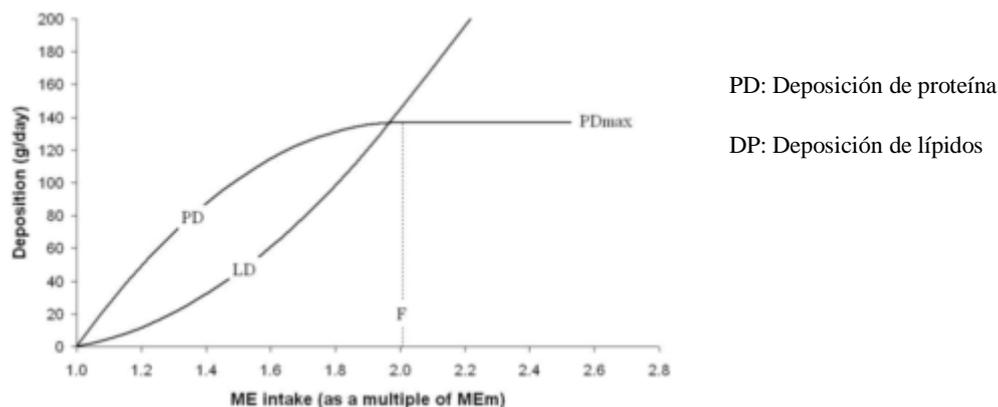
La **energía** es el nutriente más crítico de la ración, pues es el más caro en la actualidad y el que limita la expresión del potencial del crecimiento de los cerdos. Entre el 80-90% de la energía presente en el alimento es digerida por el cerdo. Pero no toda esta energía digerida es retenida, llegando solo a retener el 50% de la energía presente en el alimento, el resto se pierde por la orina y en forma de metano o de calor (Quiles y Hevia, 2008).

El aporte energético de la ración debe cubrir por un lado las necesidades de mantenimiento, que dependen del peso vivo del cerdo, y por otro, las necesidades de crecimiento que están en función del ritmo de crecimiento y de la ganancia de peso.

Los cerdos tienen la capacidad de consumir más energía hasta alcanzar la necesaria para un máximo de deposición proteica. Cuando el consumo de energía se incrementa por encima de este punto, la deposición de proteína y las necesidades de aminoácidos se mantienen constantes y ese exceso de energía se depositará en el animal en forma de lípido.

La figura 1 muestra cómo la relación de la deposición de proteína y la ingestión de energía es curvi-linear hasta llegar a un punto en que la deposición de proteína máxima empieza a limitar el depósito de proteína (van Milgen et al., 2000). Cuanto más pequeño es el suministro de energía por encima del mantenimiento, mayor es la fracción asignada a la deposición de proteína.

Figura 1: Relación entre la deposición de proteína la ingesta de energía.



Fuente: van Milgen et al. (2000).

Para un animal de un determinado peso o edad, la respuesta de deposición de proteína con relación a la ingesta de energía metabolizable viene determinada por 3 parámetros como son, el límite máximo de deposición proteica, la ingesta de energía metabolizable necesaria para alcanzar esta deposición de proteína máxima y la eficiencia energética de deposición proteica.

El aporte de **proteína** debe estar perfectamente ajustado a las necesidades de los animales en cada una de las fases de crecimiento, ya que, un déficit de proteína conlleva una reducción de la ganancia media diaria y un aumento del engrasamiento, mientras que un exceso de la misma contribuye a aumentar la contaminación ambiental debido a un exceso de eliminación de nitrógeno (Coma y Bonet, 2004) (ver apartado 1.2.2 Excreción de nitrógeno y emisiones de amoníaco).

Durante la fase de cebo el aporte proteico de la ración debe cubrir las siguientes necesidades de los cerdos:

- Reposición de las pérdidas consecuentes del intercambio de proteína tisular.
- Elaboración de enzimas, reposición de células epiteliales del intestino y síntesis de secreciones intestinales.
- Crecimiento del tejido magro en forma de proteína retenida.

Sólo un tercio de la proteína ingerida es retenida por el cerdo, eliminándose los dos tercios restantes por las heces y orina (Gatel y Grosjean, 1992), como veremos más adelante en el apartado 1.2.2.

Entre las variables que afectan de forma importante a la deposición proteica están: el peso vivo, la genética y el tipo sexual (macho, hembra o castrado). Todas estas variables condicionan la respuesta del animal a la ingestión de nitrógeno y energía de la

dieta, y pueden justificar la existencia de piensos y programas de alimentación diferentes para cada uno de ellos.

Más que el aporte de proteína, hoy en día, a la hora de formular piensos cobra gran importancia el aporte de **aminoácidos sintéticos** en forma de proteína ideal para sustituir parte de la proteína y reducir la excreción de nitrógeno al medio. Dentro del concepto de proteína ideal, que es aquella cuyo perfil de aminoácidos se aproxima en la medida de lo posible al perfil de las necesidades de los animales, los aminoácidos deben ser aportados en las cantidades suficientes para obtener el máximo rendimiento de los animales en relación al depósito de tejido magro.

Además, la formulación con aminoácidos digestibles ideales verdaderos en las dietas para cerdos durante el periodo de engorde, minimiza la excreción de nitrógeno y mejora la eficacia de la nutrición nitrogenada (Leclercq, 1998). La lisina es el aminoácido más limitante para la deposición proteica del cerdo en crecimiento. Las necesidades diarias de lisina digestible dependen del tipo genético, sexo, edad, peso, racionamiento energético y de todos aquellos factores que puedan tener influencia sobre el consumo diario de alimento como puede ser la energía. Otros aminoácidos disponibles de manera sintética hoy en día son la metionina, triptófano, valina y treonina (Leclercq, 1998).

A continuación, se muestra un resumen de los requerimientos energéticos y nutricionales para cerdos de cebo, diferenciando por un lado, las **necesidades** de los animales según el organismo oficial NRC (1998), y por el otro lado, las **recomendaciones** prácticas que se sugieren en condiciones españolas por FEDNA (2006). Es importante ajustar al máximo las recomendaciones a las necesidades verdaderas de cada fase productiva para evitar así el exceso de nutrientes y energía en las dietas.

Tabla 1: Requerimientos nutricionales en piensos para cebo.

	FASE DE CRECIMIENTO		FASE DE ACABADO	
	NRC(1998) ⁴	FEDNA ⁵	NRC ⁶ (1998)	FEDNA ⁷ (2006)
EM¹ (Kcal/Kg)	3265	3260	3265	3200
PB² (%)	18	16.5	15.5	15
Lisina (%)	0.95	1.03-1.07	0.60	0.86-0.92
Met + Cis³ (%)	0,54	0.61-0.65	0.35	0.52-0.56
Treonina (%)	0,41	0.65-0.69	0.41	0.56-0.58
Calcio (%)	0,45	0.68-0.80	0.45	0.65-0.8
Fósforo total (%)	0,45	0.58	0.15	0.54

¹Energía metabólica. ²Proteína Bruta. ³Metionina+Cistina. ⁴20-50 Kg. ⁵20-60 Kg. ⁶80-100 Kg. ⁷60-100 Kg. Fuente: NRC (1998) y FEDNA (2006).

Las necesidades de proteína y energía cambian con la edad del animal debido a la relación de las necesidades de mantenimiento y crecimiento con las necesidades totales. Las necesidades de lisina para mantenimiento son despreciables a partir de los 20 días de edad y representan sólo el 5% de las necesidades totales que son muy importantes para el crecimiento. Por el contrario, las necesidades energéticas aumentan con la edad, pasan de necesitar 3583 Kcal/día de ED a los 25 kg, a necesitar casi 9554 Kcal/día a los 100 kg. Al final del periodo de crecimiento, a medida que el peso corporal aumenta, las necesidades de mantenimiento tienden a ser más importantes y la velocidad de crecimiento disminuye.

Además de las necesidades en energía y nutrientes, es necesario tener en cuenta las necesidades de **vitaminas y minerales** para asegurar un rendimiento óptimo de los animales. El calcio y otros minerales pueden formar complejos con los fitatos que al precipitar disminuye la disponibilidad de estos minerales. Por eso, la adición de fitasas puede mejorar la digestibilidad del fósforo y del calcio. En la tabla 2 se hace una revisión de los niveles de los minerales y vitaminas más utilizados en las dietas para cerdos de cebo y acabado (Quiles y Hevia, 2008).

Tabla 2: Aporte de vitaminas y minerales en los piensos utilizados para las fases de crecimiento.

	Fase de crecimiento (15-50 Kg)	Fase de cebo (50-150 Kg)
MINERALES		
Sodio (g/Kg)	1.5-1.7	1.4-2.2
Cinc (mg/Kg)	100-200	70-150
Manganeso (mg/Kg)	30-50	25-45
Hierro (mg/Kg)	80-150	65-112
Cobalto (mg/Kg)	0.2-0.5	0.2-0.5
Yodo (mg/Kg)	0.4-1.0	0.4-1.0
Cobre (mg/Kg)	6-15	6-15
VITAMINAS		
Retinol (mg/Kg)	1.2-3.6	1.2-2.7
Colecalciferol (mg/Kg)	0.03-0.05	0.015-0.037
Tiamina (mg/kg)	1-2	1-2
Riboflavina (mg/kg) (B2)	4-6	2-4
Acido nicotínico (mg/kg)	15-25	10-25
Acido pantoténico (mg/kg)	10-15	8-15
Piridoxina (mg) (B6)	1-3	1-3
Cianocobalamina (mg)	0.02-0.05	0.015-0.022
Biotina (mg/kg)	0-0.15	0-0.05
Acido fólico (mg/kg)	0-1	0-1
Colina(mg/kg)	100-300	0-200

Fuente: Quiles y Hevia, (2008).

En las necesidades nutricionales del cerdo, el **agua** es el primer nutriente, y tenemos que asegurarnos de su correcta disponibilidad. Además de las necesidades en energía y nutrientes es muy importante tener en cuenta las necesidades de agua en cada fase productiva, ya que, ésta puede jugar un papel importante en la optimización de los rendimientos productivos. Las necesidades de agua varían dependiendo del estadio de producción. Un buen suministro de agua es necesario porque mejora el consumo de pienso y actúa en numerosos procesos metabólicos como son la síntesis de proteínas o el mantenimiento y regulación de la temperatura.

El consumo de agua de un cerdo sano es aproximadamente 1 litro por cada 10 Kg de peso vivo (Muirhead y Alexander, 1997). Los cerdos enfermos no sólo disminuyen el consumo de pienso sino que también disminuyen el consumo de agua, de ahí la importancia de asegurar un aporte óptimo y controlar a diario el consumo del agua para anticipar la aparición de problemas patológicos, ya que, antes de la aparición de los síntomas el consumo disminuye (Pedersen y Madsen, 2001). A continuación, las tablas 3 y 4 muestran las necesidades del flujo de agua y del consumo según la fase de producción. Tan importante como asegurar un caudal determinado es asegurar un flujo (Muirhead, 1997).

Tabla 3: Necesidades del flujo de agua de los bebederos.

Estado fisiológico	L/min
Cerdos destetados 7-25 Kg	1
Cerdos de 25-50 Kg	1,4
Cerdos de 50-110 Kg	1,7

Fuente: Muirhead (1997).

Tabla 4: Necesidades de consumo de agua diarias.

Edad (Semanas)	Consumo (L/día)
8	1
9	2,5
10	3,3
12	4,2
14	5
17	7
21	8,9

Fuente: Muirhead (1997).

1.1.2 FACTORES QUE AFECTAN A LAS NECESIDADES Y A LOS RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS

A continuación, se describen los principales factores que afectan a las necesidades de los cerdos en fase de crecimiento-cebo:

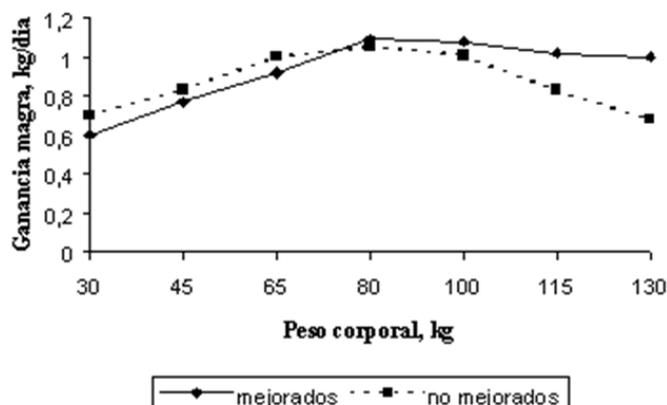
1.1.2.1 Genotipo y selección genética

El objetivo de la selección genética en porcino en las últimas décadas ha sido aumentar el **porcentaje de magro** de la canal, por las preferencias del consumidor de carnes magras y por la mejor eficacia productiva de los animales más magros. Como resultado, se ha producido un descenso en la **grasa dorsal** de 0,4-0,6 mm/año y un aumento en el porcentaje de magro de 0,6%/año en las canales porcinas en España de 1990 a 1997 (Gispert et al., 1997).

Este descenso de la grasa dorsal lleva implícito un descenso de la **grasa intramuscular** (Schower et al., 1989), la cual se ha relacionado positivamente con cualidades organolépticas como es la pérdida de aroma, sabor y terneza de la carne, acompañada de un incremento en el contenido en agua de los tejidos (carnes exudativas) y del nivel de ácidos grasos poliinsaturados en la grasa (grasas más blandas), provocando así el rechazo de los consumidores (Wood et al., 1986). La capacidad de deposición de este tipo de grasa tiene un fuerte componente genético, siendo limitada en razas muy magras como Pietrain o Blanco Belga y superiores en razas como Duroc o Meishan.

El **potencial de deposición de magro** de las líneas genéticas actuales es muy elevado. Tal y como veremos a continuación, la tasa de crecimiento magro aumenta durante el crecimiento temprano y eventualmente llega a una meseta que depende del genotipo y del sexo. Una vez que se alcanza la deposición máxima de tejido magro, ésta inevitablemente declina mientras que la deposición de grasa se mantiene constante o aumenta. En general, en los cerdos no mejorados genéticamente, la deposición máxima de tejido magro se alcanza a pesos más bajos y declina más pronto que en los mejorados genéticamente (Figura 2) dando paso a un engrasamiento más temprano.

Figura 2: Curvas de crecimiento para cerdos genéticamente mejorados y no mejorados.



Fuente: PIC (2000).

Las líneas de cerdos mejoradas con elevado potencial de crecimiento magro tienen necesidades superiores de proteína bruta y lisina, que las líneas más grasas de menor potencial de crecimiento magro, para poder mantener su potencial máximo de crecimiento magro (FEDNA, 2006 y BSAS, 2003).

A nivel práctico, es importante conocer la curva de crecimiento y sobre todo el **potencial de deposición proteica** de la línea genética de la que disponemos para maximizar su potencial de crecimiento, ya que, ésta determina gran parte de las necesidades de aminoácidos esenciales.

Las casas de genética se adaptan continuamente a las necesidades del mercado creando nuevas líneas sintéticas, que en ocasiones pueden presentar mayores diferencias entre ellas que las diferentes razas entre sí.

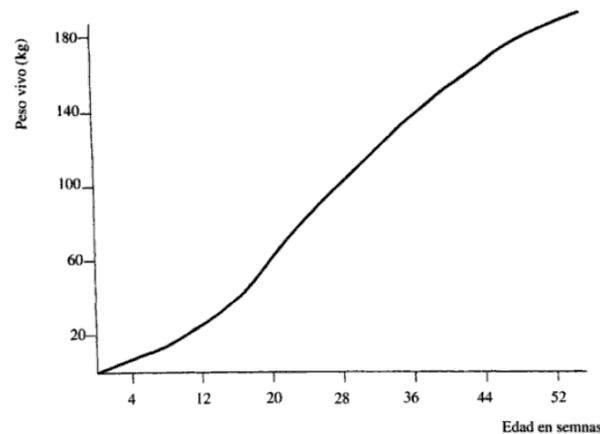
Smith et al. (1996) realizaron un estudio para estimar los requerimientos nutricionales de los cerdos de dos explotaciones comerciales con una genética muy semejante, elaborando las curvas de crecimiento de machos castrados y hembras observaron que la diferencia entre explotaciones fue mucho mayor que la diferencia entre sexos, lo cual indica que el manejo tiene una influencia directa en las curvas de deposición.

1.1.2.2. Crecimiento y curvas de deposición de grasa y proteína

Durante la fase de engorde en porcino, se diferencian generalmente dos etapas: fase de crecimiento (20-60 kg) y fase de cebo o finalización (60-110kg). Esta segmentación permite ajustar mejor los aportes nutritivos a las necesidades de los animales.

El crecimiento del cerdo sigue una **curva sigmoidea** con al menos tres puntos de inflexión, con un crecimiento lento inicial, una aceleración en la fase media y una reducción paulatina, acercándose a una asíntota a medida que el organismo envejece, estando influidos por factores genéticos, sexo, alimentación, etc. Las razas europeas y los híbridos comerciales magros que se explotan en España presentan una elevada velocidad de crecimiento hasta los 90-100 Kg de peso vivo, que prácticamente su representación gráfica es casi lineal como se muestra en la figura 3.

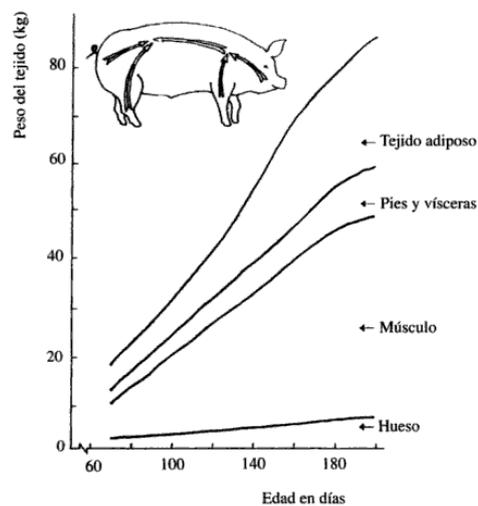
Figura 3: Curva típica de crecimiento de los cerdos en intensivo.



Fuente: Buxadé (1995).

Pero cada parte corporal presenta una **curva de crecimiento** que difiere de las otras, lo que determina que el organismo sufra cambios continuos en su composición, que se ven reflejados en su conformación externa (crecimiento diferencial). A modo de ejemplo, los huesos de las extremidades crecen más deprisa que el resto de componentes corporales, el tejido muscular presenta un desarrollo más temprano que el tejido adiposo, etc., provocando modificaciones de las proporciones morfológicas del animal a lo largo de su vida (Figura 4).

Figura 4: Crecimiento diferencial de los tejidos y gradiente de crecimiento.



Fuente: Buxadé (1995).

Conforme aumenta el peso del cerdo, la eficacia para la deposición de proteína disminuye; sin embargo, la deposición de lípidos es cada vez más eficiente. En este sentido, conforme aumenta el peso vivo aumenta la deposición energética en forma de lípidos, consecuentemente los animales son mas grasos conforme aumenta su edad (Le Goff y Noblet, 2001). En un periodo total de cebo de 16 semanas (20-110 kg), la deposición de proteína va aumentando progresivamente hasta las 7-9 semanas (55-70 kg) de la fase de crecimiento. La proteína retenida sería aproximadamente constante durante las semanas 10-13 y descendería después durante la segunda mitad de la fase de acabado (14 semanas y alrededor de 90 kg de peso vivo). La tasa de proteína depositada y por tanto las necesidades disminuyen en proporción al inicio del periodo de crecimiento y disminuyen a medida que la retención de proteína disminuye (Van der Peet et al., 1999).

En un estudio realizado por Smith et al. (1996) observaron que una vez que se alcanza el nivel máximo de deposición proteica, a los 60-70 kg de peso vivo, esta disminuye rápidamente mientras que la deposición de lípidos se incrementa de manera muy rápida. La consecuencia es que a partir de ese momento se produce una disminución del crecimiento más o menos marcada, que contrasta con la opinión tradicional que consiste en creer que el crecimiento aumenta progresivamente hasta el peso del sacrificio.

Además de la genética y el sexo, otros factores como la alimentación y el manejo pueden modificar estas curvas de crecimiento y deposición. Por ejemplo, en dietas con baja cantidad de proteína o no utilizando aminoácidos ideales, los animales no tendrán un crecimiento óptimo y el nivel de engrasamiento al final de cebo será mayor. A lo largo del crecimiento los animales se esfuerzan por mantener un equilibrio entre la deposición de proteína y de lípidos. En la mayor parte de los modelos que describen el crecimiento en cerdos, este fenómeno se ha incluido como una limitación que determina una ratio mínimo de deposición de lípidos relacionando proteínas o la relación de lípidos respecto a la masa de proteína. Sin embargo, la restricción energética puede cambiar la partición de energía. Una imposición de la reducción de la ingesta de energía puede reducir tanto la deposición de proteína como la deposición de lípidos, pero la última resulta más afectada.

1.1.2.3 Sexo

Debido a las diferencias en velocidad de crecimiento y deposición de tejidos que se observan entre animales de diferente sexo (Lizaso, 1994) sus necesidades en energía y proteína también serán diferentes. En los sistemas de producción actuales, en especial aquellos que requieren pesos al sacrificio elevados como es la industria de curados, la castración de los machos para evitar la aparición del olor sexual en la carne es inevitable

(Diestre et al., 1990). Sin embargo, castrar a los machos tiene profundas repercusiones a nivel productivo, ya que, su comportamiento desde un punto de vista de la deposición de tejidos es diferente, y esto se debe tener en cuenta a la hora de establecer el programa nutricional y en la calidad de los productos finales.

En general, el **crecimiento** de los machos castrados (MC) es igual o ligeramente inferior que el de los machos enteros (ME) y mayor que el de las hembras (H) (Medel y Fuetetaja, 2000). El mayor crecimiento de los MC en relación a las hembras parece ser debido a una mayor ingesta voluntaria de pienso (Cisneros et al., 1996). El consumo voluntario de pienso ejerce un efecto importante sobre la composición de los piensos, ya que, éste debería estar en función del consumo esperado.

En cuanto a la eficiencia de conversión, varios estudios como el de Medel y Fuetetaja (2000) indican que el **índice de transformación** de los MC es peor que el de las H y éste a su vez peor que el de los ME, por lo que la castración empeoraría la eficiencia de transformación del alimento, probablemente por el mayor depósito de grasa. En cuanto a la composición tisular, los ME tienen un mayor porcentaje de magro, un menor espesor de grasa dorsal y un menor contenido de GIM que los MC, mostrando las H un comportamiento intermedio (Weatherup, 1998). De media, el aumento en espesor de grasa dorsal en los MC respecto a las H se sitúa entre 1 y 3 mm. Estas diferencias se mantienen en la grasa intramuscular, pero la magnitud de la diferencia es inferior (Barton-Gade, 1988).

En un estudio realizado por Kanis et al. (1990) se comparó el efecto del sexo con machos castrados y hembras sobre ganancia media diaria (GMD), consumo medio diario (CMD) e índice de conversión en animales de 60 a 140 kg y observaron que el crecimiento e índice de conversión entre machos castrados y hembras variaba entre 3 y 7%.

En definitiva, debido a que el tipo genético es capaz de influenciar el crecimiento y las curvas de deposición, el conocimiento del tipo de animal empleado es necesario a la hora de diseñar un programa de alimentación adecuado.

1.1.2.4. Edad/peso sacrificio

La edad y el peso al sacrificio de los animales dependerán del **sistema de producción** al que hagamos referencia. Si hablamos de un sistema convencional cuyo principal producto es la carne comercializada en fresco, el peso al sacrificio suele estar entre 100-110 kg. Sin embargo, cuando hablamos de animales de genética específica destinados a productos curados y derivados, este sistema de producción requiere sacrificios a pesos más elevados (120-130 kg).

Generalmente, **altos pesos de sacrificio** implican una reducción en la eficiencia de transformación del alimento, debido a un aumento de grasa a partir de los 100 kg PV. Sin embargo, el aumento de grasa dorsal no tiene un reflejo claro sobre el contenido de GIM, al menos, en el rango de peso entre 100 y 125 kg (Weatherup et al., 1998), siendo este parámetro influenciado más directamente tanto por el sexo (MC>H>ME) y el perfil genético como ya hemos visto anteriormente.

Tradicionalmente, en animales de elevado peso al sacrificio tienen una restricción de pienso y nutrientes al final del periodo de crecimiento para limitar la deposición grasa, teniendo gran importancia en los sistemas de producción que desean una baja deposición grasa. Sin embargo, la alimentación *ad libitum* durante este periodo parece que mejora la calidad de la carne (aumenta la jugosidad, terneza y aceptación y disminuye la fuerza al corte), optimiza el crecimiento y la deposición de magro, pero se obtienen peores índices de conversión y canales más grasas (Ellis et al., 1996). Sin embargo, en las genéticas magras actuales la tasa de deposición de magro de 45-120 kg alcanza un máximo y luego esta curva es relativamente plana (McCracken, 1993), por lo que al aumentar el peso de sacrificio en genéticas actuales, existe un mayor aprovechamiento del potencial de deposición magra de los animales.

Por tanto, el aumento del peso de sacrificio hasta 120 kg PV en la actualidad tiene dos efectos: aumento de la deposición de magro y aumento del contenido graso de la canal, ya que, el excesivo contenido magro de las canales es un problema en la actualidad en relación a la calidad de la carne (Gispert et al., 1992).

A parte de tener unas necesidades diferentes al final del crecimiento, el engorde de cerdos hasta pesos elevados supone una desventaja en cuanto al número de ciclos/año en los cebaderos, y por tanto, los períodos de vacío sanitario. Por otro lado, la repercusión económica de las bajas en el período de 100-120 kg es altísima, pues los animales tienen un mayor valor. Se necesita una menor densidad animal en la última fase, por lo que si no se hacen retiradas parciales se desaprovecha en parte el espacio de las naves en el período de crecimiento. Otro reto a superar es la posible depreciación económica de las piezas de cerdos de elevado peso en matadero, tanto por su tamaño como por su contenido graso en el consumo en fresco. Otro factor a tener en cuenta es la aparición del ciclo en las hembras a partir de 105- 110 kg si éstas no son castradas, ya que, este hecho disminuye el crecimiento de las mismas y de la media del lote (Cisneros et al., 1996).

Por tanto, la decisión de elevar el peso a sacrificio es una decisión que debe ser condicionada al producto que se quiera obtener y a la relación de incremento de costes e ingresos en las condiciones particulares de cada empresa.

1.1.2.5. Condiciones ambientales y de manejo (temperatura, humedad y densidad)

El ambiente de producción en el cerdo es un aspecto importante a tener en cuenta en las necesidades. Algunas variables de criterios ambientales pueden ser fácilmente cuantificadas (temperatura, humedad y espacio) mientras que variables como el estrés y el estatus sanitario pueden ser más difíciles de medir.

Los cerdos alcanzan su máxima productividad dentro de un cierto rango de temperaturas conocido como zona termoneutra o **zona de confort térmico**, y las temperaturas que lo delimitan se conocen como temperaturas críticas superior e inferior (TCS y TCI). Para cerdos en crecimiento este rango oscila entre 11 y 32° C, en función de los distintos factores que afectan a las TCS y TCI (peso, espesor de grasa subcutánea, nivel de alimentación, genética, humedad, velocidad del aire, superficie de piel mojada, tipo de suelo, alojamiento individual o en grupo) (Santomá y Pontes, 2004).

Las temperaturas por encima de la **TCS** producen una disminución del consumo de pienso, que será más elevada cuanto más elevada sea la temperatura (Collin et al., 2001). Como consecuencia se reduce la ingestión de nutrientes y con ello disminuye la velocidad de crecimiento y empeora el índice de conversión (Santomá y Pontes, 2004). En general, los animales de más peso son más sensibles a las temperaturas superiores que los animales más jóvenes, de modo que los rendimientos en éstos empeoran más (Santomá y Pontes, 2004). La temperatura también influye sobre la composición corporal, el cambio principal es el aumento proporcional del contenido de grasa de la canal, especialmente en la grasa cavitaria, más que en la capa subcutánea y más evidente a partir de los 50 kg de peso.

Altas **humedades relativas** junto a elevadas temperaturas disminuyen la capacidad de los animales de disipar su producción de calor y en consecuencia las producciones animales se resienten.

También bajas temperaturas junto con altas **velocidades de aire** pueden crear temperaturas efectivas bajas, que perjudican los rendimientos productivos al influir sobre las necesidades y recomendaciones nutricionales. Según Close (1989), un cambio en la velocidad del aire de 0,2 m/s equivale a un cambio de la temperatura efectiva de 1° C; y el efecto de la humedad relativa es mayor cuanto mayor es la temperatura ambiental y lo sitúa en 1° C de mayor temperatura efectiva por cada 15% de aumento de la humedad relativa.

La **densidad de alojamiento**, legislada según el RD 1135/2002, también tiene un efecto en los rendimientos de los cerdos. Una densidad menor de 0,6 - 0,7 m² por cerdo cebado provocará un menor consumo de pienso y menor ganancia de peso (Nyachoti et al., 2004). Además, la reducción del espacio de comedero de 42,5 a 32,5

mm por cerdo reduce el consumo de pienso desde 1,56 a 1,44 kg/día (Nyachoti et al., 2004).

1.2 EFECTO DEL PROGRAMA DE ALIMENTACIÓN SOBRE LA EXCRECIÓN DE NITRÓGENO Y LAS EMISIONES DE AMONIACO

1.2.1 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA GANADERÍA

En los últimos años, el desarrollo y la intensificación de la ganadería, ha dado lugar a un aumento de la **problemática medioambiental** ligada a la actividad ganadera en las regiones de mayor producción intensiva como son Cataluña, Aragón y Castilla y León y en las zonas donde el crecimiento ha sido desordenado.

Los principales efectos medioambientales de las explotaciones porcinas intensivas están relacionados con la **producción y gestión inadecuada de purín**. La producción de purín en España es muy elevada (entre 40 y 50 millones de toneladas al año, según la Asociación de Empresas para el Desimpacto Ambiental de los Purinas, ADAP, 2008) y genera gran cantidad de subproductos, residuos y emisiones de gases contaminantes.

Los purines porcinos se han utilizado tradicionalmente como fertilizantes agrícolas su contenido en nitrógeno y fósforo lo convierten en un buen fertilizante orgánico. El nitrógeno y el fósforo, al entrar en contacto con el suelo se transforman en nitratos y fosfatos. Sin embargo, la tierra tiene una capacidad limitada para absorber estos nutrientes, con lo que pueden generarse problemas de **sobrefertilización** de las tierras con graves consecuencias medioambientales: la contaminación de suelos por fosfatos y/o nitratos, la contaminación de las aguas superficiales por fosfatos (eutrofización), las emisiones de amoníaco a la atmósfera y la contaminación de aguas subterráneas por nitratos.

A efectos medioambientales el purín se caracteriza principalmente por tener un alto contenido en materia orgánica además de cantidades importantes de algunos macronutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio y de metales pesados como el Zn y el Cu que son cada vez más importantes en la alimentación de cerdos. También se caracteriza por generar fácilmente compuestos volatilizables (amonio) y gases como el amoniaco y los denominados de efecto invernadero (vapor de agua, dióxido de carbono, metano y óxido nitroso).

El impacto ambiental producido por el purín se pueden dividir en tres categorías: acumulo de nutrientes en el suelo, en los recursos hídricos y la contaminación del aire (Broz, 2008).

A nivel del **suelo**, al abonar con purín excesivamente nitrogenado, el amoníaco presente se oxida y se transforma en nitrato que fácilmente se mueve por el perfil del terreno acidificando el suelo (Piñeiro y Montalvo, 2005). Todo aquello que no es absorbido por el cultivo es susceptible de filtrarse y producir la contaminación y acidificación de las **aguas subterráneas**. Además, cuando se aplica como fertilizante, los metales pesados presentes en el purín suponen un riesgo potencial debido a su carácter acumulativo en el medio, produciendo efectos a largo plazo sobre microorganismos del suelo y plantas.

Los vertidos directos o indirectos de purín al curso de las **aguas superficiales** están totalmente prohibidos por el riesgo de eutrofización (enriquecimiento excesivo de nutrientes en el agua con la consecuente aparición de grandes cantidades de materia orgánica cuya descomposición origina un descenso del nivel de oxígeno) (Coma y Bonet, 2004). Para evitar problemas de lixiviados que pudieran producirse tras la aplicación de los purines al terreno, deberán respetarse los perímetros de protección.

En cuanto a la contaminación del **aire**, la mayoría de los gases producidos por la ganadería se generan como consecuencia de procesos naturales como el metabolismo animal (fermentación entérica) y la degradación de los purines. Su emisión depende de diferentes factores como el diseño y mantenimiento de las instalaciones y la gestión que se realice durante los procesos de almacenamiento, tratamiento y reutilización agrícola de los purines (Guía de las MTDs del sector porcino, 2006). Además, el purín a nivel ambiental es también responsable de la mayoría de problemas locales del olor y el polvo en zonas altamente productoras.

A continuación, se muestra una tabla resumen de los principales factores que afectan a la emisión de gases (amoníaco, metano, óxido nitroso, dióxido de carbono) en las explotaciones y a la producción de otros elementos nocivos como los olores y el polvo (Tabla 5).

Tabla 5: Principales emisiones al aire.

Emisiones al aire	Punto de producción
Amoníaco	Alojamientos animales, almacenamiento y aplicación en campo
Metano	Alojamientos animales, almacenamiento y tratamiento del purín
Óxido nitroso	Almacenamiento y aplicación de purín
Dióxido de carbono	Alojamientos animales, energía usada como calefacción y transporte
Olor	Alojamientos animales, almacenamiento y aplicación en campo
Polvo	Preparación y almacenamiento del pienso, alojamientos animales y almacenamiento y aplicación de purín sólido.

Fuente: Guía de mejores técnicas disponibles en el sector porcino (2006).

Así en global, el potencial contaminante del purín depende de diversos factores como son el animal, el tipo de explotación (diseño de alojamiento), la alimentación, el sistema de gestión, recogida y almacenamiento de deyecciones y el clima.

En cuanto al **animal** y el **tipo de explotación**, la producción de purín dependerá, como muestra la tabla 6, de la fase productiva de cada animal.

Tabla 6: Producción y composición del purín en diferentes fases productivas de los animales.

	Producción (l/día)	N Total (kg/m ³)	N Amoniacal (kg/m ³)
Cebo	4.78	7.3	3.8
Gestación	11.41	3.8	2.5
Lactación	15.38	4	2.9
Transición	1.61	5.3	2.7
Ciclo cerrado	17.75	4.9	2.9

Fuente: Batot et al. (2004).

En cuanto a la **alimentación**, la cantidad y la composición de pienso que se aporta a los cerdos es un factor muy importante que afecta a las características del purín (composición química y estructura física) y a su poder contaminante. La concentración de nutrientes en las deyecciones y, por tanto, las emisiones potenciales de una granja, están principalmente relacionadas con la concentración de nutrientes en el alimento y la capacidad que tengan los animales para aprovecharlos (Piñeiro y Montalvo, 2005; Den Hartog y Sijtsma, 2007). Cuanto más eficientemente utilicen los animales los nutrientes de los alimentos, menor será la carga de elementos como el nitrógeno y fósforo eliminados con las deyecciones. El potencial contaminante de estos elementos se discutirá más profundamente en el apartado 1.2.2 (Excreción de nitrógeno y emisiones de amoníaco).

Generalmente, para asegurar que las necesidades animales quedan cubiertas, en la formulación del pienso se tiende a suministrar nutrientes en exceso, aplicando un margen de seguridad. Por lo tanto, es necesario ajustar tanto como sea posible el aporte de nutrientes a las necesidades reales de los animales teniendo en cuenta la genética, edad, sexo o sistema de alojamiento para minimizar su efecto a nivel medioambiental.

Otro factor que puede influir en las características del purín y su potencial contaminante es el **sistema de alojamiento** de los animales, es decir, el tipo de suelo, el tipo de comederos-bebederos, el sistema de ventilación, etc. A nivel medioambiental, el impacto más importante que se deriva del sistema de alojamiento de los animales es la emisión de gases nocivos. A modo de ejemplo, el tipo de suelo tiene un efecto importante sobre las emisiones de amoníaco (Piñeiro y Montalvo, 2005). Según la Guía

de MTD del Sector Porcino (2006) y los estudios realizados por Piñeiro y Montalvo (2005), las emisiones de amoníaco son menores cuanto menor es la superficie de suelo enrejillado y de foso, al reducir la superficie de intercambio y de emisión. Sin embargo, es muy importante encontrar un equilibrio entre el porcentaje de suelo continuo y enrejillado, ya que, una reducción excesiva del suelo enrejillado puede originar una concentración de deyecciones en la zona sin rejilla y aumentar notablemente las emisiones. Además, las temperaturas elevadas, la densidad animal o la mala disposición de los comederos pueden estimular que los animales utilicen la zona no enrejillada como zona sucia, depositando allí las deyecciones y potenciando las emisiones (Guía de MTD del Sector Porcino, 2006).

También en los sistemas de alojamiento sobre cama de paja, si ésta no se renueva frecuentemente incrementan las emisiones de amoníaco, ya que, el uso de cama aumenta notablemente la superficie de emisión. Por otra parte, el volteo constante de la cama por los animales favorece también el incremento de las emisiones (Guía de MTD del Sector Porcino, 2006).

Además del diseño del alojamiento, el **sistema de gestión, recogida y almacenamiento de deyecciones** utilizado ejerce un efecto importante sobre las emisiones de gases a la atmósfera. El almacenamiento de purín es una fuente de emisión de amoníaco, metano y otros gases que provocan malos olores y problemas a nivel local. Por ejemplo, la frecuencia de retirada del purín y si el sistema de almacenamiento exterior se realiza en balsas con o sin cubierta son factores muy importantes a la hora de tener en cuenta el potencial contaminante del purín. En este sentido, cuanto mayor sea la frecuencia de retirada de purín hacia el exterior, menores serán las emisiones producidas en el interior de los alojamientos (Aarnink, 1997). Así mismo, el almacenamiento del purín en balsas tapadas contribuye a disminuir las emisiones de gases al ambiente.

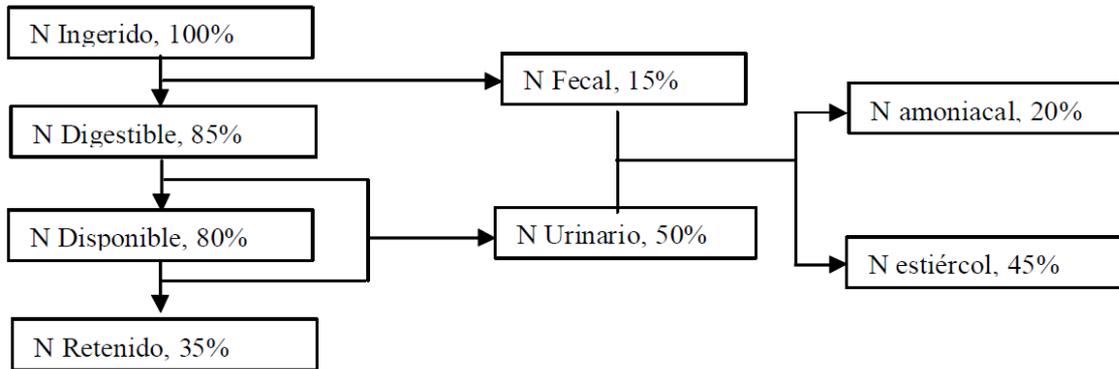
1.2.2 EXCRECIÓN DE NITRÓGENO Y EMISIONES DE AMONIACO: INFLUENCIA DE LA NUTRICIÓN

Dada la incidencia del **nitrógeno** como contaminante sobre el medioambiente y la sanidad de los animales, es importante conocer el flujo de nitrógeno en ganadería y los factores susceptibles de modificar este flujo.

La figura 5 muestra el flujo de nitrógeno en el cerdo (Ferket et al., 2002), del total de nitrógeno suministrado en forma de proteína, péptidos o aminoácidos a la dieta, únicamente entre un 20 y un 40% es retenido por el animal. La eficacia con que los animales usan los nutrientes ingeridos para su retención corporal es generalmente baja, aunque esta retención depende de muchos factores como el nivel de proteína bruta en el pienso, su digestibilidad, su valor biológico, las interacciones con otros nutrientes, el

estado productivo, los rendimientos, el estrés fisiológico y la capacidad de almacenamiento.

Figura 5: Flujo de nitrógeno en cerdos.

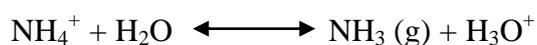
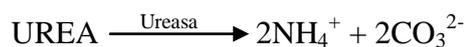


Fuente: Ferket et al. (2002).

El nitrógeno ingerido se elimina por dos rutas, mayoritariamente como urea a través de la orina (50%), o como péptidos y aminoácidos a través de las heces (15%).

Los efectos del nitrógeno sobre el medio ambiente son básicamente debidos a la acción del **amoníaco** en la atmósfera, a la contaminación de aguas por exceso de nitratos o bien por el efecto residual que tiene en el suelo (Coma y Bonet, 2004). En las granjas de porcino, el amoníaco es el gas más común y provoca distintos efectos negativos sobre los animales (ISU, 2002) como irritación de ojos, garganta y mucosas, empeoramiento de la productividad y el bienestar animal, disminución de la resistencia a enfermedades.

El amoníaco procede de la descomposición de la urea que contiene la orina. Este proceso de descomposición ocurre al ponerse en contacto la orina con la ureasa de las heces. Por ello, las emisiones se dan de forma continua desde que se genera el purín y a lo largo de los procesos de recogida, almacenamiento y aplicación agrícola (Piñeiro et al. 2008).



Una vez el amoníaco es emitido a la atmósfera, puede tener una deposición seca (cercana) o húmeda (lejana) en suelos y plantas, pudiendo causar los ya mencionados procesos de eutrofización y acidificación.

En España el sector agrícola es la mayor fuente de emisiones de amoníaco a la atmósfera (91% del total, según MAPA, 2006).

Los principales factores que afectan a la emisión de amoníaco en una granja son el porcentaje de proteína del pienso, la edad del cerdo, la densidad animal, el tipo de cama, la temperatura del purín, la temperatura ambiente, ventilación, pH del purín, su contenido en amonio y la superficie de contacto purín-aire en el almacenamiento.

La Tabla 7 muestra la estimación de la emisión de amoníaco a nivel de la nave, fosa exterior y volatilización en abonado, dependiendo de la edad, peso y fase productiva.

Tabla 7: Estimaciones de amoníaco en kg N-NH₃ (plaza/año) de explotaciones porcinas españolas.

	Granja	Almacenamiento exterior	Volatilización abonado
Lechones de 6-20 kg	0.4194	0.2969	0.1780
Cerdos de 20-100 kg	2.5623	1.8137	1.0877
Madres y lechones hasta 20 kg	6.3579	4.5004	2.6989
Cerdas de ciclo cerrado	20.3442	14.4007	8.6361

Fuente: MAPA (2008).

Debido a todos los problemas descritos con anterioridad, uno de los objetivos comunitarios es una reducción de la excreción de nitrógeno para conseguir así **disminuir las emisiones de amoníaco** producidas. En este sentido, la directiva EU 2001/81/EC (EU, 2001) con respecto a los contaminantes atmosféricos tiene como objetivo una reducción sustancial de las emisiones de amoníaco en los estados miembros.

Para ello, además de estrategias como optimizar las instalaciones y las técnicas de almacenamiento, también hay posibilidades de reducir las emisiones de amoníaco procedentes de la producción porcina mediante la nutrición.

En el caso de las emisiones de amoníaco, las **estrategias nutricionales** constituyen la medida preventiva más importante para reducir las emisiones de elementos contaminantes del purín, dado que su eficacia en la reducción de emisiones se

prolonga a lo largo de toda la cadena de producción. En la mayoría de casos son un conjunto de prácticas que actualmente ya se llevan a cabo por sus ventajas productivas.

Como estrategias nutricionales se entienden actuaciones tanto de manejo de la alimentación como aspectos de la formulación de las dietas.

En primer lugar, es importante, tal y como se ha comentado en apartados anteriores, **ajustar al máximo** los aportes de las dietas a las **necesidades reales** de los animales. En este sentido, autores como Bourdon et al. (1995), Van der Peet-Schwering et al. (1999), Dourmad et al. (1999) y Corpen (2003), señalan que un ajuste progresivo de los aportes nutritivos del pienso a las necesidades decrecientes en proteínas y aminoácidos de los cerdos de engorde permite reducir de forma significativa el consumo y excreción de ciertos nutrientes sin modificar los rendimientos.

Los **programas de alimentación por fases** son un ejemplo claro de estrategia nutricional para adecuar los aportes a las necesidades. En porcino, a medida que el animal crece, sus necesidades en proteínas y aminoácidos disminuyen. El objetivo de los programas de alimentación por fases es incrementar al máximo el número de fases (o piensos) utilizados en la fase de crecimiento para ajustar al máximo los aportes diarios de proteínas y minerales y reducir el número de animales que son alimentados con un exceso o defecto de nutrientes en cada fase. En la actualidad, la mayoría de empresas establecen programas de 3-4 piensos distintos durante el cebo.

Pomar et al. (2008), realizaron un estudio para evaluar los parámetros productivos y excreción de nitrógeno y fósforo en lechones utilizando 2 sistemas de alimentación por fases, un sistema de 3 fases y un sistema multifase diario. Al final de la prueba, la alimentación con precisión diaria redujo hasta un 12% la excreción de nitrógeno y casi un 2% la de fósforo, sin consecuencias significativas en los rendimientos.

Además del ajuste por edad, es conveniente ajustar según sexo y genética cuando esto sea posible.

Desde el punto de vista de **formulación** de los piensos, existen varias posibilidades de actuación para reducir la excreción de nitrógeno. Una de las más estudiadas, es la **reducción de la cantidad de proteína** del pienso. La formulación con dietas bajas en proteínas supone ajustar al máximo el contenido proteico del pienso a las necesidades del cada tipo de animal, reduciendo en el pienso las materias primas ricas en proteína bruta, como la harina de soja, con el fin de disminuir la proteína bruta total ingerida y la excreción de nitrógeno.

En general, una reducción del contenido en proteína bruta del pienso, disminuye la excreción de nitrógeno, pero también su retención (Torrallardona et al, 2003), y, con ello, el crecimiento. Para que los rendimientos productivos no disminuyan al reducir la proteína bruta, será necesario suplementar el pienso con **aminoácidos sintéticos** (lisina, metionina, triptófano y treonina) (Koch et al., 1991). Canh et al. (1998) han demostrado la posibilidad de reducir el contenido proteico de la dieta de cerdos en cebo (65-105 kg) desde 165 hasta 125 g/kg mediante el uso de aminoácidos libres, sin efectos negativos sobre los rendimientos.

Para estimar las necesidades de aminoácidos se desarrolló el concepto de proteína ideal, que expresa todos los aminoácidos esenciales como porcentaje de la lisina así, es posible formular una proteína ideal sin haber establecido independientemente las necesidades de cada aminoácido.

A parte de mantener el equilibrio de aminoácidos en función de la proteína ideal, es importante ajustar la ratio energía:proteína o energía:lisina de las dietas de manera que el contenido en energía de las dietas no ejerza como limitante en la retención de la proteína y aminoácidos. Los cerdos pueden aumentar o disminuir su consumo de pienso en función de la energía que contenga su dieta.

A efectos de **composición de purín y emisiones de amoniaco**, en los estudios realizados por Cahn et al. (1998), observaron que al reducir el contenido proteico de la dieta, ésta afecta a la composición del purín y se reduce el contenido total de nitrógeno, el nitrógeno amoniacal, el pH, la ingesta de agua y el volumen de purín producido. En otro ensayo paralelo que realizaron de balance, se encontró que la excreción de nitrógeno en la orina se reducía un 45% en la dieta con menor contenido en proteína, mientras que la retención neta de nitrógeno no varió entre dietas. Además, la emisión de amoniaco del purín se redujo un 23 y un 40% en las dietas con 145 y 125 g/kg de proteína, respectivamente, con respecto a la dieta con 165 g/kg de proteína.

Además, si se quiere contemplar un coste medioambiental para el nitrógeno del purín, conviene tener en cuenta otros factores como la **digestibilidad** de los ingredientes. Esto incluye, en primer lugar, el uso de una adecuada tecnología de fabricación como es la molienda fina y la granulación del pienso. En segundo lugar, la elección de materias primas con nutrientes más digestibles. Y en tercer lugar, la adición de aditivos al pienso con enzimas como las fitasas, que aumentan la digestibilidad del fósforo y disminuye su excreción y ácidos orgánicos, que acidifican el pienso y aumentar la digestibilidad de la proteína y los aminoácidos (den Hartog y Sijtsma, 2007).

Otra medida preventiva es que al disminuir el **pH** del purín también se puede reducir las emisiones de amoniaco entre un 5 y 20%. Esta disminución del pH debe

ocurrir en la orina del propio animal. Esto se puede conseguir al disminuir el balance electrolítico de la dieta, a través del uso de sales acidificantes (Canh et al., 1997, 1998. Mroz et al., 2000) o empleando ácidos orgánicos en el pienso como aditivos, como es el caso del ácido benzoico, que al metabolizarse en el hígado acidifica la orina (Broz, 2004). Den Brok et al. (1997) demostraron que la suplementación con ácido benzoico del pienso para acidificar la orina redujo las emisiones de amoníaco en un 40%. A diferencia de otros ácidos, éste no afecta a la retención de N, incluso a elevadas concentraciones (10 g/kg de pienso) que son necesarias para reducir las emisiones de amoníaco.

A todas estas estrategias nutricionales, habría que añadir los efectos en la inclusión de materias primas con elevadas cantidades de **fibra fácilmente fermentable**, como son pulpa de remolacha o pulpa de naranja. Aarnink et al. (2007), demuestran en una serie de trabajos, cómo la inclusión de este tipo de ingredientes es capaz, a través de su fermentación en el intestino grueso, de derivar en una mayor proporción de nitrógeno en heces y una disminución en orina. Al reducirse el nitrógeno de la orina, el potencial de emisiones de amoníaco en este purín se reduce.

A continuación, se muestra un cuadro resumen con el potencial de reducción de emisiones de amoníaco utilizando diversas de las técnicas comentadas anteriormente (Tabla 8).

Tabla 8: Impacto potencial de varias medidas nutricionales sobre el contenido en nitrógeno en las heces y orina de cerdo.

MEDIDAS	% REDUCCIÓN ESTIMADA N
Formulación ajustada a requerimientos	10-15
Alimentación en fases	10
Aminoácidos sintéticos y reducción de la proteína bruta del pienso	20-25
Materias primas altamente digestibles	5
Encimas degradadoras de NSP	5
Fitasa	20-25

Fuente: FEFANA (1992) y Kornegay (1998).

2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo son estudiar las consecuencias de un incremento de la cantidad de energía y lisina en el pienso de cerdos de cebo sobre:

- El **rendimiento productivo y composición corporal** de los animales en dos fases del crecimiento, de los 40 a los 60 kg y de los 60 a los 110 kg. En concreto, se estudian los efectos de la composición del pienso sobre el crecimiento, consumo de pienso y eficiencia de conversión y sobre la evolución de la grasa dorsal y la profundidad de lomo de los animales.
- El **balance de nitrógeno**, es decir, la excreción de nitrógeno en heces y orina y su retención con respecto a la ingestión de nitrógeno.
- Las **emisiones de amoníaco**, es decir, la cantidad de nitrógeno que pierde el purín de estos animales en forma de amoníaco y la evolución de la **composición química del purín** (sólidos totales y volátiles, nitrógeno y ácidos grasos volátiles) en un periodo de 11 días tras su recogida.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN E INSTALACIONES

Este trabajo se realizó en las instalaciones experimentales del Centro de Investigación y Tecnología Animal (CITA) del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), localizado en Segorbe (Castellón). En concreto, para la realización del estudio se utilizó la granja experimental de cerdos de cebo y los laboratorios del centro. Parte de los análisis laboratoriales se realizaron en los laboratorios del Departamento de Ciencia Animal de la Universidad Politécnica de Valencia.

Fotografía 1: Unidad de cebo experimental del CITA.



3.2 ANIMALES Y TRATAMIENTOS

El estudio realizado consta de 3 partes con fases experimentales bien diferenciadas. En primer lugar, se realizó un ensayo con el total de animales en el que se evaluaron parámetros **productivos**. En segundo lugar, una vez finalizada la prueba productiva se realizó un **balance de nitrógeno** con un subgrupo de animales. Y en tercer lugar, se realizó un **estudio de emisiones de amoníaco** procedentes del purín derivado del subgrupo de animales utilizados en el balance de nitrógeno. El diseño experimental de las diferentes partes se describe en este apartado de manera separada y cronológica.

Se utilizaron un total de 128 animales de cebo, 64 hembras y 64 machos enteros (LD x LW) x Pietrain de $42,0 \pm 7,44$ kg de peso vivo medio inicial que procedían de la granja experimental de madres del CITA. Los animales se alojaron en un total de 2 salas de cebo, ambas equipadas con un sistema de ventilación forzada. Las condiciones

ambientales de temperatura y ventilación a lo largo del estudio se regularon según la edad y peso de los animales en cada momento.

A su llegada a la nave de cebo, los animales fueron distribuidos según peso y sexo en 32 corrales (16 corrales/sala) de 4 animales por corral, con una densidad final de 1,1 m²/animal. Una vez distribuidos, los animales fueron asignados a 2 grupos de tratamiento alimentados con dos tipos de pienso:

- Pienso de baja densidad (LD)
- Pienso de alta densidad (HD)

El tratamiento consistió en administrar dos piensos con diferente concentración de **energía y lisina** durante todo el cebo tanto en la fase de crecimiento (de 40 a 60 kg) como en la de finalización (de 60 a 100 kg de peso). La tabla 9 muestra la composición en ingredientes y composición química de los diferentes piensos experimentales. La composición química de los piensos se analizó en laboratorio para materia seca, cenizas y nitrógeno Kjeldahl (AOAC, 2002).

Tabla 9: Ingredientes y composición química de los diferentes piensos experimentales.

	PIENSO ENGORDE		PIENSO FINALIZACIÓN	
	Baja densidad LD (Tratado)	Alta densidad HD (Blanco)	Baja densidad LD (Tratado)	Alta densidad HD (Blanco)
Ingredientes				
Cebada cervecera	19,435	19,466		
Trigo	34,435	30,5	47,454	45,041
Cilindro arroz	6	5,5	10,6	10,14
Glicerol-80	2	2	3,5	3,5
Haina zootécnica	12,5	12,3	16,5	16
Colza	6	6	8,5	8,2
Girasol	6	6,2	2,2	2
Soja (PB=47,5)	7,1	9,41	6,5	8,3
Manteca	3,3	5,4	1,8	3,8
Fitasa	0,02	0,02	0,02	0,02
Carbonato cálcico	1,087	1,08	1,169	1,169
Fosfato monocálcico	0,175	0,2		
Lisina líquida	0,774	0,735	0,65	0,7
Sal	0,263	0,25	0,222	0,222
Treonina	0,128	0,13	0,105	0,116
Corrector	0,5	0,5	0,5	0,5
Ácido líquido	0,2	0,2	0,2	0,2
Composición química				
ED, kcal/kg	3336,55	3434,426	3337,763	3437,039
PB, %	15,6393	16,3359	15,0812	15,4541
Lisina, %	1,0315	1,0644	0,9593	1,0154
Met+Cist, %	0,6390	0,6750	0,6312	0,6437
Treonina, %	0,6710	0,7029	0,6355	0,6613
EE, %	7,0449	8,9976	6,6044	8,4278

Fibra, %	5,3026	5,2915	4,9349	4,8161
Cenizas, %	4,8991	4,9538	5,0097	5,0014
Análisis composición				
MS, %	90,3	90,0	89,2	89,2
Cenizas, %	4,94	4,70	4,71	4,73
PB, %	15,13	15,4	14,8	15,1

Para la prueba productiva el periodo experimental tuvo una duración total de 69 días. Durante el periodo experimental, el pienso se administró en forma de *pellets* y *ad libitum* en tolvas convencionales de cebo. El agua fue suministrada *ad libitum*.

Al finalizar la prueba productiva, a los 69 días de estudio, se seleccionaron un total de 12 hembras (6/tratamiento) con un peso medio de $97,8 \pm 3,69$ kg para la realización de un balance de nitrógeno y un estudio de emisiones de gases a partir del purín. Estos animales fueron alojados individualmente en una tercera sala de la nave de cebo del CITA. Durante esta fase, el pienso se suministró en forma de *pellets* y *ad libitum* en tolvas de hormigón. El agua fue suministrada *ad libitum*. Durante los días que duró el balance de nitrógeno y el estudio de emisiones (11 días) el consumo de agua de los 12 animales seleccionados se controló mediante la instalación de contadores individuales en las corralinas.

Las siguientes tablas 10 y 11 muestran un esquema del periodo experimental del periodo productivo, del balance de nitrógeno y el estudio de emisiones realizado.

Tabla 10: Periodo experimental productivo.

DÍA	-5	0	1	14	15	27	28	41	42	57	58	68	69	70
ACTIVIDAD	Entran animales	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	MATADERO
PERIODO	ADAPTACIÓN	PRUEBA PRODUCTIVA											MATADERO	

Tabla 11: Periodo experimental de balance de nitrógeno y estudio de emisiones.

DÍA	0	10	11	12	13	16	17	18	19	20	21	32
ACTIVIDAD	Separación 12 animales	CI y P	RHO	RHO	RHO	CI y P	RHO	RHO	RHO	RHO	Comienza ME	Acaba ME
PERIODO	ADAPTACIÓN	BALANCE DE NITRÓGENO				ESTUDIO DE EMISIONES						

P: Peso

E: Ecografía

CI: Control ingestión

RHO: Recogida heces y orina

ME: Medición de emisiones

3.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.3.1 MEDIDAS Y TOMA DE MUESTRAS

3.3.1.1 Rendimiento productivo

Durante el periodo experimental se registró el peso individual de los animales y el consumo de pienso por corral mediante el control del rechazo los días 0, 14, 27, 41, 57 y 68 del periodo experimental (control quincenal) para calcular la ganancia media diaria de peso (GMD), el consumo medio diario de pienso (CMD) y el índice de transformación (IT).

Fotografía 2: Balanza de pesado de los cerdos.



Simultáneamente al control de peso, para controlar la evolución de las reservas corporales de los animales y la velocidad de deposición del tejido magro y graso según tratamiento y sexo se realizaron ecografías los días 1, 15, 28, 42, 58 y 69. Las ecografías se realizaron utilizando un equipo de ultrasonidos (Ecógrafo Agrosan A16, Angoulême, France) (Fotografía 4) y se midió la grasa dorsal (GD) y profundidad de lomo (PL) en el punto de medida P2, a nivel de la última costilla a 6,5 cm de la línea dorsal.

Fotografía 3: Medida de grasa dorsal y profundidad de lomo.



Fotografía 4: Ecógrafo.



Diariamente se tomó nota de los registros de temperaturas máximas y mínimas de cada sala.

3.3.1.2 Balance de nitrógeno

Una vez seleccionados los 12 animales para la realización del balance de nitrógeno, estos se sometieron a un periodo de adaptación de 11 días a las corralinas individuales y a los comederos (Fotografía 5). Tras este periodo de adaptación se realizó una recogida total de heces y orina durante 3 días consecutivos. Los animales se pesaron un día antes y un día después del periodo experimental y durante estos 3 días de recogida se controló la ingestión diaria de pienso y de agua mediante el peso diario del rechazo de pienso y agua (9:30h).

Fotografía 5: Corralinas de la sala de cebo en la que se realizó el periodo experimental.



Para recoger heces y orina por separado se utilizó una modificación de la metodología de las *velcro® bags* descrita por Van Kleef et al. (1994). La modificación consistió en introducir una segunda bolsa dentro de la "velcro bag" original, fijada a una altura media y parcialmente agujereada para que únicamente retenga las heces y la orina pase al fondo (Fotografía 6). La bolsa en la que se recogió la orina contenía una cantidad de 7,5 g de ácido cítrico con el fin de acidificar la orina inmediatamente y mantenerla a pH inferior a 5 para evitar pérdidas de nitrógeno amoniacal por volatilización. Tras recoger las muestras se comprobó que el pH de la orina era inferior a 5.

Fotografía 6: Detalle de la modificación de las “velcro bags” para separar heces de orina.



Fotografía 7: Cerda con la “velcro bag” modificada.



Durante los 3 días de recogida total, las bolsas se reemplazaron cada vez que el animal orinaba y/o defecaba y las muestras recogidas se almacenaron por separado. Dos veces al día (10:00 y 22:00h) se pesaba el total de orina y heces recogido de cada animal, se homogeneizaba y se obtenía una muestra representativa de unos 200 g de heces y 150 ml de orina que era congelada a -20 °C hasta su posterior análisis, tal y como describen Canh et al. (1998). Antes de congelar las muestras, el pH de las heces se midió directamente sobre las heces homogeneizadas (pH Meter Basic, Crison, España).

3.3.1.3 Estudio de emisiones de amoníaco

Para el estudio de las emisiones de amoníaco producidos por los purines, se utilizaron los mismos 12 animales seleccionados que para el balance de nitrógeno. Tras el periodo de 3 días de recogida de heces y orina para el balance de nitrógeno los animales se dejaron descansar 2 días. Tras estos 2 días de descanso los animales se pesaron y se volvieron a colocar las *velcro bags* durante 4 días consecutivos. En este caso, el objetivo era recoger el total de de orina y heces producidas de manera conjunta (purín) y para ello se utilizaron las *velcro® bags* originales (Fotografía 9) que consistían en una única bolsa sujeta al animal mediante un sistema de velcro adhesivo. En este caso las bolsas no contenían ácido cítrico y el purín (orina + heces) de cada animal se fue depositando en bidones de 10 L. Al igual que en el balance de nitrógeno, el consumo de pienso y agua se controló diariamente mediante el peso del rechazo de pienso y agua.

Fotografía 8: Detalle de la colocación de la “velcro bag” en una cerda.



Fotografía 9: Cerda con la “velcro bag” original colocada.



Dos veces al día, al final de cada ciclo de 12 horas, se pesó la cantidad de purín producida de cada animal y se homogeneizó agitando el contenido de los bidones. A continuación, se vertió el contenido de los 6 bidones de un mismo tratamiento (siempre que se hubiera conseguido una buena recogida de purín de los mismos) en un bidón de 30 L para realizar un pool de purín por tratamiento.

Una vez realizado el pool, el purín se repartió en 6 bidones de 30 L (3bidones/tratamiento = 3 réplicas/tratamiento) que se utilizaron posteriormente para medir las emisiones de amoníaco. Esta misma operación de llenado se repitió cada 12 horas (en cada recogida) durante los 4 días de recogida, es decir, un total de 8 veces, simulando un llenado parcial de fosa. La cantidad de purín introducida en cada bidón por llenado fue la misma en ambos tratamientos. También se procuró que en cada llenado las cantidades añadidas fueran similares que en los anteriores.

Las emisiones de amoníaco (NH_3) producidos por los purines se empezaron a medir al final de los 4 días de recogida total de purines mediante un equipo de detección fotoacústico por infrarrojos (INNOVA moel 1412 photoacoustic field gas monitor. Airt Tech Instruments, Ballerup. Denmark) (Fotografía 10). Para ello, se insertó un sensor de medición de gases dentro de cada bidón y 2 sensores se utilizaron de blancos para medir concentración ambiental de cada gas. Cada uno de los 6 bidones estaba, a su vez, conectado a una bomba de impulsión que forzaba un caudal de aire de salida conocido (entre 2,998 y 2,103 ml/min) (Fotografía 11). Durante los 4 días de recogida, los bidones permanecieron herméticamente cerrados y en cada carga se abrían momentáneamente para adicionar la cantidad de purín correspondiente.

Fotografía 10: Equipo de medición de gases INNOVA.



Fotografía 11: Bidones de purín conectados al equipo de medición de gases y a la bomba de impulsión.



Una vez transcurridos los 4 días de toma de muestras y carga de purín en los bidones, se añadió 1,1 L de agua (8%) a cada bidón y se cerraron durante 11 días consecutivos en los que se realizaron las mediciones de gases. Al final de los 4 días de recogida (muestra inicial) y tras los 11 días de medición en continuo (muestra final) se tomaron muestras del purín tras homogeneizar el contenido de cada bidón.

Las concentraciones de amoníaco en las emisiones se calcularon según la fórmula:

$$E = Q \times (C_s - C_e)$$

- E: emisión de amoniaco (mg/h)
- Q: caudal de la bomba (m³/h)
- Cs: concentración de amoniaco a la salida de los bidones (mg/m³)
- Cs: concentración exterior de amoniaco (mg/m³)

Durante todo momento se registró la temperatura del purín de cada bidón, así como la temperatura ambiente y humedad relativa mediante *HOBO® U12-013* (Onset Computer Comportation, Massachusetts, USA).

3.3.2 ANÁLISIS QUÍMICOS

Los analisis químicos de las muestras recogidas se realizaron en los laboratorios del CITA y en los del Departamento de Ciencia Animal de la UPV.

3.3.2.1 Balance de nitrógeno

a) Heces

Las muestras de heces recogidas se analizaron para:

- Materia seca (MS):

La MS original de las muestras se determinó por duplicado; las muestras se deshidrataron en una estufa de aire a 105 °C durante 24 horas hasta peso constante (AOAC,1995). A continuación, las muestras se molieron en un molinillo rotativo. El porcentaje de MS se calculó de la siguiente manera:

$$MS (\%) = \frac{\text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra}} \times 100$$

- Cenizas (Cz):

A partir de la MS molida, las muestras se incineraron en un horno mufla a 550 °C durante 5 horas hasta conseguir cenizas blancas a peso constante (AOAC, 1995). El porcentaje de Cz y materia orgánica (MO) de las muestras se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ Cenizas } (\%MS) = \frac{\text{Peso cenizas}}{\frac{\text{Peso muestra} \times MS}{100}} \times 100$$

$$\text{Materia Orgánica (\%MS)} = 100 - \% \text{ Cenizas (\%MS)}$$

- Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK):

El método de determinación del NTK sirve para determinar el contenido en nitrógeno orgánico y amoniacal de las muestras. El proceso de determinación del NTK se basa en una digestión previa de las muestras seguida de una destilación.

En la digestión, la muestra se digiere hasta disolución y oxidación de la muestra mediante una ebullición en ácido sulfúrico (96%) y la adición de un catalizador (Cu) y agua oxigenada para acelerar la reacción. El nitrógeno contenido en la muestra se convierte en Amonio Sulfato. En la destilación, se añade un exceso de solución de hidróxido sódico (40%) y el ion amonio es liberado en forma de amoniaco, destilado por arrastre de vapor y recogido sobre una solución de ácido bórico y valorado por titulación con ácido clorhídrico 0,1N. El resultado se expresa en ml de HCl empleados en la valoración del amoniaco de la muestra. El cálculo del total de N de la muestra se realiza de la siguiente manera:

$$\%N (\%MS) = \frac{\text{ml HCl gastados en la valoración muestra} \times 0,14}{\frac{\text{Peso muestra} \times MS}{100}}$$

En nuestro caso, las muestras se digirieron en un equipo 2020 Digestor (Foss Tecator, Dinamarca) durante 1 hora y se destilaron utilizando un equipo Kjeltec 2300 (Foss Tecator, Dinamarca) (Fotografía 12).

Fotografía 12: Equipo para la determinación de Nitrógeno Total Kjeldahl.



La proteína bruta se define como el contenido en NTK multiplicado por el factor 6,25. El método supone que todo el nitrógeno medido procede de las proteínas y que estas contienen por término medio un 16% de nitrógeno en su molécula, de ahí emplear el factor 6,25 para transformar el nitrógeno en proteína.

$$\%PB (\%MS) = \%N \times 6,25$$

b) Orina

Las muestras de orina se analizaron para:

- Nitrógeno amoniacal (NA):

Para determinar el contenido en NA de la de orina, las muestras se alcalinizaron y se destilaron directamente con la unidad de destilación Kjeltex 2300 (Foss Tecator, Dinamarca) (AOAC, 2002). Posteriormente, la valoración se llevó a cabo con ácido clorhídrico 0,01N. El cálculo del NA se realizó de la siguiente manera:

$$mg \text{ NH}_3/l = \frac{ml \text{ HCl valoración} \times 0,01 \times \text{factor HCl } 0,01 \text{ N} \times 17,03 \times 1000}{\text{Volumen muestra en ml}}$$

- Nitrógeno Total Kjeldhal (NTK):

La determinación del NTK en orina se realizó de manera idéntica a la de las heces. En este caso se utilizaron un total de 2 ml de muestra de orina.

3.3.2.2 Estudio de emisiones de gases

Las muestras de purín (heces y orina) de los 6 bidones (3/tratamiento) preparados para el estudio de las emisiones tomadas al final de los 4 días de recogida (inicial) y tras los 11 días de medición en continuo (final) se analizaron para MS, Cz, NTK según AOAC (1995; 2002) y ácidos grasos volátiles (AGV) siguiendo el método descrito por Jouany (1982).

La determinación de la concentración de AGV del purín se realizó mediante cromatografía de gases.

A continuación, la tabla 12 resume el tipo de análisis realizado en cada muestra y la metodología utilizada.

Tabla 12: Análisis y metodología empleada en los análisis laboratoriales.

Procedimiento experimental	Muestra	Análisis	Método
Balance de Nitrógeno	Heces	Materia Seca	AOAC,1995
		Cenizas	AOAC,1995
		N Kjeldahl	AOAC, 2002
	Orina	N Amoniacal	AOAC, 2002
		N Kjeldahl	AOAC, 2002
Estudio de emisiones	Purín	Materia Seca	AOAC, 1995
		Cenizas	AOAC,1995
		N Kjeldahl	AOAC, 2002
		Ácidos Grasos Volátiles	Jouany, 1982

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el paquete estadístico SAS 9.0 System® Software (SAS Inst. Inc., Cary, NC).

Los resultados globales de rendimientos productivos y reservas corporales se analizaron mediante un ANOVA de dos vías (PROC GLM de SAS) en el que los efectos principales considerados fueron el tratamiento y el sexo. También se analizó la interacción tratamiento*sexo. El peso medio de los animales al final del periodo experimental fue corregido mediante covarianza por el peso medio al inicio del experimento. Los resultados entre tratamientos fueron comparados mediante el test de comparación de medias Tukey.

La evolución del peso, reservas corporales (GD y PL) de los animales a lo largo del estudio se analizó mediante un análisis de medidas repetidas (PROC MIXED de SAS) donde el animal se comportó como unidad experimental y el tratamiento y el sexo fueron los dos efectos principales estudiados. En este caso se analizó también la interacción tratamiento*sexo*medida.

El consumo de agua y pienso durante el balance de nitrógeno, así como los resultados del balance de N y de la composición química del purín se analizaron mediante un procedimiento GLM de SAS. Los resultados entre tratamientos fueron comparados mediante el test de comparación de medias Tukey.

Para el análisis de la evolución de las emisiones de amoníaco a lo largo de los 12 días estudiados se utilizó un análisis de medidas repetidas (PROC MIXED de SAS)

donde el bidón de purín se comportó como unidad experimental y el tratamiento fue el efecto principal estudiado.

El nivel de significación considerado para todos los efectos fue del 5% (0,05). Un nivel de significación del 10% (0,10) fue considerado tendencia estadística.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS Y COMPOSICIÓN CORPORAL

Durante el estudio no se produjeron bajas en ninguno de los tratamientos ni tampoco se observaron signos de enfermedad. Es importante destacar que el estudio tuvo lugar entre los meses de julio y septiembre y que la temperatura media registrada fue de 24,1 °C, siendo la máxima 34,9 °C y la mínima 15,8 °C. Debido a la influencia de la temperatura ambiental en los rendimientos productivos (Santomá y Pontes, 2004) es importante tener en cuenta que los resultados que se presentan a continuación podrían estar sujetos a las condiciones ambientales de esta época del año.

4.1.1 Crecimiento y consumo

En la tabla 13 se presentan los resultados globales de ganancias de peso, consumo de pienso y eficiencia de conversión de los animales de ambos tratamientos en el total del periodo experimental (68 días).

Tabla 13: Peso medio inicial (PMi) y peso medio final (PMf), ganancia media diaria de peso total (GMD_T), consumo medio diario de pienso total (CMD_T) e índice de transformación (IT_T) según tratamiento.

Tratamiento	PMi, kg	PMf, kg	GMD, g/d	CMD, g/d	IT ¹
LD	42,1	98,7	834,1	1977,3	2,38
HD	42,0	101,1	874,0	1951,8	2,24
EEM²	1,70	1,02	14,37	25,82	0,026
P-valor	0,976	Ns	0,060	Ns	<0,001

¹IT: kg pienso/kg peso; ²EEM: Error estándar de la media.

En general, los crecimientos y consumos en este estudio están dentro de la normalidad de los estudios realizados en campo en cerdos de cebo.

Los pesos medios al inicio de la prueba fueron similares entre tratamientos. En cuanto a las ganancias de peso y consumo, en el global del periodo experimental se observa que los animales alimentados con un pienso con mayor densidad energética y cantidad de lisina (HD) presentaron un crecimiento más eficiente ($P < 0,05$), es decir, una mayor GMD ($P = 0,060$) sin modificaciones significativas en el consumo de pienso. El peso final de los animales después de los 68 días de estudio no fue significativamente diferente entre tratamientos ($P > 0,10$). Numerosos estudios en la bibliografía indican una relación positiva entre la cantidad de energía del pienso y la eficiencia de conversión del

alimento en animales en fase de cebo (Overland et al., 1999; Baudon et al., 2003), aunque esta relación no resulta tan evidente en otros, ya que, si la energía ingerida es superior al nivel óptimo, ésta se destina a la formación de grasa con el consiguiente empeoramiento del índice de conversión (Kielanowski, 1972; Just, 1977).

Estos mismos resultados se analizaron por periodo de tiempo considerando las dos etapas diferenciadas de la fase de cebo: la fase de crecimiento (40 a 60 kg de peso) y la fase de acabado (60 a 110 kg de peso) y los resultados se presentan en la tabla 14. Por periodos, la tabla 14 muestra que en la primera etapa de crecimiento estudiada (40 a 60 kg de peso), no existieron diferencias significativas en crecimiento y consumo entre tratamientos, aunque numéricamente se observan mayores valores de crecimiento y una mayor eficiencia de conversión en los animales del grupo HD. Sin embargo, en el segundo periodo (60-110 kg) se observa cómo con un consumo de pienso muy similar entre tratamientos, los animales HD presentaron una tendencia a una mayor GMD de peso ($P < 0,10$) sin modificaciones en el consumo y, con ello, una mayor eficiencia de conversión del alimento ($P < 0,05$).

Tabla 14: Ganancia media diaria de peso (GMD), consumo medio diario de pienso (CMD) e índice de transformación (IT) por periodos.

Tratamiento	GMD, kg/d	CMD, kg/d	IT, kg pienso/kg peso
Periodo 1 (40-60 kg)			
LD	762,5	1608,0	2,15
HD	801,6	1646,2	2,06
EEM ¹	22,67	27,35	0,053
P-valor	Ns	Ns	Ns
Periodo 2 (60-100 kg)			
LD	881,6	2220,7	2,53
HD	921,5	2153,6	2,34
EEM ¹	16,09	31,13	39,26
P-valor	0,091	Ns	0,003

¹EEM: error estándar de la media.

Cuando estos mismos resultados se presentan según sexo (Tabla 15), se observa que, en general, los machos presentaron crecimientos superiores a las hembras en los dos periodos ($P > 0,05$). Este hecho ha sido claramente identificado por numerosos autores como Lizaso (1994) quienes afirmaron crecimientos superiores en machos con el mismo nivel de nutrientes ofrecidos. También Medel y Fuetetaja (2000) observaron que, debido a las diferencias en velocidad de crecimiento y deposición de tejidos, el crecimiento de los machos era mayor que el de las hembras, y que el índice de transformación de los machos enteros era mejor que el de las hembras.

En cuanto a los efectos del tratamiento, en la primera etapa de crecimiento estudiada (40-60 kg), se observa que las hembras alimentadas con el pienso HD presentaron una mayor ganancia de peso debido a un mayor consumo de pienso. Los machos, sin embargo, mostraron crecimientos y consumos similares entre tratamientos durante este periodo. Durante la segunda etapa de crecimiento (60-100 kg), los machos alimentados con un pienso con mayor densidad energética y mayor cantidad de lisina (HD) presentaron una tendencia hacia un menor CMD de pienso ($P=0,046$) y un IT significativamente menor ($P<0.05$) que los machos alimentados con el pienso LD. Las hembras, sin embargo, no mostraron diferencias significativas entre tratamientos en este periodo, aunque numéricamente siguen una tendencia similar a la de los machos siendo las hembras HD las que presentaron menores IT que las hembras LD.

Tabla 15: Ganancia media diaria de peso (GMD), consumo medio diario de pienso (CMD) e índice de transformación (IT) por periodos y sexo (hembras, H; machos, M).

Tratamiento	GMD, kg/d		CMD, kg/d		IT, kg pienso/kg peso	
	H	M	H	M	H	M
Periodo 1 (40-60 kg)						
LD	679,9	844,7	1517,3	1698,6	2,28	2,01
HD	801,0	802,5	1669,1	1623,2	2,09	2,03
EEM ¹	29,28	29,31	39,18	39,21	0,076	0,076
P-valor	0,030	Ns	0,046	Ns	Ns	Ns
Periodo 2 (60-100 kg)						
LD	829,0	934,2	2117,2	2324,1	2,55	2,50
HD	869,5	973,5	2137,8	2169,5	2,46	2,23
EEM ¹	23,04	23,06	44,60	44,60	0,056	0,056
P-valor	Ns	Ns	Ns	0,086	Ns	0,010

¹EEM: error estándar de la media.

En resumen, parece que un incremento de la energía y la lisina en el pienso durante la primera etapa de crecimiento, favorece el consumo y crecimiento en las hembras sin tener efectos en los machos. Según los valores de crecimiento que se observa en la tabla 15 los machos, a diferencia de las hembras, no incrementan su crecimiento en respuesta a un incremento de energía. Según van Milgen y Noblet (2000) la relación entre la deposición de proteína y la ingesta de energía es curvi-lineal hasta llegar a un punto máximo donde la deposición de proteína y, con ello, el crecimiento está limitado. Este máximo dependerá del tipo genético. En el presente estudio, podríamos estar hablando de que los machos (LDxLW) x Pietrain utilizados podrían haber alcanzado su máximo potencial de crecimiento en esta etapa con el pienso LD (3,3 Mcal ED/kg), por lo que incrementos tanto en los niveles de energía y lisina no tendrían efectos importantes sobre el crecimiento. De hecho, los niveles de energía del pienso LD son los que generalmente se recomiendan para cerdos de esta edad (NRC,

1998; FEDNA, 2006). Por el contrario, en el caso de las hembras, el pienso LD no parece responder a sus necesidades para expresar su máximo potencial de crecimiento y consumo en esta etapa, ya que, el suministro de un pienso con un 3% más de energía y un 3% más de lisina en este caso (HD) ocasionó un incremento en el crecimiento y consumo de pienso. Es además importante destacar que, tanto los crecimientos como los consumos conseguidos en las hembras HD, son muy similares a los de los machos (supuesto máximo potencial de crecimiento en esta genética) indicando que las diferencias encontradas en crecimiento entre sexos en estas etapas del crecimiento en este estudio podrían deberse a una diferencia en las necesidades entre sexos. En la práctica, tanto machos como hembras se alimentan con el mismo tipo de pienso en esta etapa productiva, por lo que, a nivel comercial podríamos estar limitando la capacidad de expresar el máximo potencial genético que tienen las hembras.

En cuanto al segundo periodo de crecimiento, el pienso HD mejoró la eficiencia global de todos los animales aunque este efecto tuvo una mayor relevancia estadística en los machos. Además de mostrar mayores GMD, los machos HD presentan menores consumos de pienso en este periodo. En el presente estudio, este incremento energético se consiguió mediante un incremento en el aporte de grasa en el pienso (HD=8,4% y LD=6,6%). Es habitual en estudios en los que se incrementa el contenido de grasa (energía) del pienso encontrar una mejor eficiencia de crecimiento (menores ingestiones y mayores crecimientos; Overland et al., 1999; Baudon et al., 2003), en particular en épocas de altas temperaturas como es el caso del presente estudio.

Sin embargo, se ha descrito que niveles elevados de grasa pueden reducir la ingestión voluntaria de pienso y, con ello, la ingestión de otros ingredientes como la proteína y aminoácidos (Gregory y Rayner, 1987; Azain, 2001; Beaulieu et al., 2009). Por ello, para mantener los rendimientos con piensos altos en grasa se recomienda aportar otro tipo de nutrientes como lisina para obtener mejores eficiencias. En este estudio, parece que la cantidad de grasa en el pienso no afectó negativamente a la ingestión en la primera etapa. Sin embargo, en la segunda fase, los machos alimentados con el pienso HD mostraron menores ($P=0,086$) ingestiones de pienso en comparación con los machos LD. Beaulieu et al. (2009) también encontraron una disminución significativa del consumo de pienso al incrementar su concentración energética de 3,09 a 3,57 Kcal ED/kg que fue únicamente evidente a partir de los 70 kg de peso aproximadamente. En las hembras, sin embargo, no se observó esta diferencia en ingestión de los 60 a los 110 kg. En definitiva, parece que la sensibilidad de la ingestión al contenido graso del pienso es más evidente de los 60 a los 110 kg de peso (cuando las ingestiones totales son mayores) y que los machos enteros son menos tolerantes a un aumento de grasa que las hembras en esta etapa. Las diferencias en capacidad de ingestión entre sexos han sido escasamente estudiadas en la bibliografía.

La figura 6 muestra la evolución de los valores medios del peso vivo medio en ambos sexos y tratamientos a lo largo del estudio. En la figura, se observa una evolución lineal del peso hasta aproximadamente los 95 kg de media en el caso de los machos y 80-85 kg en el caso de las hembras seguida de una deceleración del crecimiento hasta los 100 kg en machos y 90 kg en hembras. Se observa, también, una clara diferencia de peso y velocidad de crecimiento (pendiente) entre sexos a lo largo de todo el periodo, siendo el peso de las hembras y su crecimiento, en especial el de las hembras LD, inferior al de los machos, ya desde el comienzo del estudio. Estas diferencias de crecimiento entre sexos se agrandan a medida que los animales crecen.

Entre tratamientos, el incremento de peso a lo largo de tiempo es prácticamente idéntico en el caso de los machos de los dos tratamientos. Sin embargo, las hembras alimentadas con pienso HD presentan una tendencia a un mayor peso medio al final del periodo de finalización en comparación con las hembras alimentadas con un pienso LD ($P=0,053$). A partir de estos resultados se podría sugerir que, al menos en términos de crecimiento, en global, las hembras son las más beneficiadas por el incremento de energía en el pienso. La existencia de necesidades diferenciadas entre machos enteros y hembras durante la fase de engorde podría explicar parte de estos resultados. En este sentido, los estudios existentes en la bibliografía a cerca de la respuesta diferenciada de machos y hembras a piensos con diferentes composiciones son escasos.

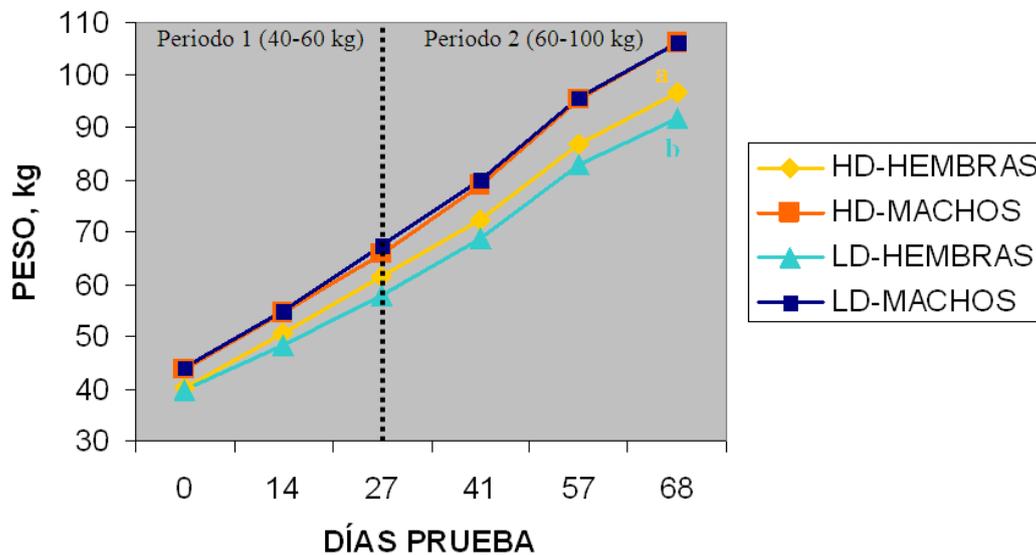


Figura 6: Evolución del peso en machos y hembras según tratamiento. $P\text{-valor}_{T*S*M} = 0,028$. Diferentes letras indican diferencias ($P\text{-valor} = 0,053$).

4.1.2 Composición corporal

Asumiendo que ningún otro nutriente (como por ejemplo la lisina) limita el crecimiento, los resultados productivos de un animal están determinados esencialmente por la energía que será suministrada por encima de mantenimiento y por la partición de la energía entre la deposición de proteína y la de lípidos (van Milgen y Noblet, 2003). En definitiva, el crecimiento final de un animal está directamente relacionado con la energía de la dieta y, en términos de reservas corporales, será el resultado de un depósito de magro y grasa a lo largo del tiempo.

En lo que se refiere a los resultados en términos de reservas corporales en este estudio, la tabla 16 muestra los valores iniciales y finales así como las ganancias de grasa dorsal (GD) y profundidad de lomo (PL) en el conjunto del periodo experimental (68 días). En conjunto, los animales alimentados con piensos HD mostraron mayores valores de GD y PL al final del estudio, así como mayores ganancias de GD y PL en comparación con los animales alimentados con piensos LD ($P < 0,10$). En concreto, los animales del grupo HD ganaron una media de 0,5 y 1,3 mm más de GD y PL, respectivamente, que los animales del grupo LD. Por tanto, podemos decir que un aporte extra de energía y lisina (pienso HD) en este estudio dio lugar a una mayor deposición tanto de tejido graso como de tejido magro, como también observaron en su estudio Smith et al. (1999).

Tabla 16: Valores iniciales y ganancia global de grasa dorsal (GD) y profundidad de lomo (PL).

Tratamiento	GD inicial, mm	PL inicial, mm	GD final, mm	PL final, mm	Ganancia GD, mm	Ganancia PL, mm
LD	6,4	31,5	8,7	47,8	+2,4	+16,4
HD	6,0	31,4	9,1	49,1	+2,9	+17,7
EEM¹	0,10	0,46	0,16	0,40	0,16	0,41
P-valor	0,014	Ns	0,093	0,022	0,038	0,021

¹EEM: error estándar de la media.

Al analizar los datos distinguiendo entre las dos etapas de crecimiento estudiadas (Tabla 17) se observa que las ganancias tanto de GD como de PL fueron superiores en el segundo periodo en comparación con el primero debido a la mayor duración del primero (48 vs 27 días). En general, los ritmos de deposición grasa y magra en cada periodo fueron muy bajos. De media, los animales de los dos grupos depositaron 0,035 mm/d y 0,27 mm/d de GD y PL, respectivamente de los 40 a los 60 kg de peso y 0,035 mm/d y 0,36 mm/d de GD y PL, respectivamente de los 60 a los 110 kg de peso.

Tabla 17: Ganancia media global de grasa dorsal (GD) y profundidad de lomo (PL) por periodos.

Tratamiento	Ganancia GD, mm	Ganancia PL, mm
Periodo 1 (40-60 kg)		
LD	0,81	6,95
HD	1,04	7,61
EEM ¹	0,100	0,286
P-valor	Ns	Ns
Periodo 2 (60-100 kg)		
LD	1,63	16,34
HD	1,87	17,70
EEM ¹	0,096	0,412
P-valor	0,074	0,021

¹EEM: error estándar de la media.

Estos datos muestran que en razas o cruces magros como es el caso de este estudio (cruce con Pietrain), el ritmo de deposición grasa es bajo y similar durante todo el periodo de engorde (40-110 kg). En cuanto a la ganancia de PL, los ritmos de crecimiento fueron superiores en la fase de finalización. En general, la partición de la energía entre la deposición de proteínas y lípidos cambia con el incremento del peso vivo, de manera que cuanto más pesados son los animales más elevada es la fracción depositada de energía por encima de mantenimiento como lípidos y, consecuentemente, los animales son más grasos con la edad (van Milgen y Noblet, 2003). En el presente estudio, no se llegó a alcanzar el incremento del nivel de deposición grasa esperado al final del crecimiento, probablemente porque se trabajó con animales de una línea muy magra cuyo crecimiento magro se prolonga más en el tiempo y necesita más tiempo para engrasarse (McCracken, 1993). En este sentido, el mayor crecimiento de PL observado en la etapa de finalización corrobora que el potencial de crecimiento magro de la línea genética utilizada en este estudio es aún muy elevado al final del cebo.

Entre tratamientos se observa que, en ambos periodos de crecimiento, los animales del grupo HD presentaron mayores ganancias de GD y PL que los animales del grupo LD. Sin embargo, las diferencias únicamente fueron significativas (PL, $P < 0,05$) o tendieron a la significación (GD, $P < 0,10$) en el segundo periodo de estudio. Así, parece que en conjunto, la repuesta de la deposición grasa y magra a las diferentes combinaciones de energía y lisina de la dieta fue más eficiente durante la fase de finalización.

Cuando estos mismos datos se trabajaron por sexos (Tabla 18) no se observan diferencias significativas en ganancia de GD y PL entre tratamientos ($P < 0,05$). Únicamente se observa que durante el primer periodo, de los 40 a los 60 kg de peso, las

hembras HD tienden a mostrar mayores ganancias de GD que las hembras LD ($P < 0,082$). Este hecho podría estar relacionado con las mayores GMD que se observan en las hembras HD en este periodo. Así, las hembras, a diferencia de los machos, son capaces de responder a un incremento de energía y lisina en la dieta en esta etapa con una mayor deposición grasa. Chiba et al. (1991) también obtuvieron una mayor respuesta del tejido graso a mayores contenidos en energía en animales de 20 a 50 kg utilizando piensos con una ratio lisina:energía similar a la de este estudio (3.10 g lisina/Mcal ED). Estos autores relacionan este aumento de tejido graso con un aumento en el consumo de pienso en este periodo que también fue observado en el presente estudio. En el estudio de Chiba et al. (1991) no se diferencian respuestas según sexo.

En el segundo periodo, aunque las diferencias entre tratamientos tampoco fueron significativas, sí se mostraron ganancias tanto de GD como de PL superiores en los animales HD en comparación con los LD en ambos sexos, indicando que los dos sexos responden de manera similar a un mayor aporte de energía y lisina durante el periodo de acabado.

Tabla 18: Ganancia media global de grasa dorsal (GD) y profundidad de lomo (PL) por periodos y sexo (hembras, H; machos, M).

Tratamiento	Ganancia GD, mm		Ganancia PL, mm	
	H	M	H	M
Periodo 1 (40-60 kg)				
LD	0,64	0,99	6,79	7,11
HD	1,13	0,95	7,53	7,69
EEM ¹	0,143	0,141	0,408	0,402
P-valor	0,082	Ns	Ns	Ns
Periodo 2 (60-100 kg)				
LD	1,35	1,90	15,53	17,15
HD	1,54	2,20	17,28	18,12
EEM ¹	0,137	0,135	0,588	0,578
P-valor	Ns	Ns	Ns	Ns

¹EEM: error estándar de la media.

Los valores de evolución de GD y PL en el tiempo según tratamiento y sexo se presentan en las figuras 7 y 8. En general, es importante destacar que los niveles de GD son muy bajos (entre 5,5 y 6,5 mm a los 40 kg de peso y entre 8 y 9 mm a los 100 kg de peso, aproximadamente) en comparación con los encontrados en otras líneas genéticas. En este sentido, Tibau et al. (1999) en su estudio con animales de la línea genética Duroc con un peso vivo medio de 84 kg y una edad media de 180 días, obtuvieron una media de GD en hembras de 13 ($\pm 2,54$) mm.

Para la GD (Figura 7), en general, se observa una tendencia de deposición lineal hasta el final del estudio y similar entre tratamientos. En cuanto a las diferencias entre sexos, la figura 7 muestra una menor velocidad (pendiente) de engrasamiento de las hembras, en especial las hembras LD (como ya se ha comentado anteriormente), con respecto a los machos desde el principio del estudio, aunque las diferencias en los diferentes puntos no llegan a ser significativas. En el caso de los machos la evolución de los valores de GD fue prácticamente idéntica entre tratamientos. En este sentido, los resultados de nuestro estudio no concuerdan con los de la bibliografía que indican que, en general, las hembras se engrasan más que los machos al final del periodo de engorde (PIC, 2000). Sin embargo, como ya se ha comentado anteriormente, en el presente estudio puede que no se haya alcanzado el periodo de máximo engrasamiento al final de cebo en el que las diferencias entre sexos son más evidentes.

Para la PL, en la figura 8 se observa cómo la evolución del magro sigue en todos los animales una tendencia muy similar a la del peso (Figura 6) comportándose de manera lineal hasta el día 57 de estudio (95 kg de media en el caso de los machos y 80-85 kg en el caso de las hembras) seguida de una deceleración del incremento de PL hasta el final del estudio (100-110 kg). Esta deceleración parece más pronunciada en el caso de las hembras. Entre tratamientos, tanto los machos como las hembras presentan valores muy similares entre sí hasta los 60 kg de peso (primer periodo) indicando que el crecimiento magro no se modificó significativamente debido a la dieta en esta primera fase de engorde. En el segundo periodo del estudio (60-110 kg), los niveles de PL en los animales HD fueron superiores numéricamente a los del grupo LD. En este sentido, cabe destacar que las hembras del grupo HD mostraron valores de PL superiores a los de las hembras LD los días 41 y 57 del estudio ($P < 0,10$) y que estos fueron similares a los de los machos HD. La mayor eficiencia de crecimiento encontrada en los animales del grupo HD en esta etapa podría basarse en este mayor desarrollo magro de los animales HD con respecto a los LD (Tabla 17). En general, el depósito magro es más eficiente que el graso a partir de la energía. En este sentido, aunque se necesita más energía para depositar 1 kJ de energía como proteína que como lípido, debido a la mayor densidad de energía de los lípidos, aproximadamente 50 kJ es necesario para depositar 1g de lípidos mientras que aproximadamente 40 kJ se necesitan para depositar 1 g de proteína (Noblet et al., 1999). El suministro de energía por encima del mantenimiento se divide en una fracción asignada a la deposición de proteína, mientras que la parte complementaria está designada hacia la deposición de lípidos (van Milgen, 2003), por lo que en este sentido, es lógico que el mayor aporte de energía en esta fase se destine al depósito magro.

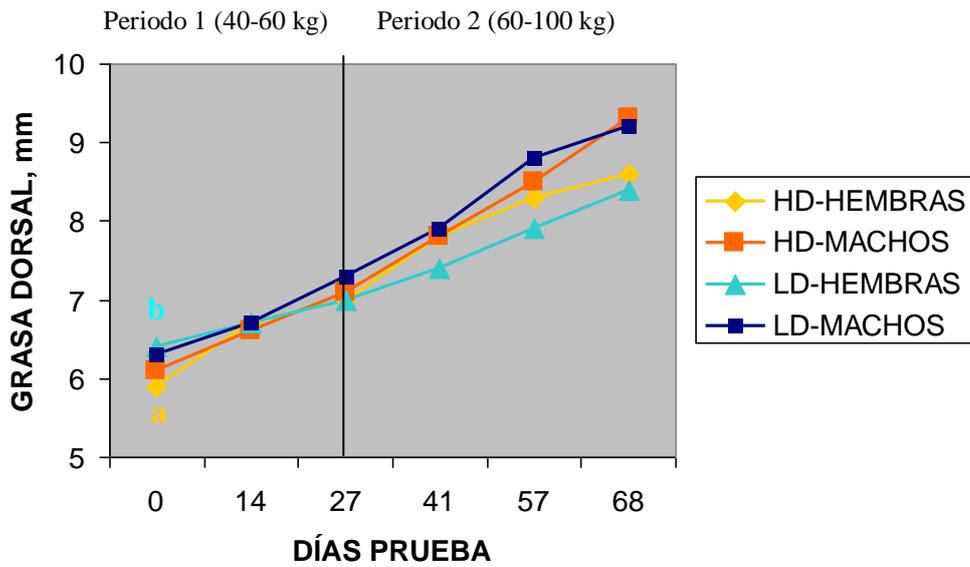


Figura 7: Evolución de la grasa dorsal en machos y hembras según tratamiento. $P\text{-valor}_{T^*S^*M} = 0,026$. Diferentes letras indican diferencias ($P\text{-valor} < 0,10$).

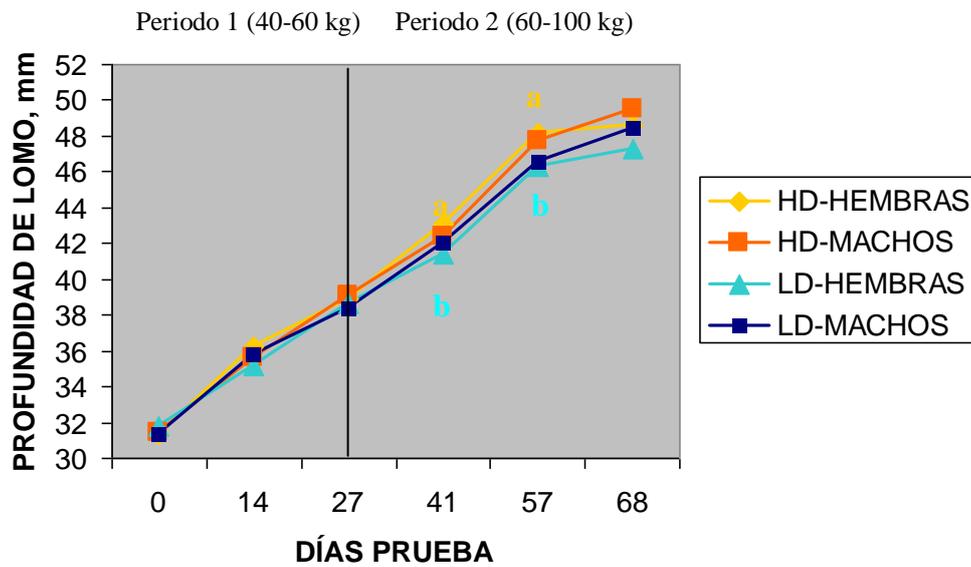


Figura 8: Evolución de la profundidad de lomo en machos y hembras según tratamiento. $P\text{-valor}_{T^*S^*M} = 0,159$. Diferentes letras indican diferencias ($P < 0,10$).

4.2 BALANCE DE NITRÓGENO

La tabla 19 presenta los valores medios obtenidos de los 3 días consecutivos de balance de nitrógeno de los 12 animales seleccionados y alimentados con los dos tratamientos diferenciados (HD y LD), así como los valores medios de consumo de agua.

Tabla 19: Balance de nitrógeno.

	HD	LD	SEM¹	P-valor
Consumo pienso, kg/d	2,30	2,21	0,074	0,433
Ingestión de N, g/d	54,5	53,4	1,766	0,669
Concentración de N en heces, g/kg MS	22,2	21,0	0,491	0,106
Excreción de N en heces, g/d	8,11	7,80	0,448	0,642
Concentración de N en orina, g/L	10,6	10,5	1,43	0,971
Excreción de N en orina, g/d	15,7	11,1	2,28	0,172
Concentración N amoniacal en orina, g/L	0,794	0,754	0,1248	0,825
Retención de N, g/d	30,3	34,7	2,04	0,143
N amoniacal en orina, g/d	1,16	0,82	0,142	0,114
Consumo agua, L/d	5,25	4,92	0,573	0,687

¹EEM: error estándar de la media.

Como se observa en la tabla 19, no se han encontrado diferencias significativas en el consumo de nitrógeno (N) en los animales de ambos tratamientos (HD, LD).

El balance de N con respecto al nitrógeno total consumido de cada grupo de animales resultó ser:

- HD: del total de N consumido con el pienso (54,5 g/d) un 43,7% es excretado (15% en heces y 29% en orina) y un 56,6% es retenido por el animal.
- LD: del total de N consumido con el pienso (53,4 g/d) un 35,3% es excretado (14,6% en heces y 20,7% en orina) y un 65% es retenido por el animal.

El porcentaje de N excretado en las heces en el presente estudio es similar al de otros autores como Portejoie et al. (2004) que obtuvieron unos porcentajes de excreción de N en heces de 15,3% y 14,4% para dos niveles de proteína diferentes (51 y 63,8 g/d respectivamente). Sin embargo, en el estudio de este mismo autor los porcentajes de excreción de N en orina fueron mayores que en nuestro caso, representando hasta un 38,8% del N consumido.

Así mismo, el balance de N obtenido en nuestro caso difiere de otros estudios como el de Dourmad et al. (1999) en el que el porcentaje de nitrógeno en heces y orina de los animales fue de un 60-70% del nitrógeno total ingerido en la dieta.

En cuanto a la retención de nitrógeno, el porcentaje de nitrógeno retenido por los animales alimentados con el pienso HD fue menor que el de los animales alimentados con el pienso LD (56,6 y 65% respectivamente), aunque las diferencias no resultaron estadísticamente significativas. Es bien conocido que la retención de nitrógeno depende de la ratio energía:proteína o energía:lisina del pienso de manera que, a partir de un punto, un exceso de nitrógeno no es retenido si no se aporta un extra de energía (Noblet et al., 1991). En el presente estudio, la ratio lisina:energía del pienso HD fue superior a la del pienso LD (2,97 vs 2,87 g lisina/Mcal ED). Por tanto, parece que el extra de lisina que es aportado con el pienso HD no fue totalmente retenido ni con ayuda del aporte extra de energía. Este resultado puede ser explicado de varias maneras. En primer lugar, puede ser que la ratio lisina:energía del pienso LD sea más adecuada en cuanto al aprovechamiento de nutrientes para animales (hembras) en fase de finalización que la del pienso HD. También se podría pensar que en el pienso LD hay un mayor ajuste de todos los aminoácidos con respecto a la lisina cuando se compara con el balance ideal recomendado por organismos oficiales como BSAS (2003), como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20: Ajuste de los aminoácidos respecto a la lisina en los dos tratamientos.

AMINOÁCIDO	Balance aminoácidos respecto lisina ²	PIENSO LD		PIENSO HD	
		% PIENSO	% LISINA	% PIENSO	% LISINA
Lisina	1,00	0,9593		1,0154	
Metionina	0,30	0,3212	0,3348	0,3327	0,3276
Met+Cis¹	0,59	0,6312	0,6579	0,6437	0,6339
Treonina	0,65	0,6355	0,6624	0,6613	0,6512
Triptófano	0,19	0,1838	0,1915	0,1885	0,1856
Isoleucina	0,58	0,5594	0,5831	0,5792	0,5704
Leucina	1,00	1,0863	1,1323	1,1136	1,0967
Valina	0,70	0,6945	72,3965	0,7103	69,9527

¹Met+Cis: Metionina + Cistina. ²Requerimientos según BSAS (2003).

Otro motivo por el que la retención de nitrógeno es menor en los animales del tratamiento HD puede ser porque este pienso posee una mayor cantidad de grasa (8,4278 vs 6,6044%) y esto podría disminuir la digestibilidad de otros nutrientes como la lisina (Li et al., 1990). En este estudio, la digestibilidad de la proteína no se vio afectada por la cantidad de grasa (HD=85,0 y LD=85,5%, P=0,586) sin embargo, la digestibilidad de la lisina y otros aminoácidos no fue determinada.

4.3 COMPOSICIÓN DEL PURÍN Y EMISIONES DE AMONIACO

En la tabla 21 se presentan los resultados de la composición inicial y final del purín de los 12 animales seleccionados para el balance de N siendo 6 animales pertenecientes al grupo HD y seis al grupo LD. En la figura 21 se muestra la evolución de las emisiones de amoniaco del purín de ambos grupos de animales.

Tabla 21: Composición inicial y final del purín.

	HD	LD	SEM ¹	P-valor
Sólidos totales, g				
d.1	1826,7	2116,4	50,09	0,015
d.11	1720,6	2053,0	25,06	0,001
Sólidos volátiles, g				
d.1	1498,8	1734,8	46,93	0,024
d.11	1398,2	1662,6	19,87	0,001
Total AGV, mmol/L				
d.1	112,5	121,8	1,35	0,008
d.11	126,0	154,4	7,04	0,047
Pérdida total de N, mg	958,0	165,5	82,34	0,012

¹EEM: error estándar de la media.

Como muestra la tabla 21 la cantidad (g/bidón) de ST (sólidos totales) y SV (sólidos volátiles) del purín fue significativamente superior tanto al inicio como al final del periodo de incubación en el caso del tratamiento LD ($P < 0,05$). Este hecho puede ser debido a que el consumo de agua de los animales alimentados con el pienso HD fue ligeramente mayor que con el pienso LD, como se muestra en la tabla del balance de nitrógeno (Tabla 19). El motivo del mayor consumo de agua en los animales HD puede ser debido al mayor contenido en grasa de estos piensos.

En el purín producido por los animales del tratamiento HD, los ST y SV tuvieron un descenso en 11 días de un 5,8% y 6,7% respectivamente. El purín proveniente de los animales con el tratamiento LD sufrió un descenso en ST y SV menor para el mismo periodo, entre un 3 y 4,2% respectivamente. Según los estudios realizados por Zhu et al. (2000) este porcentaje de reducción de sólidos totales durante el almacenamiento del purín, principalmente, es debido a actividad bacteriana, lo que sugiere una mayor actividad bacteriana en el purín de los animales HD en este estudio. Sin embargo, el contenido de AGV del purín (también indicadores de la fermentación microbiana) de los animales del tratamiento HD fue significativamente inferior que el de LD al inicio y al final de los 11 días de incubación ($P < 0,05$). Estos resultados indican que, aunque durante la incubación hubo una mayor actividad bacteriana, al inicio, el purín de los animales HD presentaba una menor actividad bacteriana. Este hecho puede ser debido a

que la grasa puede alterar la flora del intestino y, por tanto, a las poblaciones de bacterias responsables de la formación de los AGV (Graber et al., 1966).

Durante los 11 días de almacenamiento del purín, la pérdida de nitrógeno fue mayor ($P < 0,05$) en el purín proveniente de los animales HD que en el de los animales LD. Esta pérdida de N, que se calcula por la diferencia de la cantidad de N total inicial y final, resultó ser de un 6,7% en el caso del purín de los animales HD y de un 4,8% en el caso del purín de los animales LD. Esto es debido, a que la excreción de nitrógeno ureico (en orina) de los animales HD fue algo mayor.

El nitrógeno que forma la orina se encuentra mayoritariamente en forma de urea, que en contacto con la enzima ureasa de las heces se transforma en amoníaco (Aarnink, 1997) volatilizándose mucho más rápidamente que el nitrógeno presente en las heces. De hecho, en la figura 9 se observa que las emisiones de amoníaco acumuladas durante los 11 días de incubación, en el purín correspondiente al tratamiento HD fueron numéricamente superiores que las del tratamiento LD, aunque las diferencias no resultaron estadísticamente significativas ($HD = 58871,7 \text{ mg/m}^2$ y $LD = 50223,5 \text{ mg/m}^2$. $P = 0.469$).

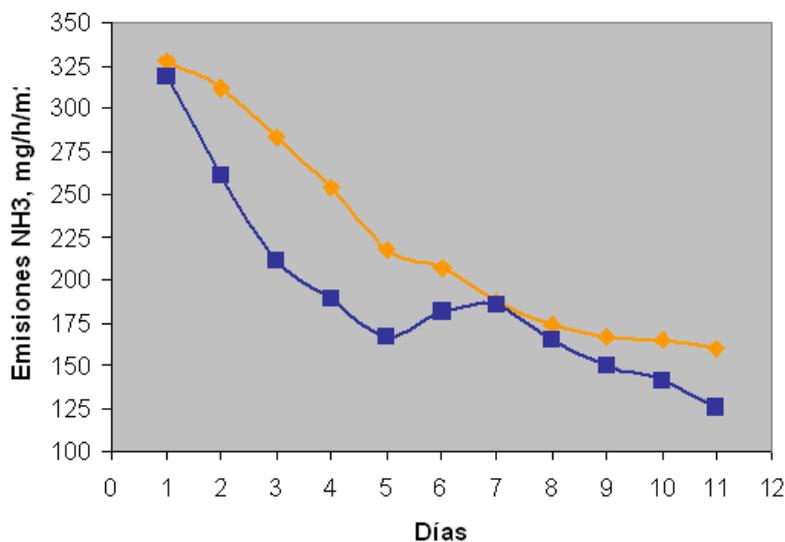


Figura 9: Emisiones diarias de nitrógeno en forma de amoníaco por bidón (mg de amoníaco por bidón y m^2 de superficie) de los 11 días de medición.

$P\text{-valor}_T = 0,020$; $P\text{-valor}_D = <0,01$; $P\text{-valor}_{T \times D} = 0,980$.

5. CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas tras la realización de este estudio basado en administrar dos piensos con diferente concentración en **energía** y **lisina**, uno de baja densidad (pienso LD) y otro de alta densidad (pienso HD) en cerdos de cebo son las siguientes:

En cuanto a los **resultados productivos y reservas corporales**:

1. Las hembras alimentadas con un pienso con una mayor concentración de energía y lisina (HD) en el primer periodo de cebo estudiado (40-60 kg de peso) mostraron un mayor consumo de pienso y un mayor crecimiento con respecto a las hembras LD. Probablemente, este mayor crecimiento es debido a un aumento del tejido graso de las hembras durante este periodo ($P < 0,10$). El aumento de energía y lisina en el pienso en esta etapa no afectó al crecimiento en los machos.

2. Un aumento de la concentración energética y lisina (pienso HD) durante la etapa de finalización (60 a 100 kg de peso) mejoró la eficiencia de conversión de los animales ($P < 0,05$), siendo las diferencias estadísticas más importantes en el caso de los machos. En este sentido, únicamente los machos respondieron al incremento de energía en forma de grasa del pienso HD con una tendencia a la disminución del consumo ($P < 0,10$). Además, la administración del pienso HD en esta etapa permitió incrementar tanto la cantidad de grasa dorsal ($P < 0,10$) como de profundidad de lomo ($P < 0,05$) en ambos sexos.

3. Las hembras presentaron, en todo momento, un peso medio inferior al de los machos ($P < 0,05$). Sin embargo, la administración de un pienso más concentrado en energía y lisina (HD) permitió a las hembras acercarse su ritmo de crecimiento al de los machos.

En cuanto al **balance de nitrógeno, composición del purín y emisiones de amoníaco**:

4. La concentración de energía y lisina del pienso no afectó significativamente ($P > 0,10$) al consumo de pienso, consumo de agua y excreción de nitrógeno en hembras alimentadas con un pienso más concentrado en energía y lisina (HD). Sin embargo, la retención de nitrógeno en las hembras HD fue numéricamente menor al de las hembras LD (30,3 vs 34,7 g/día).

5. En cuanto a la composición del purín, el purín de las hembras alimentadas con un pienso HD presenta menores valores iniciales y finales de sólidos totales y volátiles

y de ácidos grasos volátiles ($P < 0,05$) y mayores pérdidas de nitrógeno total Kjeldahl durante los 11 días de incubación ($P < 0,05$).

6. El tipo de dieta no afectó significativamente a las emisiones de amoníaco, aunque en el purín del tratamiento HD estas emisiones fueron numéricamente superiores a las del tratamiento LD al final de los 11 días de incubación (HD=58871,7 mg/m² y LD=50223,5 mg/m². $P=0,469$).

6. BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

- AARNINK, A.J.A. (1997). Ammonia emission from houses for growing pigs affected by pen design, indoor climate and behavior. Tesis doctoral. University of Wageningen.
- ALMOND, G.W. (2002). Water: Optimizing performance while reducing waste. Proc. NC Pork Expo.
- AOAC. (1995). Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of official analytical chemists, Arlington, VA.
- AOAC. (2002). Official Methods of Analysis, 17th ed. Association of official analytical chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- AZAIN, M.J. (2001). Fat in swine nutrition. Lewis, A.J. and Southern, L.L. (eds) Swine Nutrition. CRC Press, Boca Raton, F.L., USA. 95-105.
- BARTON-GADE, P.A. (1988). 34th Int. Congress of Meat Science and Technology, Brisbane, Australia.
- BAUDON, E. C., J. D. HANCOCK. (2003). Pelleted diets for lactating sows. Kansas State University Swine Day 2003. pp. 33-35.
- BEAULIEU, A.D., WILLIAMS, N.H., PATIENCE, J.F. (2009). Response to dietary digestible energy concentration in growing pigs fed cereal grain-based diets. *Journal of Animal Science*, 87: 965-976.
- BOURDON D., DOURMAD J.Y., HENRY Y. (1995). Réduction des rejets azotés chez le porc en croissance par la mise en oeuvre de d'alimentation multiphase, associé à la baisse du taux azoté. *Journ. Rech. Porcine France*, 27: 269-278.
- BROZ, J. (2004). Benzoic acid a new feed additive for swine with multiple effects. Proc. 8.Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Halle-Wittenberg, pp. 39-41.
- BUXADÉ, C. (1995). Fisiología del crecimiento: Estructura, etnología, anatomía y fisiología. *Zootecnia, bases de producción animal*. Madrid: Mundi-prensa; Tomo 1, p. 287-301.
- CANH, T. T., M.W.A. VERSTEGEN, A.J.A. AARNINK, J. W. SCHARAMA. (1997). Influence of dietary factors on nitrogen partitioning and composition of urine and feces of fattening pigs. *J. Anim. Sci.* 75:700-706.
- CAHN, T.T., AARNINK, A.J.A., MROZ, Z., JONGBLOED, A. W., SCHARAMA, J.W., VERSTEGEN, M. W. A. (1998). Influences of electrolyte balance and acidifying calcium salts in the diet of growing-finishing pigs on urinary pH, slurry. *Livestock Production Science* 56: 1-13.

- CANH, T.T., AARNINK, A.J.A., SCHUTTE, J.B., SUTTON, A.L., LANGHOUT, D.J., VERSTEGEN, M.W.A. y SCHRAMA, J.W. (1998). *Ammonia emission from excreta of growing-finishing pigs as affected by dietary composition*. PhD thesis Wageningen Universiteit.
- CHIBA, L.I., A.J. LEWIS, E.R. PEO, JR. (1991). Amino acid and energy interrelationships in pigs weighing 20 to 50 kilograms: 1. Rate and efficiency of weight gain. *J. Anim. Sci.* 69: 694–707.
- CISNEROS, F., M. ELLIS, F.K. McKEITH, J. McCRAW y R.L. FERNANDO. (1996). Influence of slaughter weight on growth and carcass characteristics, commercial cutting and curing yields, and meat quality of barrows and gilts from two genotypes. *J. Anim. Sci.* 74: 925-938.
- CLOSE, W.H. (1989). “*The voluntary food intake of pigs*”. Eds.: Forbes, J.M., Varley, M.A. y Lawrence, T.L.J. British Society of Animal Production, occasional publication, 13: 87-96.
- COLLIN, A., VAN MILGEN, J., LE DIVIDICH, J. (2001). *Animal Sci.* 72: 519-527.
- COMA, J., BONET, J. (2004). Producción ganadera y contaminación ambiental. XX Curso de Especialización FEDNA: *Avances en nutrición y alimentación animal*. Fira de Barcelona, España. 237-272.
- DEN BROK, G., C. VAN DER PEET-SCHWERING, M. VRIELINK. (1997). Urine-pH, ammonia emission, and technical results of grow growfinish pigs after addition to the feed of organic acids, specifically benzoic acid. *Swine Res. Stn. Rep.*, Rosmalen, The Netherlands.
- DEN HARTOG, L., SIJTSMA, R. (2007). Estrategias nutricionales para reducir la contaminación ambiental en la producción de cerdos. XXIII Curso de Especialización FEDNA: *Avances en nutrición y alimentación animal*. Madrid, España. 19-41.
- DIESTRE, A., M.A. OLIVER, M. GISPERT, I. ARPA, J. ARNAU. (1990). *Anim. Prod.* 50:519-530.
- DOURMAD J.Y., SÈVE B., LATIMIER P., BOISEN S., FERNANDEZ J.A., VAN DER PEET-SCHWERING C.M.C., JONGBLOED A.W. (1999). Nitrogen and phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production in France, The Netherlands and Denmark. *Livest. Prod. Sci.*, 58: 261-264.
- ELLIS, M., A.J. WEBB, P.J. AVERY, I. BROWN. (1996). *Anim. Sci.* 62: 521-530.
- FEFANA. (1992). Federation Europeenne des Fabricants d’Adjuvants pour la Nutrition Animale. Improvements in the environment: possibilities for the reduction of nitrogen and phosphorus pollution caused by animal production. Belgium.

- FERKET, H., ORTUÑO, S., ROURE, F., SWENNEN, R. (2002). Lithology control on matrix porosity in shallow marine Cretaceous reservoir limestones: study of the Peñuela reservoir outcrop analogue. E. Mexico.
- GATEL, F., GROSJEAN, F. (1992). Effect of protein content of the diet on nitrogen excretion by pigs. *Livestock Production Science* 31: 109–120.
- GISPERT, M., A. VALERO, M.A. OLIVER, A. DIESTRE. (1997). *Eurocarne* 61: 27-32.
- GRABER C.D, MOORE, R.W, SUZUKI M., REDMOND W.E, O'NEAL R.M., LOCKHART B.M. (1966). Autochthonous intestinal bacterial flora and cholesterol levels in specific pathogen-free swine fed high-lipid and high-sucrose diets. *Journal of bacteriology*. 92: 5.
- GREGORY, P.C., RAYNER, D.V. (1987). The influence of gastrointestinal infusion of fats on regulation of food intake in pigs. *The Journal of Physiology*, 385: 471-481.
- ISU (2002). Iowa concentrated animal feeding operations air quality study. Final Report. Iowa State University and the University of Iowa Study Group. ISU Press.
- JOUANY, J.P. (1982). Volatile fatty acid and alcohol determination in digestive contents, silage juices, bacterial cultures and anaerobic fermentor contents. *Sciences des aliments*. 2(2): 131-144.
- JUST, A. (1977). Intake levels of nitrogen and energy in relation with production of animal protein in growing pigs. Proc. 2nd Symp. on Protein Metab. and Nutr., Lelystad. *European Assoc. Anim. Prod.* 22:100.
- KANIS, E., G.H. NIEUWHOF, K.H. DE GREEF, W. VAN DER HEL, M.W.A. VERSTEGEN, J. HUISMAN, P. VAN DER WAL. (1990). *J. Anim. Sci.* 68: 1193-1200. LAWRIE, R.A.
- KIELANOWSKI, J. (1972). Energy requirements of the growing pig. In: D.J.A. Cole (Ed.) Pig Production. The Pennsylvania State University Press, University Park, Pa.
- KOCH, P. J., M. D. GOLDSCHMIDT, M. J. WALSH, R. ZIMBELMANN, W. W. FRANKE. (1991). Complete amino acid sequence of the epidermal desmoglein precursor polypeptide and identification of a second type of desmoglein gene. *Eur. J. Cell Biol.* 55:200-208.
- KORNEGAY, E.T. (1998). Nutrient management can reduce nutrient excretion. *Feedstuffs*, May 25, 1998, pp. 14-15.
- LE GOFF, G., NOBLET, J. (2001). *J. Anim. Sci.* 79: 2418-2427.
- LECLERCQ B. (1998). *INRA Prod. Anim.*, 11: 263-272.
- LI, D.F., THALER, R.C, NELSEN, J.L., HARMON, D.L., ALLEE, G.L., WEEDEN, T.L. (1990). Effect of fat sources and combinations on starter pig

- performance, nutrient digestibility and intestinal morphology. *Journal of animal science*. 68: 3694-3704.
- LIZASO (1994). Programas de alimentación en el cebo de cerdos. Xº Curso de especialización FEDNA: *Avances en nutrición y alimentación animal*. Madrid, España. pp 151-175.
 - McCRAKEN, K.J. (1993). *Recent advances in Animal Nutrition in Australia*. Farrell, D.J. (Ed.). University of New England, Armidale, Australia. pp: 223-232.
 - MEDEL, P., FUENTETAJA, A. (2000). Efecto del perfil genético, del sexo, del peso al sacrificio y de la alimentación sobre la productividad y la calidad de la canal y de la carne de cerdos grasos. XVI Curso de Especialización FEDNA: *Avances en nutrición y alimentación animal*. Fira de Barcelona, España. 113-139.
 - MROZ Z., A. JONGBLOED, K. PARTANEN, K. VREMAN, P. KEMME Y J. KOGUT. (2000). The effects of calcium benzoate in diets with or without organic acids on dietary buffering capacity, apparent digestibility, retention of nutrients, and manure characteristics in swine. *J. Anim. Sci.*, 78(10): 2622–2632.
 - MUIRHEAD, M.R., ALEXANDER, T.J.L. (1997). Managing pig health and the treatment of disease. A reference for the farm. 5M Enterprises Ltd. Sheffield. U.K.
 - NOBLET, J., KAREGE, C., DUBOIS, S. (1991). Energy Metabolism of Farm Animals. Eds: C. Wenk and M. Boessinger. ETH, Zurich, pp. 107-110.
 - NOBLET, J., KAREGE, C., DUBOIS, S., VAN MILGEN, J. (1999). Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype. *Journal of Animal Science* 77: 1208-1216.
 - NYACHOTI, C.M., ZIJLSTRA, R.T., LANGE, C.F.M., PATIENCE, J.F. (2004). *Canadian J. Anim. Sci.* 84: 549-566.
 - OVERLAND, M., RØRVIK K-A, SKREDE, A. (1999). High-fat diets improve the performance of growing-finishing pigs. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 49(2): 83-88.
 - PEDERSEN, B.K AND T.N. MADSEN. (2001). Monitoring water intake in pigs: prediction of disease and stressors. In: R.R. Stowell and R.W. Bottcher (eds) Proceedings of the Sixth International Livestock Environment Symposium, Amer. Soc. Ag. Eng., St Joseph, MI.
 - PIC (2000). Pig Improvement Company. Impacto de las variables que determinan el desarrollo magro del cerdo.
 - PIÑEIRO, C., MONTALVO, J. (2005). La directiva IPPC para el control integrado de las emisiones contaminantes en ganadería intensiva de porcino. XXI Curso de Especialización FEDNA: *Avances en nutrición y alimentación animal*. Fira de Madrida, España. 189-212.

- POMAR, C., GAGNÉ, F., MATTE, J.J., BARNET, G., AND JONDREVILLE, C. (2008). The effect of microbial phytase on true and apparent ileal amino acid digestibilities in growing-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 86(7), pp. 1598-1608.
- PORTEJOIE ET AL. (2004). Effect of lowering dietary crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs. *Livest. Prod. Sci.* 91: 45-55.
- QUILES, A., HEVIA, M.L. (2008). *Producción Animal*. 23(244): 33-44.
- SANTOMÁ, G. PONTES, M. (2004). Interacción nutrición-manejo en explotaciones para aves y porcino. I Introducción y factores ambientales. XXº Curso de especialización FEDNA: *Avances en nutrición y alimentación animal*. Barcelona 2004. pp 149-210.
- SCHOWER, D., P. MOREL y A. REBSAMEN. (1989). *Proc. of the 40th Annual Meeting of the European Association for Animal Production*. Dublín, Irlanda.
- SMITH, P.H., M.T. LEMMON, R.D. LORENZ, L.A. SROMOVSKY, J.J. CALDWELL, M.D. ALLISON. (1996). Titan's surface, revealed by HST imaging. *Icarus*, 119: 336-349.
- SMITH J.W., TOKACH M.D., NELSSSEN J.L., GOODBAND R.D. (1999). Effects of lysine: calorie ratio on growth performance of 10- to 25-kilogram pigs. *Journal of animal science*. 77(11): 3000-3006.
- TIBAU, J., REIXACH, J., BATALLÉ, M.T. (1999). Tendencias genéticas en líneas maternales de raza Duroc. *VIII Jornadas Producción Animal*. Zaragoza (Comunicación).
- TORRALLARDONA, D., ESTEVE-GARCÍA, E., BRUFAU, J. (2003). Environmental impact of replacing soybean meal with barle and amino acids in diets for growing pigs under practical conditions. 9th International Symposium on Digestive Physiology in Pigs, Banff, AB, Canada. II: 326-328.
- VAN DER PEET-SCHWERING, CMC., AARNINK, AJA., ROM, HB., DOURMAD JY. (1999). Ammonia emissions from pig houses in The Netherlands, Denmark and France. *Livestock Production Science* 58: 265-269.
- VAN KLEEF, D. J., K. DEURING, AND P. VAN LEEUWEN. (1994). A new method of faeces collection in the pig. *Lab. Anim.* 28:78-79.
- VAN MILGEN, J., QUINIOU, N., NOBLET, J. (2000). Modelling the relation between energy intake and protein and lipid deposition in growing pigs. *Animal Science* 71: 119-130.

- VAN MILGEN, J., NOBLET, J. (2000). Modelling energy expenditure in pigs, in: Modelling nutrient utilization in farm animals, eds. J.P McNamara, J. France, and D.E. Beever, pp. 103-114. Ed. CAB International, Oxon, U.K.
- VAN MILGEN, J., NOBLET, J. (2003). Partitioning of energy intake to heat, protein, and fat in growing pigs. *Journal of Animal Science*, 81(2): 86-93.
- WEATHERUP, R.N., V.E. BEATTIE, B.W. MOSS, D.J. KILPATRICK, N. WALKER. (1998). *Anim. Sci.* 67: 591-600.
- WOOD J.H., HORNE K., BERRIMAN G., WADE R.A., O'DONOGHUE D., WARNER B., (1986), *MNRAS* 219, 629.
- ZHU, J., P. M. NDEGWA, A. LUO. (2000). Changes in swine manure solids during storage may affect separation efficiency. *Applied Engineering in Agriculture* 16(5): 571-575.