

## **ESTRATEGIAS NUTRICIONALES PARA REDUCIR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN LA PRODUCCIÓN DE CERDOS**

Leo den Hartog y Reinder Sijtsma  
Nutreco Agri R&D and Quality Affairs.  
PO Box 220. 5830 AE Boxmeer. The Netherlands.  
leo.den.hartog@nutreco.com

### **1.- INTRODUCCIÓN**

La preocupación por los temas ambientales supone un desafío creciente para la industria ganadera. La producción intensiva de porcino es una fuente reconocida de polución. A pesar del éxito de los esfuerzos realizados en muchos países, elevadas cantidades de nutrientes valiosos se emiten todavía a través del purin. El nitrógeno y el fósforo en particular, así como microminerales como el cobre, el cinc y el selenio son considerados perjudiciales para el medio. Además, la producción intensiva de porcino contribuye a la emisión de partículas finas de polvo y de ciertos gases como el amoníaco, el metano y otros compuestos volátiles que contienen nitrógeno y/o azufre que dan lugar a malos olores. Para un desarrollo sostenible de la cadena de producción porcina es de crucial importancia reducir el impacto ambiental de las granjas intensivas. Un cuidadoso manejo del suministro de nutrientes en combinación con prácticas de manejo y el uso de equipos adecuados en granjas han demostrado ser eficaces. El objetivo de esta revisión se enfoca hacia las estrategias nutricionales que pueden reducir adicionalmente el impacto de la producción porcina sobre el medioambiente.

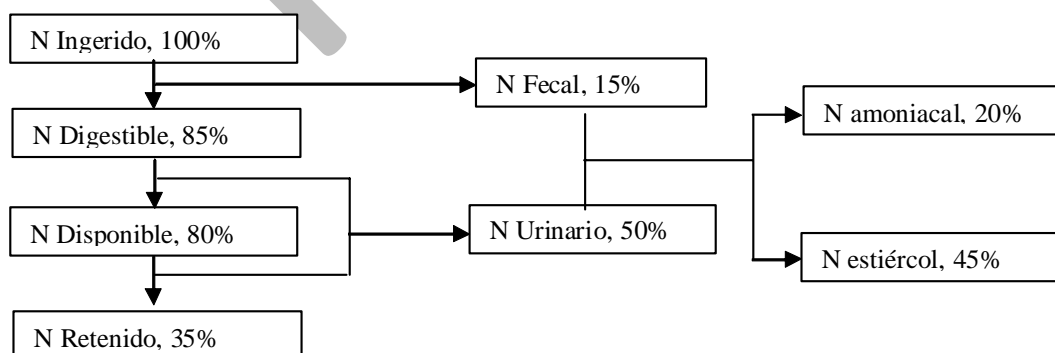
### **2.- RETENCIÓN Y EXCRECIÓN DE NUTRIENTES**

Todos los nutrientes que no son retenidos en los animales se eliminan en el estiércol. Las eficacias con las que los animales usan los nutrientes ingeridos para su retención corporal son generalmente bajas. Además, la retención es altamente variable, dependiendo de muchos factores como el nivel de inclusión del nutriente en el pienso, su

digestibilidad, las interacciones con otros nutrientes, el estado productivo, los rendimientos, el estrés fisiológico y la capacidad de almacenamiento (Ferket et al., 2002; Murphy y de Lange, 2004). Los nutrientes para los que no hay capacidad de almacenamiento, como los electrolitos, se retienen en una cantidad bastante constante cuando se expresan en términos absolutos. En contraste, los que pueden almacenarse, como el cobre y el cinc, se retienen en una cantidad aproximadamente proporcional a las cantidades ingeridas. Sin embargo, la retención puede aumentar significativamente cuando se expresa por unidad de peso de tejidos corporales y el nutriente se suministra en exceso (Stahly et al., 2002).

Aunque la mayor parte del nitrógeno alimenticio está presente en forma de proteína, péptidos o aminoácidos, el exceso no retenido en los tejidos corporales puede encontrarse en otras formas en las heces y la orina, después de ser o no metabolizado. La figura 1 muestra esquemáticamente el flujo de nitrógeno en los cerdos. La urea se encuentra principalmente en la orina y, los péptidos y aminoácidos en las heces. Estos últimos pueden proceder del alimento, de las secreciones endógenas y/o de la conversión bacteriana. Se estima que la urea y los péptidos y proteínas suponen entre un 40-80% y un 30-50%, respectivamente, de la excreción total de nitrógeno. Además, algunos otros compuestos nitrogenados, tales como aminoácidos, aminos biógenas, creatinina y ácido hipúrico, se excretan a través de la orina y las heces. La suma de estos componentes oscila habitualmente entre un 1 y un 10% de la excreción total de nitrógeno. Una vez excretada, la urea se convierte rápidamente en amoníaco. El amoníaco es un gas nocivo para humanos y animales y contribuye al mal olor y a la acidificación del ambiente. Las fuentes de nitrógeno excretadas en las heces son menos volátiles que el nitrógeno urinario, puesto que el nitrógeno fecal se encuentra unido químicamente dentro de proteínas y otros compuestos.

**Figura 1.- Flujo de nitrógeno en cerdos** (Ferket et al., 2002).



Como consecuencia de la complejidad del metabolismo, las estimaciones de retención y excreción de nutrientes deben ser interpretadas con prudencia. La mayor parte de las investigaciones se han centrado en el nitrógeno y fósforo, nutrientes para los que existen disponibles datos relativamente precisos, incluso para condiciones similares a las vistas en la práctica. Para otros nutrientes, las estimaciones son menos precisas. En particular, para los minerales traza la metodología parece jugar un papel importante. Así, los datos de retención basados en análisis de tejidos son normalmente más bajos que los calculados a partir de los niveles excretados.

Los valores medios normales de retención y excreción para cerdos en cebo y cerdas lactantes con sus crías en condiciones prácticas se muestran en los cuadros 1 y 2, respectivamente, (recopilados por Nutreco, 2007, en base a varias fuentes). Es importante destacar que estos valores proceden de granjas de los Países Bajos. Sin embargo, se han observado grandes variaciones en otros países europeos, ligadas a diferencias en el nivel de producción y a aspectos metodológicos (cuadro 3). De media, con la excepción de carbohidratos y grasa, al menos dos tercios de los nutrientes consumidos, incluyendo aquellos con relevancia desde el punto de vista ambiental, son excretados en el estiércol. Este nivel tan extremadamente bajo de eficacia da opción a disminuir de forma relevante la excreción de nutrientes mediante la mejora de las eficacias de retención en el cerdo.

### **3.- NUTRIENTES CON EL MAYOR IMPACTO AMBIENTAL**

Nitrógeno, fósforo, cobre, cinc y selenio son considerados los nutrientes de mayor impacto ambiental cuando el estiércol no se usa o se procesa de manera sostenible. Este es particularmente el caso cuando los purines se dispersan sobre el terreno en niveles que exceden las cantidades que pueden utilizarse por las cosechas y pastos, o que puedan ser absorbidas por las partículas del suelo sin que se acumulen de forma anormal. Emisiones de nitrógeno excesivas, tanto en forma de nitrógeno inmovilizado como de amoníaco, afectan de forma adversa a la calidad del agua (tanto la superficial como la subterránea) y han sido responsabilizadas de la lluvia ácida. Además, altos niveles de amoníaco en el aire de los alojamientos del ganado porcino afectan negativamente la productividad de los animales, la salud de los trabajadores y la imagen pública de la industria. Especialmente durante el invierno, cuando la ventilación es limitada, la concentración en amoníaco en muchas granjas excede los niveles recomendados. Emisiones de fósforo excesivas conducen a la eutrofización. Las aguas superficiales se convierten en eutróficas cuando nutrientes minerales y orgánicos reducen el oxígeno disuelto a niveles que favorecen a la vida vegetal con respecto a la animal (Sharpley et al., 1994). Un excesivo crecimiento de algas verdiazules debido a aportes excesivos de fósforo es problemático porque producen toxinas que pueden afectar a la salud de animales y humanos (Kotak et al., 1993).

Cuadro 1.- Balance de nutrientes en cerdos de cebo<sup>1,2</sup>

Nutriente	Nivel en piensos	Balance de nutrientes, por plaza y año (% del consumo total)				
		Consumo	Retención	Excreción		
	kg			kg	Heces	Orina
		g/kg	kg		kg	kg
Total		729				
MS	880	639	151 (76)	115 (18)	38 (6)	153 (24)
N	25,0	18,2	6,8 (37)	2,9 (16)	8,1 (47)	11,5 (63)
P	4,8	3,5	1,5 (44)	1,8 (51)	0,2 (5)	2,0 (56)
K	10,9	7,9	0,9 (11)	0,4 (5)	6,7 (84)	7,1 (89)
Na	1,8	1,3	0,2 (15)	0,0 (2)	1,1 (83)	1,1 (85)
Cl	4,0	2,9	0,4 (14)	0,1 (1)	2,4 (85)	2,5 (86)
Ca	7,0	5,1	2,9 (57)	2,1 (41)	0,1 (2)	2,2 (43)
Mg	2,0	1,5	0,2 (13)	1,1 (75)	0,2 (12)	1,3 (87)
S	2,8	2,0	0,4 (20)	0,5 (27)	1,1 (53)	1,6 (80)
	<b>m/kg</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>
Cu	25	18	0,4 (2)	17,6 (98)	0,0 (0)	17,6 (98)
Se	0,4	0,29	0,06 (21)	0,01 (2)	0,22 (77)	0,23 (79)
Zn	150	109	8 (7)	100 (92)	1 (1)	101 (93)

1) Niveles medios en piensos: Nutreco, 2007 y Retención estimada de N y P (Jongbloed y Kemme, 2005); otros minerales (NEVO-table, 2006).

2) Bases de cálculo (Jongbloed y Kemme, 2005): 26-114 kg PV, 780 g de ganancia de peso/día, período de cebo 113 días, 3,21 lotes por año, consumo total pienso por plaza y año 729 kg, programa de alimentación con 3 fases, p.e. estarter, crecimiento y acabado, 48, 225 y 456 kg por año, respectivamente.

**Cuadro 2. Balance de nutrientes en cerdas, incluyendo los lechones hasta los 25 kg de PV<sup>1,2,3</sup>.**

Nutriente	Nivel en piensos g/kg		Balance mineral por plaza y año, incluyendo lechones (% consumo total)					
			Consumo	Retención	Excreción			
	kg	kg			Heces kg	Orina kg	Total kg	
	Cerdas	Lechones						
Total								
- cerdas			1162					
- lechones			742					
MS	880	880	1675	1273 (76)	302 (18)	100 (6)	402 (24)	
N	22,1	28,5	46,8	16,7 (36)	7,5 (16)	22,6 (48)	30,1 (64)	
P	5,0	5,5	9,9	3,6 (36)	5,6 (56)	0,8 (8)	6,3 (64)	
K	11,4	9,2	20,1	2,2 (11)	0,8 (4)	17,1 (85)	17,9 (89)	
Na	1,8	1,8	3,4	0,5 (15)	0,1 (2)	2,8 (83)	2,9 (85)	
Cl	4,0	4,0	7,6	1,1 (14)	0,1 (1)	6,4 (85)	6,5 (86)	
Ca	8,0	7,0	14,5	7,7 (53)	6,5 (45)	0,3 (2)	6,8 (47)	
Mg	2,0	2,0	3,8	0,5 (13)	2,9 (75)	0,5 (12)	3,3 (87)	
S	2,8	2,8	5,3	1,1 (20)	1,6 (27)	2,8 (53)	4,2 (80)	
	<b>mg/kg</b>		<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	<b>g</b>	
Cu	25	170	155	2 (1)	146 (99)	0,0 (0)	153 (99)	
Se	0,4	0,4	0,76	0,18 (24)	0,02 (2)	0,56 (74)	0,58 (76)	
Zn	133	161	274	24 (9)	249 (90)	1 (1)	250 (91)	

1) Niveles medios en piensos: Nutreco, 2007 y Retención estimada: N and P (Jongbloed & Kemme, 2005); otros minerales (NEVO-table, 2006).

2) Bases de cálculo (Jongbloed & Kemme, 2005): cerdas de 220 kg PV medio, consumo total de pienso por cerda 1162 kg (65% pienso gestación, 35% pienso lactación) y por lechones 742 kg; número de partos/año 2.34, tasa de reposición de cerdas 45%, lechones nacidos vivos por parto 11,8; consumo de pienso por lechón hasta los 26 kg de PV (alrededor de 10 semanas de edad): 4,5 kg pienso destete y 26,2 kg pienso estarter).

3) Consumo y retención calculados para la media ponderada de cerdas y lechones.

**Cuadro 3.- Valores medios normales de excreción de N en cerdos de cebo en Europa en condiciones prácticas (todos los países excepto los Países Bajos: Dämmgen, 2006; Países Bajos: Jongbloed y Kemme, 2005).**

País	N kg animal <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	País	N kg animal <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>
España	9,1	Alemania	13,7
Dinamarca	9,4	Austria	14,3
UK	10,0	Francia	17,4
Países Bajos	10,9	Hungría	20,0
Italia	11,5	República Checa	20,0

Aunque la mayoría de los tipos de suelos son deficitarios en cobre, cinc y selenio, los suelos que han recibido aplicaciones repetidas de estiércol pueden eventualmente acumular niveles excesivos de estos minerales, que son tóxicos para muchas plantas y algunos animales en pastoreo. Sólo en pocos casos el exceso de aporte de nitrógeno, fósforo, cobre, cinc y selenio permanece unido al suelo y no migra al agua, excepto durante el proceso de erosión del suelo. Por tanto, salvo que el cinc y el cobre sean extraídos del suelo por las plantas, se produce acumulación, lo que finalmente resultará en una situación no sostenible para algunas cosechas (Ferket et al., 2002).

#### **4.- ESTRATEGIAS ALIMENTICIAS PARA REDUCIR LA EXCRECIÓN DE NUTRIENTES**

##### **4.1.- Mejora de la eficacia alimenticia**

###### *Incremento de la productividad*

La estrategia más obvia para reducir la excreción de nutrientes es aumentar la productividad de los animales. En general, una mayor eficacia alimenticia conduce a una menor excreción de todos los nutrientes. Una mejora del índice de conversión de 0,1 unidades reduce la excreción de nutrientes en un 3% (Coffey, 1996).

###### *Reducción del desperdicio de alimento*

Una cantidad significativa de nutrientes puede terminar en los purines simplemente porque es desperdiciada por el animal como resultado de un incorrecto diseño de los comederos o de su localización y por la forma de presentación del pienso. La fabricación de piensos en pellets uniformes y de adecuada durabilidad aumenta la densidad y reduce la

segregación y la formación de polvo, disminuyendo por tanto las pérdidas durante el manejo, transporte, almacenamiento y distribución. Se estima que el contenido en nitrógeno y fósforo del purin aumenta en un 1,5% por cada 1% de incremento en la cantidad de alimento desperdiciada por el cerdo. Como las pérdidas se estiman en alrededor de un 5% de pienso, y en algunas condiciones prácticas incluso más, éste es un factor muy importante a ser controlado (Gonyou y Lou, 1998).

#### **4.2.- Adecuación a las necesidades nutricionales**

##### *Evitar excesos*

Una estrategia importante para reducir la excreción de nutrientes es cubrir las necesidades de los cerdos teniendo en cuenta el potencial genético, sexo, nivel de producción, estado fisiológico y sistema de manejo en granjas. De esta forma se pueden evitar excesos de consumo y, como resultado, se excretarán niveles más bajos de nutrientes. En la práctica no siempre es tan fácil, dado que una estimación precisa de las necesidades nutricionales varían en función de muchos factores. Existen varias referencias y modelos disponibles para estimar las necesidades que están continuamente siendo evaluados y modificados. Además, la mayoría de las necesidades han sido determinadas en condiciones de laboratorio donde los animales están muy controlados y las condiciones ambientales son mantenidas tan próximas como es posible al óptimo. Estos resultados no son normalmente aplicables a condiciones de campo donde los animales están expuestos a condiciones ambientales diferentes y en granjas donde existe el riesgo de ciertas enfermedades. Por ejemplo, con temperaturas altas los cerdos tienden a consumir menos y necesitan más energía para la disipación de calor que cuando están expuestos a temperaturas dentro de la zona térmica de confort. Por tanto, cuando los cerdos están expuestos a temperaturas por encima de su zona térmica de confort deberían recibir dietas de alta densidad energética con una relación proteína-energía baja.

##### *Concepto de proteína ideal*

Una herramienta importante para la estimación de las necesidades de aminoácidos fue la introducción del concepto de proteína ideal. Este concepto, desarrollado originalmente en la Universidad de Illinois, expresa todos los aminoácidos esenciales como un porcentaje de la lisina. La lisina es una buena referencia porque no existen datos precisos disponibles sobre necesidades de otros aminoácidos esenciales distintos a la lisina. Utilizando un perfil establecido de relaciones de otros aminoácidos esenciales con la lisina, es posible formular una proteína ideal sin haber establecido independientemente las necesidades para cada aminoácido (Baker, 1991). En la práctica, se utilizan los primeros aminoácidos más limitantes, como la lisina, metionina, treonina y triptófano. Estos aminoácidos están disponibles comercialmente en formas cristalinas a un precio competitivo, a diferencia de otros aminoácidos esenciales y semi-esenciales. Para prevenir posibles deficiencias de otros aminoácidos esenciales, se utilizan ciertos márgenes de

seguridad en los niveles de proteína que eviten un empeoramiento de los rendimientos. No obstante, según Lenis y Schutte (1990), el nivel medio de proteína bruta de un pienso de cerdos puede ser reducido en 3 unidades porcentuales (p.e. desde el 16 al 13% de PB) sustituyendo harina de soja por aminoácidos sintéticos y maíz, sin efectos negativos sobre los rendimientos productivos. Boisen et al. (1991) demostraron que dietas bajas en proteína suplementadas con aminoácidos reducían la excreción de nitrógeno en alrededor de un 24% sin afectar a la velocidad de crecimiento de los cerdos, con independencia del número de piensos utilizado en la alimentación por fases. Kerr (1995) realizó una revisión exhaustiva de 35 trabajos sobre suplementación con aminoácidos en piensos de cerdos y pollos y observó que la excreción de nitrógeno podía ser reducida desde un 2,3 a un 22,5% por cada unidad de descenso en el nivel de proteína bruta de las dietas. De media, la suplementación con aminoácidos de dietas bajas en proteína, tanto para cerdos como para aves, reduce la excreción de nitrógeno en un 8,5% por cada unidad porcentual de reducción del nivel de proteína de las dietas, independientemente del peso vivo. Schutte et al. (1993) determinaron que por cada unidad porcentual que se reduce el nitrógeno del alimento, la excreción de nitrógeno disminuye un 10%.

Aunque las dietas bajas en proteína pueden ser suplementadas con aminoácidos sintéticos para cubrir las necesidades teóricas del perfil de aminoácidos y reducir significativamente las emisiones de nitrógeno, no siempre resulta económicamente posible. La rentabilidad de dietas bajas en proteínas suplementadas con aminoácidos depende de los precios de mercado: cuanto mayor sea el precio de mercado de la proteína en relación con los aminoácidos sintéticos, la formulación a mínimo coste de los piensos favorecerá a dietas bajas en proteína. Además, existe un límite para la reducción del nivel de proteína de los piensos a partir del cual el crecimiento o la producción de carne pueden verse negativamente afectados. La disminución en la producción de carne (una medida de la retención de proteína) puede estar relacionada con una deficiencia en nitrógeno *per se* o por diferencias en la eficacia de utilización de los aminoácidos sintéticos y las proteínas intactas (Kerr, 1995). Idealmente, el coste de manejo del nitrógeno contenido en el estiércol o la yacija debería ser considerado en la formulación a mínimo coste de piensos bajos en proteína.

#### *Alimentación por fases y multi-fases*

Los programas de alimentación por fases satisfacen las necesidades de los animales siguiendo los cambios con la edad o el tamaño del animal y reducen el número de animales que son alimentados con un exceso o un defecto de nutrientes. Cuanto mayor es el número de fases, con mayor precisión se cubren las necesidades en nutrientes. Además de la disminución en los costes de alimentación, la excreción de minerales también puede ser reducida significativamente. Para cerdos entre 25 y 115 kg, cambiar el número de fases de 1 a 2 reduce la excreción de nitrógeno en un 13% (Koch, 1990), y cambiando a un programa de 3 fases en un 17,5% (van Kempen, 2000). Reducciones similares fueron



observadas por Henry y Dourmand (1993) para cerdos entre 25 y 105 kg: de 1 a 2 ó 3 fases, un 9 y un 16%, respectivamente. Van der Peet-Schwering et al. (1996) demostraron que la alimentación por fases disminuye la excreción urinaria de nitrógeno en un 14,7% y las emisiones de amoníaco en un 16,8%.

Una aproximación de alimentación por fases para el fósforo podría reducir significativamente las emisiones de este mineral, dado que las necesidades de fósforo están estrechamente asociadas al desarrollo del esqueleto. Dado que el desarrollo óseo disminuye sustancialmente a medida que el animal crece, el potencial para reducir la excreción de fósforo aumenta de forma paralela.

#### *Alimentación separada por sexos*

La alimentación separada por sexos puede optimizar las necesidades nutricionales de acuerdo con los cambios en la edad, sexo y potencial de crecimiento. En la alimentación separada por sexos se deben tener en cuenta las diferencias en necesidades de cerdas, castrados y verracos. Los castrados normalmente poseen una mayor capacidad de ingestión con un potencial más bajo para la ganancia de magro, y por tanto las dietas deberían tener niveles más bajos de aminoácidos. Por otro lado, las hembras precisan generalmente dietas más bajas en proteína que los machos, pero el coste de la separación por sexos a menudo no es económicamente rentable.

### **4.3.- Utilización de técnicas modernas de formulación**

#### *Tablas nuevas de materias primas*

Una vez que las necesidades nutricionales están establecidas, los piensos deben ser formulados tan próximos a las especificaciones como sea posible y los márgenes de seguridad en la formulación deben ser minimizados para evitar excesos de nutrientes. Para este propósito es preciso disponer de sofisticadas tablas de valoración de materias primas con niveles de nutrientes precisos y datos de digestibilidad de todos los nutrientes. Actualmente hay disponibles algunas de estas tablas para el ganado porcino (NRC, 1998; CVB, 2006).

#### *Formulación en base a nutrientes digestibles*

La formulación en base a nutrientes digestibles o disponibles da lugar a dietas más aproximadas a las necesidades. En cerdos, la digestibilidad de los aminoácidos se mide normalmente analizando su excreción en recogidas fecales o ileales. Aunque el método ileal requiere una operación quirúrgica, la digestibilidad ileal de los aminoácidos tiene ventajas sobre la digestibilidad total o fecal ya que las estimas ileales resultan de un punto donde la absorción de aminoácidos es completa y se evita el impacto potencial de los microorganismos del intestino grueso sobre el metabolismo de los aminoácidos. Además, las digestibilidades ileales tienen parcialmente en cuenta los efectos de gran parte de los

factores antinutritivos (Barth et al., 1993). Existe cierto debate sobre si deben ser utilizados valores de digestibilidad ileal aparente o verdadera en la formulación de piensos. Las medidas de digestibilidad aparente tienen en cuenta tanto el flujo de nutrientes indigestibles como el de origen endógeno. Sin embargo, la concentración del nutriente en el alimento afecta a este valor. Así por ejemplo, cuando aumenta el contenido en proteína bruta aumenta la digestibilidad aparente de los aminoácidos. En contraste, los valores de digestibilidad verdadera incluyen una corrección por secreciones endógenas, por lo que no dependen del nivel del nutriente en el pienso (Stein et al., 2007).

En el caso del fósforo, existen métodos de valoración tanto en fósforo disponible como digestible. Sin embargo el término P disponible puede tener dos significados. Por un lado se usa como sinónimo de P digestible, es decir el P absorbido calculado por diferencia entre la cantidad de P ingerida y la cantidad total que alcanza el íleon. Por otra parte, se usa también para expresar todo el P que no está unido a inositol y que, en principio, es asimilable. Las fuentes de P inorgánico se supone que son 100% digestibles en ganado porcino. Sin embargo, algunos estudios han demostrado que la disponibilidad de las fuentes de P inorgánico varía ampliamente (De Groote y Huyghebaert, 1996; Van Der Klis y Versteegh, 1996). El fosfato monocálcico tiene una biodisponibilidad relativamente más alta que el fosfato bicálcico, mientras que el fosfato defluorinado presenta los valores más bajos (De Groote y Huyghebaert, 1996). Por otra parte, algunos ingredientes alimenticios, incluyendo los cereales, poseen actividad fitásica y como consecuencia el P unido al fosfato de inositol puede convertirse en disponible (Van Der Klis y Versteegh, 1996). Aunque las condiciones experimentales en las que se determinan las digestibilidades del P afectan el resultado, la formulación de piensos de porcino en base a P digestible parece ser suficiente precisa y recomendable.

#### *Reducción de la variabilidad de la composición del pienso*

Los niveles reales de nutrientes en los ingredientes alimenticios pueden variar considerablemente. Esta variabilidad es habitualmente más elevada en subproductos de la agro-industria y de la industria de los biocarburantes que en alimentos intactos. Para confirmar los valores de la matriz de formulación, son necesarios análisis frecuentes y precisos de los ingredientes una vez que llegan a fábrica. Además, el análisis de piensos terminados permite detectar problemas en la mezcla de ingredientes y en el proceso de fabricación. El uso de la tecnología de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) o de otras técnicas de análisis rápidos previas a la fabricación de cada partida de pienso permite la formulación en tiempo real y una reducción significativa de los márgenes de seguridad de los nutrientes que resulta crítica para la seguridad ambiental (van Kempen, 2000). Otras aplicaciones potenciales del NIR incluyen la determinación de la cantidad de Ca y P unida a moléculas orgánicas y de la uniformidad de la mezcla de ingredientes (Mendez et al., 1999).

En contraste, muchos programas de control de calidad de fábricas de pienso sólo incluyen determinaciones del contenido en proteína bruta y humedad de las materias primas. Estas medidas son excesivamente simples y están poco correlacionadas con el contenido en aminoácidos disponibles del pienso, resultando en una mayor variabilidad de la deseable para una nutrición precisa. La reducción de esta variabilidad mediante un control de calidad adecuado puede reducir la excreción de nitrógeno en un 13-27% (van Kempen y Simmins, 1997).

#### **4.4.- Mejora de la digestibilidad y biodisponibilidad de nutrientes**

Existen varias formas de mejorar la digestibilidad de los alimentos, incluyendo el uso de una adecuada tecnología de fabricación, la elección de materias primas y la adición de aditivos, tales como enzimas y ácidos orgánicos.

##### *Tecnología de fabricación del pienso*

La molienda fina y la granulación del pienso son formas efectivas de mejorar la eficacia alimenticia y de disminuir la excreción de materia seca y minerales. Reduciendo el tamaño de partícula se incrementa el área superficial de las partículas de los ingredientes alimenticios, lo que permite una mejor interacción con las enzimas digestivas (Wondra et al., 1995). Sin embargo, partículas alimenticias excesivamente finas pueden aumentar las úlceras esofágicas en cerdos (Eisemann y Argenzio, 1999). Hipotéticamente, la combinación de una molienda fina de los concentrados proteicos y gruesa de los fibrosos podría ser una solución óptima. El procesado térmico con vapor, combinado o no con presión (por ej. expansión, extrusión y granulación) mejora la digestibilidad del pienso por la desactivación de factores antinutritivos (FANs) y por el aumento de la gelatinización del almidón. Sin embargo, un tratamiento excesivo puede conducir a resultados opuestos debido a la retrogradación del almidón, la formación de productos de Maillard e incluso la caramelización de azúcares (Mavromichalis y Baker, 2000; Lui et al., 2006).

##### *Elección de materias primas*

La elección de ingredientes alimenticios tiene una gran influencia sobre la digestibilidad de los nutrientes. En particular, la presencia de polisacáridos no amiláceos y de FANs en alimentos vegetales crudos puede afectar tanto a su digestibilidad como a su biodisponibilidad. Además, alteran la velocidad de paso de la digesta, aumentan la actividad microbiana en el intestino delgado y modifican la textura de las heces (alto contenido en agua, color inusualmente claro u oscuro). Las consecuencias nutricionales incluyen depresión del crecimiento, empeoramiento de la conversión alimenticia y del rendimiento a la canal (Ferket et al., 2002).

El impacto sobre la disponibilidad de los minerales puede caracterizarse por un efecto directo no específico (por ej. ácido oxálico y fosfatos de inositol) dado que el ácido

fitico forma complejos con casi todos los minerales en el aparato digestivo. El efecto puede ser también directo; así el goposol se une exclusivamente con el hierro en el aparato digestivo, mientras que los glucosinolatos lo hacen con el yodo (D'Mello y Duffus, 1991; Huisman y Tolman, 1993).

Además, los FANs pueden afectar también a la digestibilidad del nitrógeno. Inhibidores de tripsina, quimotripsina, polifenoles, lectinas y saponinas interfieren con la digestibilidad y utilización de las proteínas, péptidos y aminoácidos. Como consecuencia, los ingredientes alimenticios que contienen estos FANs son habitualmente procesados, o bien el contenido en FANs se reduce por la mejora genética de plantas (Huisman y Tolman, 1993).

#### *Enzimas que optimizan la digestibilidad y biodisponibilidad del alimento*

La adición al pienso de varias enzimas incrementa también la digestibilidad de los nutrientes. Las fitasas de origen microbiano, en particular, se usan actualmente en muchos países para complementar la insuficiente actividad fitásica endógena en ganado porcino. Como consecuencia, el uso de fosfatos inorgánicos se ha reducido sensiblemente. Las fitasas son enzimas que pueden hidrolizar los fosfatos de inositol indigestibles, tales como el ácido fitico (fitato) que se encuentra en muchos ingredientes de origen vegetal, y liberar por tanto fósforo digestible (Jongbloed et al., 1993, 2000). Además, como los fosfatos de inositol se unen fácilmente con macro y microminerales, la hidrólisis causada por las fitasas aumenta también la digestibilidad de estos nutrientes (Peter et al., 1999). La liberación de aminoácidos ha sido también revisada (Selle et al. 2000; Adeola y Sands, 2003) pero existe todavía controversia al respecto (Traylor et al., 2001). Se estima que la adición de fitasas microbianas puede reducir la cantidad de P unido a inositol en un 50-70%, aumentando por tanto sensiblemente la digestibilidad del P (Sands et al., 2003). En la práctica, la adición de fitasas permite alcanzar disminuciones de un 20-30% en la excreción de P.

La suplementación de la dieta con otros tipos de enzimas puede aumentar la disponibilidad de polisacáridos de reserva y proteínas, que de otra manera serían inaccesibles a las enzimas endógenas. Mediante el uso de enzimas exógenas capaces de hidrolizar carbohidratos, tales como la celulosa, hemicelulosa, pectinas y glicoproteínas, nutrientes como almidón, proteína, grasa y minerales se hacen más disponibles. Las enzimas pueden también hidrolizar enlaces específicos presentes en los alimentos que no pueden degradarse por las enzimas endógenas, liberando así más nutrientes. Además, las enzimas exógenas pueden ayudar a superar una digestión inadecuada en animales jóvenes, cuando la producción de enzimas endógenas resulta insuficiente y limitante. Una parte del almidón y proteína potencialmente útiles puede escapar a la digestión en el intestino delgado de los cerdos (Graham et al., 1988; Low y Longland, 1990). Esta digestión inadecuada puede ser debida a una producción insuficiente de enzimas (especialmente en

animales jóvenes) y a periodos de estrés, tales como el destete, la vacunación o la exposición a temperaturas ambiente inadecuadas. En estas condiciones, la suplementación con enzimas exógenas puede permitir que el animal digiera y absorba la cantidad máxima de nutrientes. Finalmente, algunos suplementos enzimáticos hidrolizan varios FANs en muchos alimentos, aumentando así su valor nutricional (Ferket et al., 2002).

#### *Ácidos orgánicos para la optimización de la digestibilidad y biodisponibilidad*

La acidificación del pienso aumenta la proteólisis gástrica y la digestibilidad de la proteína y de los aminoácidos. El anión ácido forma complejos con Ca, P, Mg y Zn, lo que resulta en una mejora de la digestibilidad de estos minerales (Kirchgesner y Roth, 1988). Se ha señalado que el efecto de los ácidos orgánicos es más pronunciado en lechones recién destetados (Gabert y Sauer, 1994; Roth y Kirchgesner, 1998), que a menudo sufren problemas digestivos que resultan en diarrea relacionada con infecciones con *E. coli*. Los ácidos orgánicos y las fitasas utilizados conjuntamente parecen tener un efecto adicional sobre la digestibilidad de algunos aminoácidos en lechones (Omogbenigun, 2003).

#### *Microminerales orgánicos*

La forma química en la que los microminerales se suministran tiene un gran impacto sobre la biodisponibilidad. En los suplementos orgánicos de microminerales los iones metálicos se pre-quelatan con ligandos de diferente naturaleza con el objetivo de imitar las formas naturales en las que los minerales se encuentran en los alimentos. De esta forma, se protegen frente a antagonistas presentes en la dieta que generalmente reducen su absorción. Sin embargo, no todos los trabajos realizados al respecto han detectado diferencias entre las fuentes de microminerales orgánicas e inorgánicas. Los beneficios de suplementar con ácidos orgánicos parecen depender del método experimental utilizado y son más evidentes cuando se previene el estrés nutricional o fisiológico (Martin-Tereso et al., 2007). En particular cuando los piensos contenían niveles marginales de microminerales, los efectos de los ácidos fueron más pronunciados (Schlegel y Windisch, 2006). Además, el tipo de ligando orgánico, y particularmente la fuerza del enlace entre mineral y ligando, parece tener un efecto con respecto a su eficacia (Martin-Tereso et al., 2007). Finalmente, los microminerales orgánicos, tales como las levaduras con selenio, parecen ser menos tóxicos que las fuentes inorgánicas.

#### *Mejora de plantas para incrementar la disponibilidad de nutrientes*

Los mejoradores genéticos están desarrollando nuevas fuentes de alimentos altamente digestibles que pueden tener un impacto considerable sobre la eficacia de utilización de los nutrientes por el ganado porcino. En particular las variedades con bajo contenido en FANs, tales como los fitatos, parecen ser efectivas. Variedades de maíz con niveles bajos de fitatos o con una elevada disponibilidad del P, contienen la misma cantidad de P que las variedades normales pero sólo un 35% está en forma de fosfato de inositol frente a un 80% en las variedades normales (Stillborn, 1998). Como consecuencia,

el P en estas variedades es más disponible para el ganado porcino (Cromwell et al., 1998; Spencer et al., 1998). Otra estrategia que se está desarrollando es la incorporación de un gen de fitasa fúngica en plantas, de forma que las fitasas se expresen en la semilla a altos niveles (Stillborn, 1998). Sin embargo, las condiciones de procesado son un inconveniente al inactivar las fitasas independientemente de cómo se incorpore al pienso.

Desde un punto de vista práctico, el uso de nuevos ingredientes en piensos comerciales plantea algunos problemas. Este es el caso especialmente de la necesidad de autorización para el uso de ingredientes modificados genéticamente. Este proceso requiere un tiempo considerable en la Unión Europea, en parte por cuestiones de seguridad y en parte por razones políticas.

#### *Estabilizantes alimentarios de la flora intestinal*

Los microorganismos del tracto gastrointestinal afectan a los rendimientos de crecimiento y a la eficacia de utilización de los alimentos por parte del animal huésped. Las características del ecosistema de flora intestinal pueden afectar a la morfología del lumen intestinal, modificar metabólicamente los nutrientes exógenos y endógenos dentro del lumen, alterar la función inmune, jugar un papel activo en el control de patógenos e influir en las necesidades nutritivas del animal. Si un ecosistema de la microflora de un animal es inestable como consecuencia de una patología clínica o subclínica, la retención de nutrientes se reduce y la excreción de minerales aumenta. La diarrea y la baja eficacia digestivas asociadas a un ecosistema intestinal desestabilizado aumenta también el olor y los problemas de manejo del estiércol. El método tradicionalmente preferido para estabilizar o modificar favorablemente la microflora intestinal ha sido el uso de promotores de crecimiento antimicrobianos (AMGPs) o minerales como el cobre o el cinc. Sin embargo el uso de estos productos está actualmente o bien prohibido o bien muy restringido. Sin embargo, el impacto de tales productos para reducir las emisiones contaminantes no puede ser ignorado. Suponiendo que un promotor de crecimiento mejore la conversión en un 3%, la emisión de nitrógeno y P se reducirá en alrededor de un 4,5%.

Se han desarrollado alternativas a los AMGPs basadas en la exclusión competitiva, tales como modificadores entéricos prebióticos, para contrarrestar el efecto depresor del crecimiento que ciertos géneros de bacterias provocan en los animales (de sustratos Gibson y Roberfroid, 1994; Spring, 1997). Dos clases habituales de prebióticos oligosacáridos son los mananoligosacáridos y a los fructooligosacáridos, ambos han demostrado mejorar el índice de conversión y la utilización digestiva de ciertos nutrientes de la dieta, como el calcio y el magnesio (Parks et al., 2001; Ohta et al., 1998). Hasta ahora los prebióticos han demostrado ser eficaces en avicultura pero sus efectos en cerdos necesitan todavía más investigación.

#### **4.5.- Minimizando el olor y las emisiones de polvo**

### *Reducción de sustratos fermentables*

La fermentación microbiana anaeróbica en el aparato digestivo del cerdo o en las fosas del estiércol es la causa de la mayoría de los olores desagradables. Los carbohidratos fermentables producen ácidos grasos volátiles, como el butírico. Las proteínas dan lugar a ácidos grasos volátiles, compuestos fenólicos (e.j. para-cresol y esquatol), mercaptanos (e.j. sulfuro de hidrógeno y etil-mercaptano), y aminas (e.j. putrescina y cadaverina). Aunque algunas medidas de manejo en granja, incluyendo los sistemas de limpieza de aire recientemente desarrollados, son muy efectivos, las estrategias nutricionales tienen un impacto significativo. Una estrategia nutricional para reducir las emisiones de olores consiste en disminuir la disponibilidad de sustratos fermentables en el intestino grueso y los microorganismos fecales mediante el suministro de dietas basadas en ingredientes muy digeribles y bajas en proteína (Mackie et al., 1998). En particular, la prevención de la fermentación de proteínas en el intestino grueso parece ser muy efectiva. Hobbs et al. (1996) demostraron que una dieta baja en proteína (e.j. 14,0% PB) reduce la producción de para-cresol en un 43% y de otros compuestos olorosos entre un 40 a un 86% en comparación con cerdos que recibían una dieta convencional (18,9% PB). El para-cresol es el principal agente causante de malos olores en el estiércol de cerdos (Schaefer, 1977). Un exceso de azufre en la dieta puede también aumentar el olor en los animales ya que puede ser utilizado por los microorganismos digestivos para formar mercaptanos, que son compuestos con un olor muy desagradable, que puede ser detectado por el olfato humano a muy bajas concentraciones. El exceso de azufre puede proceder de aminoácidos, como la cisteína, metionina y taurina, y de formas azufradas de los minerales traza. Aunque estas sales azufradas son fuentes baratas y de alta disponibilidad de minerales trazas, se deben considerar otras fuentes cuando las emisiones de olores representen un problema (Shurson et al., 1999). Las formas orgánicas de los minerales traza (proteínatos, quelatos, o complejos mineral-aminoácido) no solo tienen una biodisponibilidad mayor, sino que probablemente también tienen un efecto menor sobre la emisión de olores.

### *Reducción de emisiones de polvo*

Las emisiones excesivas de polvo en los alojamientos de cerdos no solo aumentan los problemas de emisiones de olores, sino que también pueden afectar negativamente a la salud de los trabajadores y de los animales. El polvo procede de los piensos, la piel de los animales, el estiércol y las bacterias. El polvo de los piensos puede ser reducido mejorando la calidad de los pellets y cubriendo los gránulos con aceite después del proceso de enfriado. Los equipos de distribución de los piensos deben ser ajustados para minimizar la ruptura de los gránulos y limitar la cantidad de polvo generado, especialmente dentro de las naves. Los sistemas de alimentación líquida y los comederos líquido-seco pueden reducir en gran medida la cantidad de polvo.

## **4.6.- Minimizando las emisiones de amoníaco**

La forma en que el estiércol es almacenado y su manejo tienen un efecto muy importante sobre las emisiones de amoníaco, pero el ajuste en la formulación de aminoácidos (p.e. reduciendo los niveles de proteína), de carbohidratos fermentables (p.e. cambiando la excreción de nitrógeno de la orina a las heces y reduciendo el pH de las heces), la acidificación de las dietas y el balance electrolítico (p.e. disminuyendo el pH de la orina) pueden reducir significativamente las emisiones de amoníaco procedentes del estiércol (Cahn, 1998). Bakker et al. (2003) demostraron que todos estos parámetros tuvieron un efecto lineal significativo sobre las emisiones de amoníaco *in vitro*. Estos efectos fueron independientes entre sí, y más o menos aditivos. Reduciendo el nivel de proteína de los piensos a 125 g/kg y manteniendo los niveles normales de aminoácidos esenciales digestibles, utilizando  $\text{CaSO}_4$  (18 g/kg) y aumentando el nivel de carbohidratos fermentables no digestibles de 100 a 150 g/kg, las emisiones de amoníaco se redujeron en un 70% (Bakker et al., 2003). Otros trabajos han observado resultados similares. Van der Peet-Schwering et al. (1997) y Aarnink et al. (1993) demostraron que las emisiones de amoníaco se reducían en un 10% por cada unidad porcentual que se rebajaba el nivel de proteína. En porcino, reducir el pH de la orina es el medio más efectivo para disminuir las emisiones de amoníaco dado que la mayoría de las emisiones de amoníaco derivan de la orina (Aarnink et al., 1998). Mroz et al. (1996) mostraron que sustituyendo el  $\text{CaCO}_3$  (carbonato cálcico) en las dietas por  $\text{CaSO}_4$  (sulfato cálcico) y  $\text{CaCl}_2$  (cloruro cálcico), o benzoato cálcico, las emisiones de amoníaco se reducían en un 30%, 33%, y 54%, respectivamente. El pH de la orina se redujo en 1,3 unidades con el  $\text{CaSO}_4$  y el  $\text{CaCl}_2$ , y 2,2 unidades con el benzoato cálcico. No sólo los benzoatos sino también el ácido benzoico parece ser muy efectivo, ya que es absorbido y metabolizado fácilmente y se excreta principalmente en la orina como ácido hipúrico (71-100%) y glucurónido de benzoilo (0-25%). Den Brok et al. (1997) demostraron que acidificando la orina, la suplementación con ácido benzoico del pienso redujo las emisiones de amoníaco en un 40%. A diferencia de otros ácidos orgánicos, el ácido benzoico no afecta a la retención de N, incluso a las elevadas concentraciones (10 g/kg pienso) que son necesarias para reducir las emisiones de amoníaco. El pH de la orina y las emisiones de amoníaco también son reducidos mediante la adición a las dietas de ácido adípico y ácido fosfórico, que pueden ser utilizados para reemplazar otras fuentes de fósforo (Kim et al., 2000). Finalmente, la fibra fermentable puede también reducir las emisiones de amoníaco cambiando la excreción de nitrógeno en la orina por proteína bacteriana en las heces (Morgan y Whittemore, 1988). Además existen evidencias de que bajo ciertas condiciones, por ejemplo cuando se utilizan ingredientes como la pulpa de remolacha en los piensos, la concentración de dos compuestos responsables de malos olores, escatoles e indoles, aumenta en las heces (Hawe et al., 1992). Estos resultados refuerzan la conclusión de Bakker et al. (2003) de que disminuir las emisiones de amoníaco no siempre va acompañado de una emisión menor de malos olores.

## 5.- CONCLUSIONES



Los resultados científicos claramente demuestran que un adecuado manejo de los nutrientes de las dietas contribuye a reducir significativamente el impacto ambiental de la producción porcina. Las principales estrategias nutricionales para reducir la excreción de N, P y minerales traza de los cerdos son: 1) mejorar el índice de conversión (p.e. aumentando la productividad y reduciendo las pérdidas de pienso); 2) satisfacer las necesidades nutricionales (p.e. evitando excesos, disminuyendo los niveles de proteína/utilizando aminoácidos sintéticos, alimentación por fases o multi-fases y separada por sexos); 3) utilizando técnicas modernas de formulación (p.e. las nuevas tablas de valoración de alimentos, la formulación de piensos basada en nutrientes digestibles y considerando la variabilidad de las materias primas); y 4) mejorando la digestibilidad y disponibilidad de los nutrientes (p.e. la tecnología de fabricación de piensos, la elección de determinadas materias primas, aditivos, plantas vegetales mejoradas y la estabilización de la microflora digestiva). Los principales medios para reducir las emisiones de malos olores son: 1) disminuir el nivel de proteína no digestible pero fermentable; y 2) evitar los excesos de azufre en las dietas. En relación con las emisiones de amoníaco, las estrategias nutricionales más importantes son: 1) reducir los niveles de proteína/utilizar aminoácidos sintéticos; 2) acidificar la orina; y 3) aumentar el nivel de carbohidratos fermentables.

Un resumen de las diferentes medidas, incluyendo una estimación del impacto de las estrategias nutricionales sobre la excreción de nutrientes, se muestra en el cuadro 4. En comparación con una situación donde no se aplique ninguna medida de control, dichas estrategias podrían disminuir la excreción de N, P y minerales traza en al menos un 25%. En cuanto a las emisiones de amoníaco y olores, la reducción puede ser incluso superior, p.e. 40%. Sin embargo, hay que destacar que la mayoría de estos efectos no son aditivos y muchas de estas medidas ya se están utilizando actualmente en la práctica. Además, la relación coste-beneficio debe ser cuidadosamente evaluada antes de la implementación de cualquiera de estas estrategias nutricionales y su valor puede cambiar dependiendo de las condiciones de mercado. En cualquier caso, el ajuste de los nutrientes en la formulación es indudablemente una herramienta muy importante para reducir el impacto de las granjas de cerdos sobre el medioambiente y, como consecuencia, para contribuir a un futuro sostenible de la cadena de producción porcina.

**Cuadro 4. Impacto potencial de estrategias nutricionales sobre la excreción de nutrientes en cerdos de cebo** (estimaciones deducidas de la literatura, como se describe en el texto, basadas en una situación inicial sin ninguna limitación ambiental).

Estrategia	Reducción estimada en la excreción de nutrientes			
	0-5%	5-20%	> 20%	Comentarios
<b>Mejora del índice de conversión</b>				
Menor índice de conversión como resultado de una mejora de la productividad	Todos			0,1 reducción → 3% menos de excreción del nutriente
2. Reducción de pérdidas de pienso	Todos			1% reducción → 1,5% menos de excreción del nutriente
<b>Adecuación a las necesidades de nutrientes</b>				
3. Evitar excesos	N, P		Cu, Se Zn	0,5% reducción proteína bruta → 4% menos de excreción de N
4. Reemplazando proteína con amino ácidos sintéticos (concepto de proteína ideal)	N			Sobre los resultados de opción 3: De una a dos fases → 5% menos de excreción de N y P De una a tres fases → 10% menos de excreción de N y P
5. Opción 4+ alimentación por (multi)fases		N, P		Sobre los resultados de la opción 4 → 3% menos de excreción de N y P
6. Opción 5+ alimentación separada por sexos		N, P		
<b>Utilizando técnicas de formulación modernas</b>				
7. Nuevas tablas de materias primas	N, P			
8. Formulación sobre la base de nutrientes digestibles	N	P		
9. Considerando la variabilidad de materias primas	N P			

**Cuadro 4.** (continuación) **Impacto potencial de estrategias nutricionales sobre la excreción de nutrientes en cerdos de cebo** (estimaciones deducidas de la literatura, como se describe en el texto, basadas en una situación inicial sin ninguna limitación ambiental).

Estrategia	Reducción estimada en la excreción de nutrientes			Comentarios
	0-5%	5-20%	> 20%	
<b>Mejorando la digestibilidad de los nutrientes y su biodisponibilidad</b>				
10. Tecnologías de fabricación de piensos - granulado	N, P			
11. Elección de materias primas	N, P			
12. Uso de enzimas en piensos para mejorar la digestibilidad y biodisponibilidad - fitasas - otras enzimas	N, Cu Zn, N, P	P		Fitasas en la práctica → menos excreción de P
13. Ácidos orgánicos para optimizar digestibilidad y biodisponibilidad	N, P			
14. Minerales traza orgánicos			Cu, Se Zn	
15. Plantas mejoradas para aumentar la disponibilidad de nutrientes	N, P			
16. Estabilizadores dietéticos de la microflora entérica	N, P			
<b>Minimizando las emisiones de olor y polvo</b>				
17. Reducción de la proteína fermentable, no digestible			Olor	1% reducción → 25% menos de compuestos volátiles
18. Evitando el exceso de azufre		Olor		
<b>Minimizando las emisiones de amoníaco</b>				
19. Reemplazando proteína con aminoácidos sintéticos		NH <sub>3</sub>		1% reducción → 10% menos de emisión de amoníaco
20. Opción 19 + acidificación de la orina (sulfato, benzoato)		NH <sub>3</sub>		Sobre los resultados de opción 18 → 20 %
21. Opción 20 + incremento de carbohidratos fermentables		NH <sub>3</sub>		Sobre los resultados de opción 19 → 10%

## 6.- REFERENCIAS

- AARNINK, A.J.A., HOEKSMAN, P. y VAN OUWERKERK, E.N.J. (1993). En: *Nitrogen flow in pig production and environmental consequences*. (Verstegen, M.W.A., L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen, y J.H.M. Metz, eds.), Pudoc Scientific Publishers, Wageningen. pp: 413-420
- AARNINK, A.J.A., et al. (1998). En: *Biotechnology in the feed industry*. Proceedings of the Alltech's 14th annual symposium. (Lyons, T.P., y K.A. Jacques, eds.). Nottingham University Press. pp: 45-59.
- ADEOLA, O. y SANDS, J.S. (2003) *J. Anim. Sci.* 81 (E. Suppl. 2): E78-E85
- BAKER, D.H., (1991) Ideal amino acid profiles for swine and poultry and their application in feed formulation. *Biokryowa Technical Review* No.9, pp. 1-24.
- BAKKER, G.C.M., SMITS, M.C.J. y BEELEN, G.M. (2002). De additiviteit van voedingsmaa-treglen om de ammoniakemissie te verlagen uit varkensstallen. Proef 1: Balansmetingen en in vitro ammoniakemissie. *Rapport ID Lelystad*.
- BAKKER, G.C.M., HOL, J.M.G. y SMITS, M.C.J. (2003). De additiviteit van voedingsmaa-treglen om de ammoniakemissie te verlagen uit varkensstallen. Proef 2: Stalmetingen en in vitro ammoniakemissie. *Rapport ID Lelystad*.
- BARTH, C. et al. (1993) *J. Nutr.* 123: 2195-2200.
- BOISEN, S., FERNANDEZ, F.A. y MADSEN, A. (1991) Studies on ideal protein requirement of pigs from 20 to 95 kg live weight. *6th Int. Symp. Protein Metab. Nutr.*, Herning, Denmark, pp. 299.
- CANH, T.T. (1998) Ammonia emission from excreta of growing finishing pigs as affected by dietary composition. *Thesis Landbouwwuniversiteit Wageningen*, 155 pp.
- COFFEY, M.T. (1996) En: *Nutrient Management of Food Animals to Enhance and Protect the Environment*. (E.T. Kornegay, ed.). Lewis Publishers. pp. 29-39.
- CROMWELL, G.L. et al. (1998) *Bioavailability of phosphorus in low-phytic acid corn for growing pigs*. Midwestern Section Meeting of the American Society of Animal Science, Des Moines, Iowa: 58.
- CVB, 2006. Veevoedertabel Centraal, Veevoederbureau.
- DE GROOTE, G. y HUYGHEBAERT, G. (1996) *Anim. Feed Sci. Tech.* 69: 329-340.
- DEN BROK, G., VAN DER PEET-SCHWERING, C. y VRIELINK, M. (1997). Urine-pH, ammonia emission, and technical results of grow-finish pigs after addition to the feed of organic acids, specifically benzoic acid. *Swine Research Station, Rosmalen*.
- D'MELLO, J.P.F. y DUFFUS C.M. (1991) Toxic factors in crop plants. *Proceedings of second spring conference*, Edinburgh.
- DOVE, C.R. (1995) *J. Anim. Sci.* 73: 165-171.
- DSM Special Products. 2006 *Technical Dossier VevoVitall*<sup>®</sup> (Benzoic acid) as zootechnical additive in feed for fattening pigs.
- EISEMANN, J. H. y ARGENZIO, R.A. (1999) *J. Anim. Sci.* 77: 2709-2714.

- FERKET, P.R. et al. (2002) *J. Anim. Sci.* 80 (E. Suppl. 2):E168–E182.
- GABERT, V.M. y SAUER, W.C. (1994) *J. Anim. Feed Sci.* 3: 73-87.
- GIBSON, G. R. y Roberfroid, M.B. (1994) *J. Nutr.* 125: 1401-1412.
- GOLZ, D.I. y CRENSHAW, T.D. (1991) *J. Anim. Sci.* 69: 2504-2515.
- GONYOU, H. W. y LOU, Z., 1998. *Grower/finisher feeders: Design, behaviour and performance*. En: Monograph 97-01. Prairie Swine Centre, Inc., Saskatoon, Canada. pp. 77
- GRAHAM, H., et al. (1988) *Nutr. Rep. Inter.* 38: 1073-1079.
- HAWE, S.M., WALKER, N. y MOSS, B.W. (1992) *Anim. Prod.* 54: 413-419.
- HENRY, Y y DOURMAND, J.Y. (1992) *Feed mix* 1:25-28.
- HOBBS, P., PAIN, B.F. y MISSELBROOK, T.H. (1995) En: *New Knowledge in Livestock Odor*. Proc. Inter. Livestock Odor Conf. Ames, IA. pp. 11-15.
- HOBBS, P.J. et al. (1996) *J. Sci. Food Agric.* 71:508-514.
- HUISMAN, J. y TOLMAN, G.H. (1993) En: *Anti-nutritieele factoren in vlinderbloemigen en nutritieele effecten bij eenmagige landbouwhuisdieren*. PDV, kwaliteitsreeks 23: 7-24.
- JONGBLOED A.W., KEMME P.A., y MROZ, Z. (1993) En: *Proc. Enzymes in Animal Nutrition*. (Wenk, C. y Boessinger M., eds.). Nottingham, UK. pp 111-129.
- JONGBLOED A.W., et al. (2000) En: *Proc. Biotechnology in the Feed Industry*. (Lyons T.P. y Jacques K.A., eds.) Alltech's 16th Ann. Symp. Nottingham Univ. Press, Nottingham, UK. pp 111-129.
- JONGBLOED, A.W. y KEMME, P.A. (2005) *De uitscheiding van stikstof en fosfor door varkens, kippen, lalkoenen, pelsdieren, eenden, konijnen en parelhoenders in 2002 en 2006*, Animal Science Group, Wageningen UR.
- KERR, B.J. (1995) En: *New Horizons in Animal Nutrition* (J.B. Longenecker y J.W. Spears, eds). Pp: 47-68.
- KIM, I.B., KIM, D.W. y VAN KEMPEN, T. (2000) American Society of Animal Science, Midwestern Section, 39.
- KIM, S.W. y BAKER, D.H. (2003) *Pig News and Information* 3: 91-96.
- KIRCHGESSNER, M. y ROTH, F. X. (1988) *Übersichten zur Tierernährung* 16: 93-108.
- KOCH, F. (1990) *Proceedings Carolina Swine Nutrition Conference*, Carolina Feed Industry Association, Raleigh, NC. pp 76-95.
- KOTAK, B. G. et al. (1993) *Water Res.* 27: 495–506.
- LENIS, N.P., y SCHUTTE, J.B. (1990) En: *Manure issues: nutritional solutions for pigs and poultry* (A.W. Jongbloed y J. Coppoolse, eds.). Research on manure and ammonia issues in animal agriculture. Service Agricultural Research, Wageningen, The Netherlands. pp: 79-89.
- LIU, Q, et al. (2006) *Food Chemistry* 99: 470-477.
- LOW, G., y LONGLAND, A. (1990) *Feed Comp.* 10: 37-42.
- MACKIE, R.I., STROOT, P.G. y VAREL. V.R. (1998) *J. Anim. Sci.* 76:1331-1342.

- MARTIN-TERESO, J. et al. (2007). *Kraftfutter* 6: 22-24.
- MAVROMICHALIS, I. y BAKER, D.H. (2000) *J. Anim. Sci.* 78: 341-347.
- MENDEZ, A, N. et al. (1999) *Poultry Sci.* 78 (Suppl 1):115 (Abstr.).
- MINER, J. R., 1995. *Nature and Control of Odors from Pork Production Facilities: A Review of Literature*. Published by NPPC. 118 pp.
- MROZ, Z. et al. (1996) *Report No. 96.028*. Institute of Animal Science and health, Lelystad, The Netherlands.
- MURPHY, J. y DE LANGE, K. (2004) Nutritional strategies to minimize nutrient output. *London Swine Conference – Building Blocks for the Future*. 1-2 April 2004.
- NRC (1998) National Research Council, *Nutrient requirements of swine*, 10<sup>th</sup> revised version. National Academy Press.
- NEVO (2006) Stichting Nederlands Voedingsstoffenbestand, Voedingscentrum.
- OHTA, A. et al. (1998) *J. Nutr.* 128: 934-939.
- OMOGBENIGUN, F.O, NYACHOTI, C.M. y SLOMINSKI, B.A. (2003) *J. Anim. Sci.* 81: 1806-1813.
- PARKS, C. W. et al. (2001) *Poultry Sci.* 80: 718-723.
- PETER, C.M. et al., (1999) *Anim. Feed Sci. Techn.* 94:199-205.
- SANDS, J.S. et al. (2001) *J. Anim. Sci.* 79: 2134-2142.
- SCHAEFER, J. (1977). *Agri. Environ.* 3: 121-127.
- SCHLEGEL, P. y WINDISCH W., 2006. *J. Anim. Phys. Anim. Nutr.* 90 (5-6): 216-222.
- SCHUTTE, J.B., DE JONG, J. y VAN KEMPEN, G.J.M. (1993) En: *Nitrogen flow in pig production and environmental consequences* (Verstegen, M.W.A., L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen y J.H.M. Metz, eds.). Pudoc Scientific Publishers, Wageningen. pp:259-263
- SELLE, P.H. et al. (2000) *Nutr. Res. Rev.* 13: 255-278.
- SHARPLEY, A. N. et al. (1994). *J. Environ. Qual.* 23: 437-451.
- SHURSON, J., WHITNEY, W y NICOLAI, R. (1999) *Feedstuffs*, 25 Jan.:12-17.
- SPENCER, J.D. et al. (1998) *Midwestern Section Meeting of the American Society of Animal Science*, Des Moines, Iowa: 58.
- SPRING, P. (1997) En: *Biotechnology in the Feed Industry*. Alltech's 13th Annual Symposium. T.P. Lyons y K.A. Jacques.
- STAHLY, T.S., et al. (2002) *ASL-R1797: Role of dietary trace minerals on mineral excretion in pigs*. Iowa State University,
- STEIN, H.H. et al. (2007) *J. Anim. Sci.* 85:172-180
- STILLBORN, H. L. (1998) En: *Proc. of the Nat. Poultry Waste Management Symposium*. pp 154-159.
- SUTTON, A.L., et al. (1995) En: *New Knowledge in Livestock Odors*. Proc. Inter. Livestock Odor Conf. Ames, IA. pp. 127-130.
- TRAYLOR, S.L. et al. (2001) *J. Anim. Sci.* 79: 2634-2642.

- VAN DER KLIS, J.D. y VERSTEEGH, H.A.J. (1996) En: *Recent Advances in Animal Nutrition*. (P. C. Garnsworthy, J. Wiseman, y W. Haresign, eds). Nottingham University press, Nottingham, UK. Pp: 71-83.
- VAN DER PEET-SCHWERING, C., y VOERMANS, M. (1996). *Report Experimental Pig Station*, Rosmalen, 10(2):17-19.
- VAN DER PEET-SCHWERING, C.P., VERDOES, N., y VOERMANS. M. (1997). Ammonia emission 10% reduced with phase feeding. *Swine research station, Rosmalen*.
- VAN KEMPEN, T., y SIMMINS, P.H. (1997) *J. Appl. Poultry Res.* 6: 471-477.
- VAN KEMPEN, T. (2000) *Proceedings Carolina Poultry Nutrition Conference*, Carolina Feed Industry Association, Raleigh, November 15-16, pp 32-58.
- VAN KEMPEN, T. (2000) En: *Livestock and Poultry Environmental Stewardship*, USDA/EPA National Curriculum Project.
- WONDRA, K. J. et al. (1995). *J. Anim. Sci.* 73:2564-2574.

FEDNA

FEDONA