

AVANCES RECIENTES EN NUTRICIÓN DE CERDOS EN CRECIMIENTO: EFECTOS NUTRICIONALES Y FUNCIONALES DE INGREDIENTES ALIMENTICIOS Y NUTRIENTES

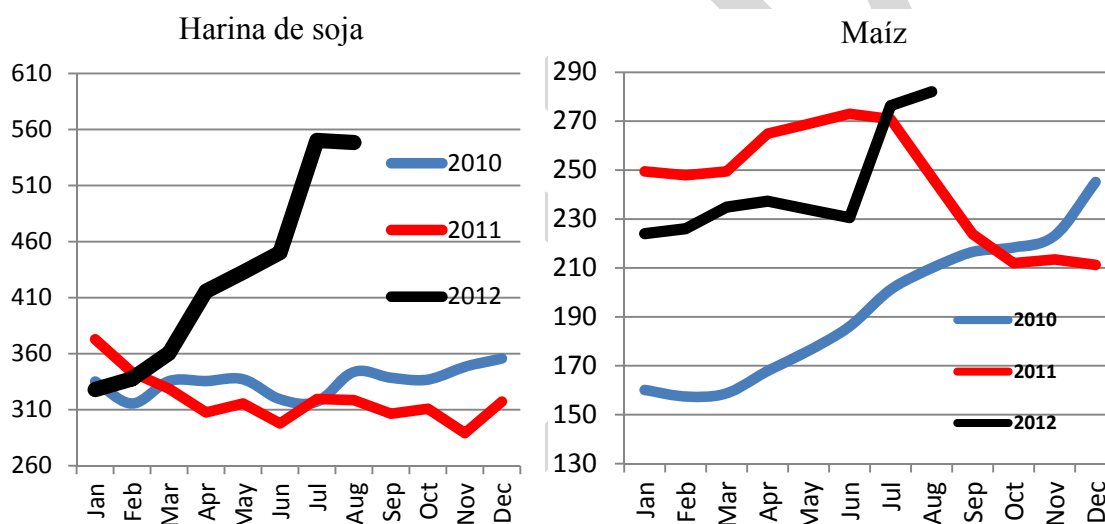
Hubèrt van Hees
Nutreco R&D, Boxmeer, The Netherlands

1.- INTRODUCCIÓN

La industria europea de porcino y piensos compuestos está experimentando tiempos turbulentos. Uno de los aspectos más impactantes en este momento es el incremento del precio de los ingredientes que han alcanzado en algunos casos precios nunca vistos hasta ahora (figura 1). Esto ocurre después de las crisis de 2008 y 2011 en el precio de los granos de cereales y demuestra de nuevo que los granjeros tendrán que hacer frente a niveles de precios más volátiles y más elevados tal como fue predicho recientemente (Rabobank, 2005). Actualmente, casi tres cuartas partes de las necesidades de alimentos para cubrir gastos proteicos de los animales en la UE tienen que ser importadas. La dependencia de la UE en cuanto a las importaciones de soja continuará siendo elevada a pesar del incremento de la producción de colza para biocarburantes y las iniciativas para elevar la producción de cosechas proteicas. Asimismo, el levantamiento de la prohibición de harinas de carne en alimentación animal sólo aliviaría ligeramente la situación. A más largo plazo, las necesidades de materias primas para alimentar la población mundial y para proporcionar fuentes de energía renovables, supondrá una menor disponibilidad de cereales para el consumo de ganado (Van Hees et al., 2012). Adicionalmente, la necesidad de una producción de carne más sostenible tendrá un impacto en el futuro en el mercado de

materias primas. Por ejemplo, una iniciativa holandesa de socios de la cadena de suministro de carne, junto con organizaciones no gubernamentales, acordaron conseguir que un 50% de los concentrados proteicos en 2020 procediese de la UE, lo que incrementaría la sostenibilidad del ciclo completo de producción (Anónimo, 2011). Además, la producción animal tiene que reducir la utilización de agentes antimicrobianos para salvaguardar en el futuro el uso en medicina humana de importantes drogas terapéuticas. Para ello se han diseñado alimentos que permitan mantener una salud intestinal estable. También, se necesita reducir el impacto medioambiental de las emisiones de nitrógeno, fósforo y metales pesados (cobre, zinc) desde la producción animal. Finalmente, alimentos y sistemas alimenticios que mejoren aspectos del bienestar animal pueden ganar importancia en la UE.

Figura 1.- Evolución del precio de algunos alimentos en los últimos 12 meses en el Norte de la UE (€/100 kg)



Todas estas cuestiones animan a los nutricionistas a abandonar las vías seguras de uso de alimentos relativamente bien definidos tales como los cereales y la harina de soja. Por ejemplo, la 11ª edición revisada de necesidades nutritivas de porcino del NRC (2012) dedica un capítulo completo a subproductos de la industria de biocarburantes. Otras materias primas alternativas tienen potencial interés tal como se propone en varias revisiones recientes (Seve, 2004; Stein y De Lange, 2007; Zijlstra y Beltranena, 2007). En la mayoría de los casos estos nuevos ingredientes tienen un mayor contenido en fibra y son potencialmente menos palatables. Por tanto, el conocimiento del impacto de estos alimentos sobre el animal, no limitado al suministro de proteína y energía, será cada vez más importante. Además, se precisará una mejor comprensión de las interacciones entre ingredientes alimenticios y entre los factores que determinan el ambiente productivo.

Este trabajo subrayará algunos aspectos nutricionales de las materias primas en relación con las tendencias de mercado indicadas anteriormente, es decir, reducción de antibióticos, ingredientes alimenticios alternativos y bienestar, en el caso de cerdos en crecimiento y cebo. Los aspectos más funcionales de los nutrientes e ingredientes alimenticios no están (todavía) incluidos en los programas de optimización de piensos. Sin embargo, los nutricionistas deberían, y en algunos casos lo hacen, considerarlos.

1.1.- Un ejemplo: cereales desde una perspectiva de nutrición humana

En la alimentación de animales de granjas los cereales están considerados principalmente como fuente de energía (especialmente almidón), aminoácidos y minerales. Los nutricionistas humanos sin embargo han adoptado un punto de vista más amplio y funcional sobre los cereales. Así, por ejemplo, desde una perspectiva epidemiológica se sabe que los cereales tienen un efecto protector frente a la obesidad, diabetes de tipo II, enfermedades cardiovasculares y cáncer (Smith y Tucker, 2011; Fardet, 2012). Los componentes relacionados con estos efectos parecen estar localizados en el salvado y en el germen del grano. Sus efectos se atribuyen a constituyentes tales como elementos traza, polifenoles (regulación génica, salud del colon), lignina y ácido fítico (protección antioxidante), donadores de grupos metilo (betaína, metionina, colina e inositol) para la salud cardiovascular y muchos más (Fardet, 2012). Poco a poco, los mecanismos fisiológicos que están detrás de estos efectos están siendo descubiertos. Para la nutrición de animales de granja algunos de estos efectos podrían no ser relevantes, como los relacionados con las enfermedades crónicas que afectan sólo a las personas de mayor edad.

2.- INTERACCIONES GRANJA-ALIMENTO

2.1- Impacto de las condiciones sanitarias sobre los parámetros de crecimiento

Las condiciones de las granjas tienen una gran influencia sobre cómo se utilizan los nutrientes. Incluyen factores tales como genética, sistemas de alimentación, clima, estado sanitario y manejo. Por ejemplo, en un estudio comparando métodos de manejo, un sistema “todo dentro, todo fuera” mejoraba los parámetros pulmonares y de crecimiento con respecto a un sistema de flujo continuo (Ice et al., 1999). Otro estudio interesante (cuadro 1; Dionissopoulos et al., 2001) en este sentido, demostró el impacto del manejo del destete sobre los parámetros de crecimiento y salud de cerdos en crecimiento y cebo. Junto a efectos marcados sobre la velocidad de crecimiento, el alojamiento de los cerdos en una unidad de alto nivel sanitario mejoró los parámetros pulmonares y de respuesta inmune. Estos resultados indican que las condiciones de cría de los animales jóvenes tienen un efecto que se extiende a fases posteriores de su vida.

Cuadro 1.- Efecto del estado sanitario durante la fase de lactancia sobre las fases de crecimiento (30-60 kg) y engorde (60-107 kg)* (Dionissopoulos et al., 2001)

Item	Convencional	Baja enfermedad	P
Fase de crecimiento			
Ganancia (kg/d)	0,77 a	0,87 b	<0,001
Consumo (kg/d)	1,71	1,73	NS
Índice de conversión (kg/kg)	2,25 a	2,00 b	<0,001
Fase de cebo			
Ganancia (kg/d)	0,97	1,01	NS
Consumo (kg/d)	2,85	2,68	NS
Índice de conversión (kg/kg)	2,94 a	2,68 b	<0,001

*Los cerdos fueron alimentados y manejados de forma uniforme a partir de los 30 kg

En uno de nuestros propios experimentos criamos lechones en una granja convencional con un historial de condiciones sanitarias inferiores a la media. A la 7ª semana de edad los animales fueron transferidos bien a una granja libre de patógenos (SPF) o bien a una unidad de crecimiento-cebo de la misma granja. Los cerdos crecieron un 18% más rápidamente (913 vs 771 g/d) en las condiciones SPF, tal como cabía esperar (cuadro 2).

Cuadro 2.- Efecto de las condiciones de alojamiento durante la fase de crecimiento-cebo (25-105 kg de peso vivo) sobre los rendimientos de crecimiento de cerdos alimentados con dos tipos de dietas* y criados en la misma granja (SPF = granja libre de patógenos específicos) (Datos de Nutreco R&D)

Granja Dieta	Convencional		SPF		P
	Estándar	Alta en grasa	Estándar	Alta en grasa	
Peso inicial (kg)	25,6	25,5	25,0	25,7	NS
Ganancia de peso (kg/d)	0,77	0,77	0,89	0,94	<0,05
Consumo EN (MJ/d)	21,9	22,7	20,7	21,7	NS
EE (MJ EN/kg ganancia)	28,4	29,5	23,3	23,1	NS
Edad a los 105 kg (d)	167	167	154	148	<0,05

*9,15 y 10,5 MJ EN/kg para dietas estándar y alta en grasa, respectivamente.

Los piensos tenían la misma relación proteína:energía.

Aunque no todas las diferencias alcanzan niveles significativos, los datos también sugieren que hubo una interacción con la concentración energética del pienso, es decir, dietas ricas en grasa rindieron mejor en condiciones SPF, pero no en condiciones sanitarias

subóptimas. Las razones para estos resultados no están claras. Sin embargo, se ha sugerido que estos cerdos tuvieron una menor disposición de proteína, como consecuencia de la estimulación del sistema inmune, y que por ello necesitaron un menor aporte energético (ver también párrafo siguiente). Además, la digestión de la grasa pudo verse afectada negativamente en estas condiciones de alojamiento. Ambos ejemplos muestran el impacto de las condiciones de alojamiento en todas las fases del crecimiento. Del mismo modo, en un estudio de campo (Elbers et al., 1989) se observó una gran variación entre granjas en la digestibilidad de la energía de un determinado pienso, que oscilaba entre un 72 y un 84% y un 73-85% para los períodos de arranque y de crecimiento, respectivamente. Aunque no está claramente establecido en la bibliografía, parte de esta variación podría ser atribuida al estado sanitario, especialmente en el caso de infecciones intestinales.

La interacción entre estado sanitario de la granja y la inclusión de fibra en el pienso ha sido objeto de controversia y los datos para cerdos en crecimiento-cebo son escasos. En lechones destetados se argumenta que las fuentes de fibra fermentable podrían actuar como probióticos y estimular la producción de ácidos grasos de cadena corta (SCFA). Esto podría estabilizar la flora intestinal y constituir una herramienta nutricional para combatir las infecciones (Lallès et al., 2007). La fibra fermentable podría, por otro lado, ser un sustrato para microorganismos patógenos lo que aumentaría el riesgo de infecciones. Así por ejemplo, Le Montagne et al. (2012) observaron un efecto negativo de piensos con una alta concentración en polisacáridos no amiláceos solubles sobre los rendimientos de lechones destetados. A pesar de ello, tanto una pobre condición sanitaria como la fibra dietética modificaron la flora microbiana en un sentido que los autores consideraron beneficiosa (más SCFA y proporcionalmente más butírico). En cualquier caso, la bibliografía es escasa para llegar a conclusiones sobre este tema especialmente en cerdos de mayor edad.

2.2.- Inmunidad y aminoácidos

La inmunidad nutricional es un nuevo campo de investigación que ha evolucionado rápidamente. Estudia los mecanismos básicos de inmunomodulación y su interacción con los nutrientes (Hontecillas et al., 2002). En la práctica comercial en ganado porcino es frecuente la estimulación crónica del sistema inmune debida a niveles subclínicos de enfermedad, incluso en granjas con una aparentemente buena condición sanitaria. Esto puede tener una gran influencia sobre los rendimientos (hasta un 25%) tal como señalaron Williams et al. (1997). En condiciones de estimulación del sistema inmune se produce la liberación de citoquinas proinflamatorias (IL-1 β , IL6 and TNF- α) que inducen a anorexia y la síntesis de proteínas de la fase aguda e inmunoglobulinas, entre otras sustancias. La mucosa digestiva está permanentemente en un estado moderado de inflamación para ser capaz de actuar inmediatamente sobre los patógenos (Lazzarro y Rolff, 2011). En estas condiciones cambios

en la microflora intestinal pueden resultar en una cascada de respuestas inmunes, algunas de ellas beneficiosas y otras no. La cuestión es si podemos modular la respuesta inmune a través de la nutrición de forma que el impacto sobre la producción se reduzca (C.F.M. De Lange, comunicación personal).

Se ha propuesto que la activación de la respuesta inmune altera las necesidades de nutrientes y también reduce su disponibilidad para la síntesis de proteína y de grasa (Kogut y Klasing, 2009). Los nutrientes esenciales absorbidos se distribuyen para cumplir diferentes funciones corporales dependiendo de su prioridad. Los sistemas de transporte de nutrientes (por ejemplo, de glucosa y aminoácidos) son los responsables de estos cambios. En este contexto, el cerebro y el corazón tienen prioridad sobre otros tejidos como el hueso y el músculo. Las células del sistema inmune tienen también una prioridad alta. Requieren aminoácidos como fuente de energía, como precursores de antioxidantes o para la síntesis de compuestos inmunológicos (proteínas de la fase aguda, mucus, inmunoglobulinas: Stahly, 2001). Estudios recientes realizados en Canadá han demostrado que la estimulación crónica del sistema inmunitario eleva las necesidades de treonina, metionina+cistina y triptófano. Esto no fue debido a una baja digestibilidad, sino a cambios del metabolismo post-absortivo resultando en una mayor proporción de estos aminoácidos destinados a la síntesis de compuestos inmunes y una menor proporción para la síntesis de proteína (Rakhshandeh et al., 2011; De Ridder et al., 2012). Resultados similares fueron obtenidos en porcino afectados por una inflamación pulmonar (Le Floc'h et al., 2008).

3.- DIETA Y SALUD INTESTINAL

3.1.- Carbohidratos en la formulación de piensos

Los cerdos no tienen necesidades específicas de carbohidratos en sus dietas (NRC, 2012). Por tanto, los piensos no se formulan habitualmente con restricciones para el contenido en carbohidratos, con la excepción de un mínimo de lactosa en dietas de lechones para facilitar una transición suave desde el consumo de leche de cerda rica en lactosa a un pienso elaborado a base de carbohidratos vegetales. En cerdos en crecimiento, algunos nutricionistas proponen incluir en la fórmula un mínimo de almidón. Su argumento se basa en que el almidón proporciona energía glucogénica fácilmente disponible en sincronización con aminoácidos fácilmente disponibles procedentes principalmente de fuentes sintéticas para la deposición de proteína corporal (Yen et al., 2004). Sin embargo la base científica sobre este tema es escasa. El tipo de almidón podría tener más relevancia tal como se discutirá posteriormente.

Junto con los carbohidratos que pueden ser digeridos por las enzimas endógenas se encuentra la fracción fibrosa de la dieta. La formulación del contenido en fibras más complejas está dificultada por la falta de métodos analíticos apropiados que predigan importantes características tales como la viscosidad, solubilidad y fermentabilidad *in vivo*. Los datos bibliográficos, como los que se muestran en el cuadro 3 son útiles pero tienen una aplicación práctica limitada como consecuencia de la alta variabilidad dentro de cada ingrediente.

Cuadro 3.- Fracción hidrocarbonada (CHO) en ingredientes alimenticios (g/kg MS; Bach Knudsen, 2011)

Alimento	Total CHO	Almidón	RS	S-NCP	I-NCP	Celulosa	Total NSP	KL
Arroz	856	837	3	9	1	3	13	8
Maíz	813	680	10	9	66	22	97	11
Trigo	804	647	4	25	74	20	119	19
Cebada	800	585	2	56	88	43	186	35
Avena	721	466	2	40	110	82	232	66
Salvado trigo	669	220	2	29	273	72	374	75
Cascarilla cebada	693	172	2	20	267	192	479	115
DDGS maíz	301	35	ND	25	183	68	276	47
DDGS trigo	343	92	ND	55	135	61	251	86
Guisantes	723	432	22	52	76	53	180	12
Habas	683	375	32	50	59	81	190	20
Harina de soja	381	27	ND	63	92	62	217	16
Torta de colza	308	15	ND	43	103	59	205	90
Torta de algodón	340	18	ND	61	103	92	257	83
Pulpa de remolacha	743	5	ND	290	207	203	700	37

RS = almidón resistente; s = soluble; I = insoluble; NCP = polisacáridos no celulósicos; NSP = polisacáridos no amiláceos; KL = lisina de Klasing; ND = no determinada.

El denominado “método detergente” que resulta de la determinación de las fracciones fibra neutro detergente y fibra ácido detergente (FND y FAD, respectivamente) y lignina, es útil en algunas ocasiones. Igualmente, la diferencia FAD – lignina proporciona una estimación de la fracción celulosa, que es insoluble y poco fermentable. También puede estimarse la fracción hemicelulosa (e.g. xilanos en cereales) a partir de la diferencia entre FND y FAD. El método detergente es menos preciso en alimentos con un alto contenido en fibras solubles tales como betaglucanos o pectinas (NRC, 2012).

A pesar de los problemas con su caracterización, los nutricionistas valoran la importancia de la fracción CHO y la tienen en cuenta para aspectos tales como el consumo voluntario de alimentos y la consistencia de las heces. En las siguientes secciones se discutirán algunos datos recientes de investigación sobre aspectos funcionales.

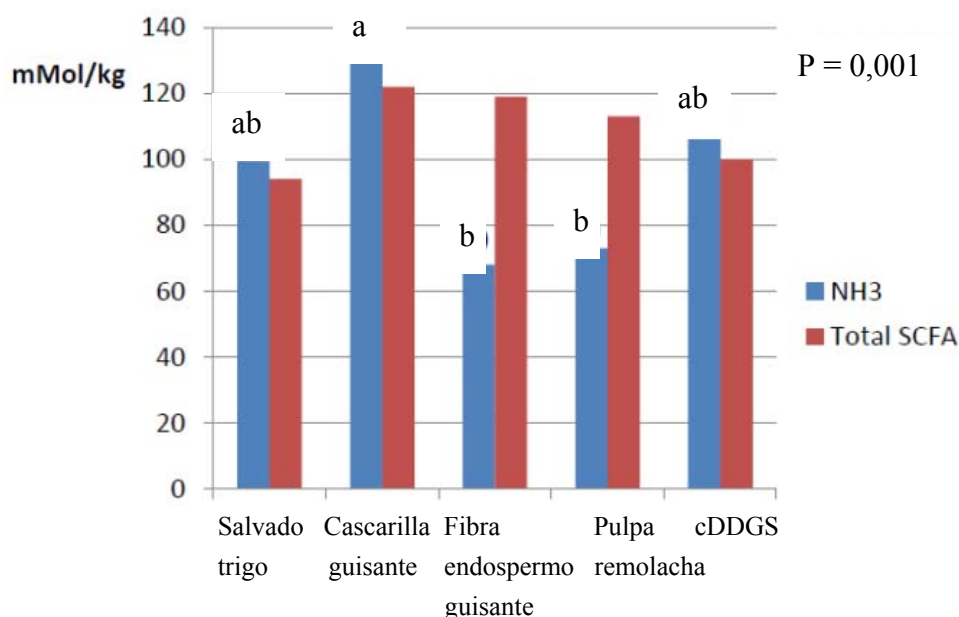
3.2- Polisacáridos no amiláceos y enfermedades intestinales específicas

Considerando la necesidad de reducir el uso de antibióticos, conocer las interacciones entre patógenos y componentes de la dieta tiene un papel relevante. Esto podría conducir al uso de dietas especialmente diseñadas, libres de agentes antimicrobianos, en granjas con una alta incidencia de enfermedades. Se han publicado revisiones recientes para entender el impacto de sustancias naturales purificadas sobre, por ejemplo, la modulación del sistema inmune, y los efectos antimicrobianos de los aceites etéricos (e.g. Lallès et al., 2007). En este trabajo nos centraremos en la fracción NSP de los macroingredientes.

Bach Knudsen (2001) discutió por qué y a través de qué rutas las fracciones fibrosas influyen sobre el impacto que tienen los patógenos. Resumidamente, la fibra influye en los procesos digestivos y en el tránsito intestinal. Especialmente, la fibra insoluble disminuye el tiempo de tránsito principalmente en el intestino grueso, mientras que las fibras solubles y viscosas retrasan el vaciado del estómago. Además, la fibra insoluble induce un incremento de las secreciones digestivas y estimula el turnover de las células de la mucosa lo que hace más difícil la colonización del intestino por los patógenos. Otro hecho importante es su capacidad para actuar como sustrato para los microorganismos intestinales. De la fermentación resulta la producción de SCFA y ácido láctico (e.g. a partir de betaglucanos) lo que puede crear un ambiente intestinal menos favorable para los microorganismos invasores. Por otra parte, microorganismos específicos pueden ser estimulados por las propiedades prebióticas de la fibra dietética.

La proteína de la dieta que escapa de la digestión ileal puede ser fermentada en el intestino grueso. En este caso la fermentación pasa de ser sacarolítica a más proteolítica. Esto resulta en la liberación de compuestos tóxicos para el epitelio intestinal, tales como amoníaco y aminas. Además, aumenta la emisión de compuestos nitrogenados gaseosos desde la orina (Cahn et al., 1997; Van der Meulen et al., 1997). Este efecto puede contrarrestarse con el suministro de almidón resistente (Hedeman y Bach Knudsen, 2007). Los datos de Jha y Leterme (2012) confirman que ingredientes alimenticios con una baja relación PB:NSP resultan en una disminución de la concentración de amoníaco en el ciego y un incremento en la de SCFA en el colon (figura 2).

Figure 2.- Metabolitos de la fermentación (mmol/kg) en la digesta del colon de cerdos alimentados con dietas que diferían en la fuente de fibra y de proteína (Jha y Leterme, 2012)



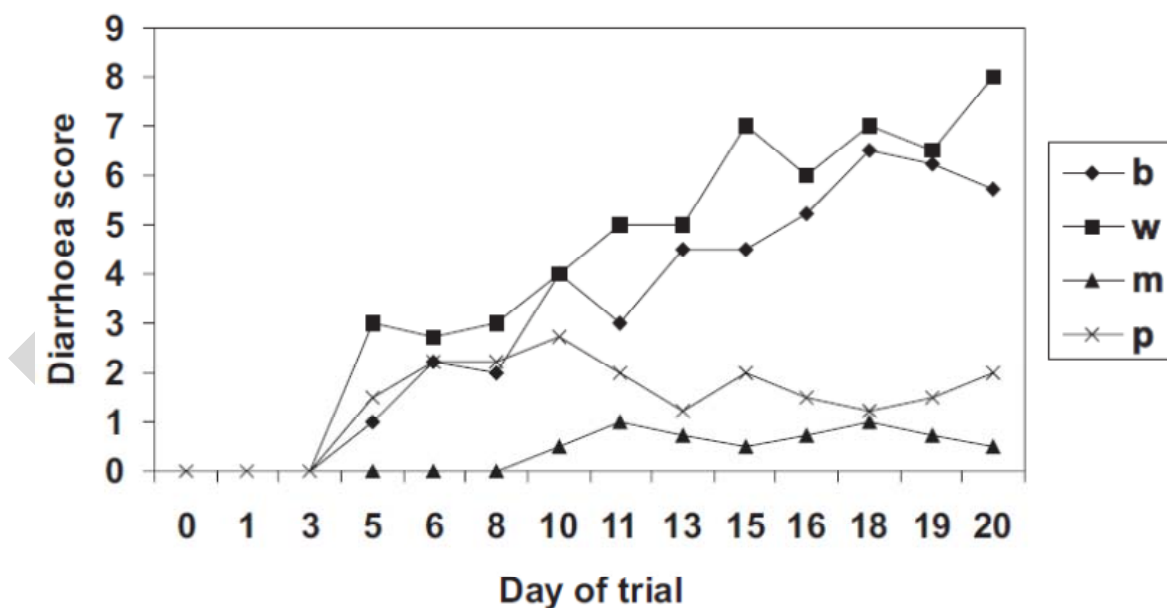
Aparte de la fermentación *per se* también la cinética de las fermentaciones es importante, así como el lugar en que más probablemente proliferan los patógenos. Así, por ejemplo, el almidón resistente, los betaglucanos, arabinosilanos solubles y pectinas se degradan pronto en el ciego y colon proximal (Canibe y Bach Knudsen, 1997; Bach Knudsen et al., 2011), mientras que la celulosa y la arabinosilanos insolubles fermentan en el colon distal. Finalmente, la fibra no fermentable (arabinosilanos altamente ramificados, celulosa y fibra lignificada) pueden actuar como punto de anclaje para patógenos que de esta manera son expulsados en las heces. En la siguiente sección se discuten datos bibliográficos relacionados con patógenos intestinales específicos.

3.2.1- Infección con *Brachispira* y composición de la dieta

A finales de los años 80 apareció un problema digestivo en cerdos jóvenes en crecimiento que, en base a información procedente de granjas, se relacionó con el uso de piensos granulados (las dietas en harina hechas en la propia explotación tenían un efecto protector) y con la utilización de variedades de trigo duro. Más adelante se observó que una infección con la bacteria *Brachispira pilosicoli* estaba involucrada con el desarrollo de la enfermedad (Thomson, 2009). La *B. pilosicoli* es una espiroqueta que presenta muchas similitudes con la *B. hyodysenterikae*, que es la causante de la disentería del porcino. Está en el origen de la diarrea espiroquetal porcina o colitis, una forma moderada de diarrea que se observa en cerdos en crecimiento. Clínicamente afecta a cerdos de 6-12 semanas de edad

con una diarrea no específica entre gris y marrón, frecuentemente sin presencia de sangre y de mucus, y una proporción de hasta un 50% de los animales afectados. La mortalidad es generalmente baja (2-5%), pero reduce los rendimientos de crecimiento (ganancia de peso y eficacia alimenticia) en aproximadamente 10-20% (Thomson, 2003). Junto a factores de la dieta se ha considerado que una alta densidad de animales es también un factor de riesgo (Case-Topping et al., 2007). Esto es interesante ya que junto con el efecto estimulador del consumo debido a la granulación, la densidad del pienso puede estar relacionada con cambios en la velocidad de ingestión. En apoyo de esta teoría, se encontró en un estudio en el que se midió la velocidad de tránsito, que un tiempo más largo de permanencia del alimento en el aparato digestivo estuvo asociado con una mayor ganancia de peso y con la aparición de menos signos clínicos de colitis. También debe de tenerse en cuenta la influencia del proceso de granulación sobre la digestibilidad de la dieta y su fermentabilidad. Además, la suplementación con enzimas fibrolíticas reduce el riesgo (Thomson, 2009; fig. 3). En resumen, factores alimenticios y de manejo que incrementan la fermentación en el intestino grueso parecen estar relacionados con la severidad de la colitis no específica.

Figura 3.- Baremo de diarrea de cerdos alimentados con cuatro piensos experimentales en una granja con historial de colitis no específica* (Thomson, 2009)



*0= no diarrea, 10 = todos los cerdos presentan diarrea.

w = ración de crecimiento basada en trigo, b = 50% de trigo sustituido por cebada, m= dieta b suministrada en harina y p = dieta b pero suplementada con betaglucanos

En el caso de la *B. hyodysenteriae* el debate científico sobre qué factores de la dieta tienen una relación con la incidencia de esta enfermedad todavía continua. La discusión fue promovida por resultados contradictorios en los que se observó un efecto protector de piensos

basados en arroz cocido pobre en fibra. La inclusión de NSP solubles y almidón resistente se identificaron como factores de riesgo al igual que la molienda grosera de maíz y sorgo (Siba et al., 1996). En otros trabajos en cambio no fue posible reproducir estos resultados (Kirkwood et al., 2000; Lindecrona et al., 2003). Por otra parte, investigadores daneses han reportado efectos protectores de una dieta rica en fructanos elaborada a base de altramuz dulce y pulpa de achicoria (Thomsen et al., 2007). Aplicando técnicas de ARN para determina el perfil de la microflora, los efectos beneficiosos se atribuyeron a dos microorganismos específicos, *Bifidobacterium thermacidophilum* subsp. *porcinum* y *Megasphaera elsdenii* (Mølbak et al., 2007). Más recientemente se publicó que la raíz de achicoria, pero no los altramuces, era capaz de reducir la incidencia de disentería (Hansen et al., 2010). Debe tenerse en cuenta que la finura de la molienda de los altramuces afectó al tipo de fermentación en el intestino grueso, tal como mostró el mismo grupo de investigación (Kim et al., 2009). Esto podría haber influenciado el grado de colonización del patógeno. Además, los mismos investigadores observaron que son necesarios niveles relativamente altos de inclusión de achicoria para modificar sustancialmente el tipo de fermentación microbiana en el intestino grueso (Hansen et al., 2011). Finalmente, fuentes funcionales de grasa pueden ser también beneficiosas para reducir la inflamación en el colon. En un estudio anterior de Hontecillas et al. (2002), se demostró que el ácido linoleico conjugado fue capaz de reducir las lesiones inflamatorias y recuperar la ganancia de peso corporal. La suplementación con grasas ricas en ácidos grasos n-3 podría ser también efectiva.

3.2.2- Salmonelosis y composición de la dieta

La salmonelosis es una de las enfermedades gastrointestinales más extendidas en ganado porcino en el mundo y el patógeno supone además riesgos para la salud humana. Medidas de manejo (Twomey et al., 2010) y la suplementación de pienso y agua con ácidos han demostrado mejorar el estatus higiénico a este respecto (Kamphues et al., 2007). Además, se ha probado que la inclusión de ácido láctico (LA) controla la infección por salmonela (e.g. Tanaka et al., 2010). Sin embargo, los niveles estudiados de LA fueron altos (>2 %) y, por tanto, inviables económicamente. El uso de tecnologías de fermentación en granja, en las que los alimentos se dejan fermentar espontáneamente o preferiblemente se inoculan con un cultivo starter de bacterias lácticas, producen dietas enriquecidas en LA. Esta puede ser una opción en granjas con sistemas de alimentación líquida (Brooks, 2008).

Igualmente, la molienda grosera de cereales y la alimentación en harina han demostrado ser efectivas en reducir la proliferación de salmonela y su traslocación en cerdos infectados (Papenbrock et al., 2005). Las partículas más groseras incrementan el tiempo de retención en el estómago y su acidificación tanto en el estómago como en el intestino grueso, en este caso a través de una mayor producción de ácido propiónico y ácido

butírico (Kamphues et al., 2007). Sin embargo, la molienda más grosera podría tener un impacto negativo sobre los rendimientos al hacer a los nutrientes menos accesibles para las enzimas digestivas en el intestino delgado (Kamphues et al., 2007). Otra vía potencialmente interesante que afecta al tipo de fermentación en el intestino grueso para reducir la proliferación de salmonela es el uso de variedades de cebada con bajo contenido en salvado y ricas en betaglucanos (Pieper et al., 2012). En conjunto, puede concluirse que son necesarios más estudios para encontrar soluciones económicamente viables para controlar las infecciones con salmonela.

3.2.3- ¿Protegen los DDGS contra la ileitis?

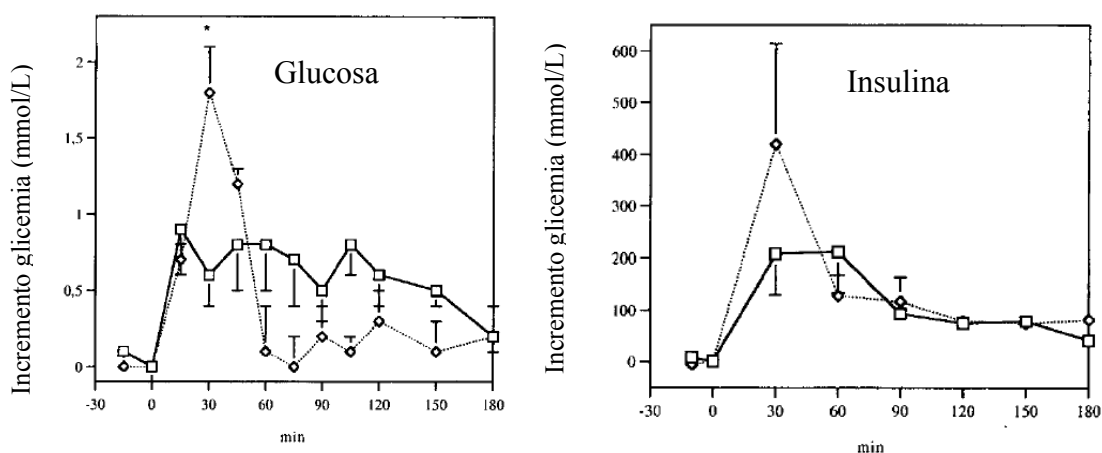
En los últimos años ha aumentado el uso de granos de destilería con solubles (DDGS) en piensos de porcino. Este grupo de coproductos procede de la fracción no fermentada de la producción de etanol o bebidas, y contiene proteína, fibra, cenizas y lípidos. En algunos trabajos de campo en EE.UU. se apreció una disminución en la incidencia de problemas intestinales causados por *Lawsonia Intracellularis* (también denominada enteropatía proliferativa o PPE) cuando los DDGS de maíz fueron incluidos en el pienso. El efecto protector se relacionó con su contenido en fibra (mayoritariamente insoluble) o en productos resultantes del proceso de fermentación (e.g. fracciones de levaduras). Esta hipótesis fue testada en una serie de experimentos en la Universidad de Minnesota. En dos estudios en los que los animales recibieron una severa infección experimental por vía oral no se observó un efecto protector de los DDGS (Whitney et al., 2006a y c). En otro estudio en el que se aplicó una infección más moderada, un 10% de inclusión de DDGS redujo la patología (menos infecciones intestinales) de una manera similar a un régimen de antibióticos con efecto conocido sobre la PPE (Whitney et al., 2006b). Estos estudios no describen con mucho detalle las características de los DDGS utilizados. Sin embargo, los resultados son en cierto modo consistentes con la percepción en la industria porcina americana de que los DDGS ofrecen algún efecto protector contra la infección por *L. Intracellularis*.

4.- NUEVOS AVANCES EN LA NUTRICIÓN DEL ALMIDÓN

Junto a los polisacáridos no amiláceos, el almidón está presente en grandes cantidades en los piensos de cerdos y contribuye de manera importante a su contenido energético. El almidón está compuesto exclusivamente de unidades de glucosa, bien en una cadena lineal (amilosa) o en forma de un polímero de cadena ramificada (amilopectina). Esta última es mejor digerida como consecuencia de una mayor accesibilidad de las alfa-amilasas animales con respecto a la amilosa. El almidón rico en amilopectinas se conoce como almidón céreo

(NRC, 2012). Hay diferentes formas de caracterizar el almidón. Por ejemplo en base a difracción de rayos X se distinguen tres formas: tipo A (cereales, estructura abierta), tipo B (estructura cerrada como en los tubérculos, e.g. patata) y tipo C (almidón contenido en las leguminosas). Para los nutricionistas la velocidad de digestión en el intestino delgado tiene gran relevancia. La cinética de digestión del almidón influye en el nivel de glucosa postprandial y en la respuesta de la insulina (parámetros del índice glicémico (GI)) tal como muestran por ejemplo Noah et al. (1999; figura 4). Datos recientes revelan que la velocidad de digestión afecta al contenido en energía metabolizable y energía neta (Zijlstra et al, 2012), al consumo de alimentos (probablemente a través de péptidos relacionados con la saciedad GLP1 y PYY; Souza da Silva et al., 2012), a la utilización de la proteína (Drew et al., 2012) y a los resultados de crecimiento de lechones (Van Kempen, 2007). El almidón que escapa de la digestión en el intestino delgado se conoce como almidón resistente. Es fermentado en el intestino grueso y como consecuencia forma parte de la fracción fibra dietética del pienso. Se ha señalado que el almidón resistente afecta al tipo de fermentación y resulta en una mayor proporción molar de SCFA, incluyendo butirato (Hedeman y Bach Knudsen, 2007; Regmi et al., 2011). El comportamiento digestivo del almidón está afectado por la relación amilosa:amilopectina, la cristalinidad y tamaño de los gránulos de almidón, así como por su asociación con otros compuestos tales como la proteína (e.g. sorgo). Además, el sobreprocesado y el almacenamiento pueden afectar negativamente a su digestibilidad debido a la formación de almidón retrodegradado. Adicionalmente, fibras viscosas como los betaglucanos interaccionan con la digestión del almidón de forma que la respuesta glicémica se retrasa (Hooda et al., 2011). Bach Knudsen (2011) ha cuestionado si este efecto también ocurre cuando los animales reciben alimentos naturales.

Figura 4.- Incremento postprandial de la glucosa plasmática (panel de la izquierda) y de la concentración de insulina (panel de la derecha) después de la ingestión de una harina con un 20% de almidón de maíz nativo (□) o almidón de maíz pregelatinizado (◇) (medias ± sem, n = 5; * P<0.05). Según Noah et al. (1999)

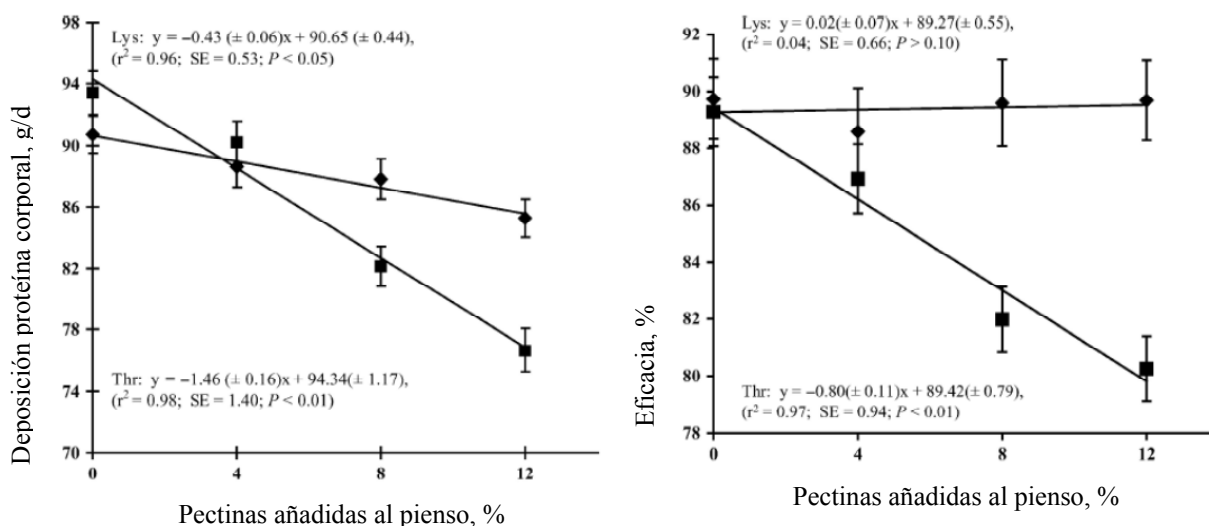


En lechones, el almidón digerido lentamente (bajo GI) mejoró el crecimiento como consecuencia de un mayor consumo de alimento (Van Kempen et al, 2007), lo que coincide con nuestros propios datos. Además, los lechones comían más, pero menos veces, con almidón de guisante nativo en comparación con almidón tratado por calor (Nutreco, 2009). Drew et al. (2012) observaron un aumento de la utilización de la proteína en cerdos en crecimiento y cebo con dietas de alto GI. De acuerdo con estos autores se requiere una respuesta suficiente de la secreción de insulina para optimizar la retención y excreción de nitrógeno. Hay que hacer notar que este estudio se hizo con cerdos que recibían una alimentación restringida y no ad libitum como se hace comúnmente en la práctica (Drew et al., 2012). Asimismo, dietas con un alto GI inducen la retención de grasa en ratones a través de un incremento de los transportadores de glucosa en el tejido adiposo y una baja oxidación de grasa en el período postprandial. Bach Knudsen (2011) concluyó en su reciente revisión que el tipo de almidón (lenta vs. rápidamente digestible) no tenía influencia sobre la composición de la canal en ganado porcino. Los polisacáridos no amiláceos sí tienen un impacto, de forma que los de tipo soluble conducen a canales más grasas. Los mecanismos moleculares que explican este resultado ha sido esclarecidos en estudios realizados en ratones y cerdos (Weber y Kerr, 2012).

5.- AUMENTO DE LAS NECESIDADES DE AMINOÁCIDOS CUANDO SE SUMINISTRAN PIENSOS RICOS EN FIBRA

Con el uso de ingredientes fibrosos debe tenerse en cuenta que la absorción aparente de aminoácidos puede reducirse como consecuencia de un aumento de las pérdidas endógenas y de la fermentación microbiana (Mosenthin et al., 1994). Además, los NSP solubles afectan a la utilización de treonina (y probablemente también a la de cistina y aminoácidos ramificados) como consecuencia de su alto contenido en el mucus. Esta reducción de la eficacia de utilización ha sido cuantificada recientemente (Zhu et al., 2005; figure 5). Dietas con un alto porcentaje de subproductos de trigo y pulpa de remolacha pueden contener niveles altos de NSP solubles. Por tanto, estas observaciones han sido incorporadas en las últimas recomendaciones publicadas por el NRC (2012).

Figura 5.- Efecto de un incremento de la inclusión de pectinas sobre la deposición de proteína corporal (g/d; panel de la izquierda) y la eficacia (%; panel de la derecha) de cerdos alimentados con piensos con un contenido limitante en lisina (◆) o treonina (■)(Zhu et al., 2005)



6.- COMPOSICIÓN DE LA DIETA Y ESTRÉS RELACIONADO CON EL COMPORTAMIENTO

La dieta podría reducir el impacto negativo del estrés sobre los rendimientos y el bienestar de los cerdos. Por ejemplo, el estrés social que ocurre cuando se mezclan al destete lechones de distintas camadas o cuando se recolocan animales (cerdas adultas o cerdos en crecimiento y cebo). La mezcla de lechones de diferentes camadas da lugar a problemas de comportamiento para establecer una nueva jerarquía. En ese caso el eje hipotálamo-glándula pituitaria-glándulas adrenales se estimula, lo que resulta en una alta liberación de la hormona del estrés (cortisol). La suplementación con triptófano puede reducir la respuesta del cortisol vía serotonina (Guzik et al., 2006). El triptófano es el precursor y el factor que limita la síntesis de este neurotransmisor hipotalámico. Por otra parte, los efectos sobre el estrés relacionados con el comportamiento no fueron observados en experimentos con ganado porcino (Guzik et al., 2006). Además, en cerdas gestantes la suplementación con triptófano no fue capaz de reducir el comportamiento agresivo y el estrés en el momento de la mezcla de animales (Poletto et al., 2010; Li et al., 2011). En contraste, una suplementación similar en cerdos en crecimiento y cebo redujo su comportamiento agresivo (Li et al., 2006). Esto podría explicarse por diferencias en la dosis de triptófano y el nivel de alimentación (Li et al., 2011). Además, el triptófano compite con otros aminoácidos neutros de alto peso molecular (valina, leucina, isoleucina, tirosina y

fenilalanina) como transportadores en la barrera sangre-cerebro. Es importante tener en cuenta que en la mayoría de los trabajos se aplicaron dosis elevadas de triptófano en ciertos periodos de tiempo, lo que limita su aplicación práctica.

Alternativamente, dietas ricas en fibra pueden utilizarse para incrementar la saciedad, reducir el comportamiento explorador y posiblemente también los vicios de comportamiento. La inclusión de lignocelulosa redujo la manipulación de objetos (Kallabis y Kaufmann, 2011). Por otra parte, la fibra fermentable parece tener más potencial en inducir la saciedad a largo plazo después de una comida (Leeuw et al., 2008; Souza da Silva et al., 2012). Es cuestionable si piensos ricos en fibra pueden aplicarse sin reducir el beneficio económico en cerdos en crecimiento y cebo.

7.- CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

En el enfoque de la nutrición clásica, la prioridad se concentra en nutrientes de importancia económica, tales como aminoácidos, energía y minerales (calcio y fósforo). Los ejemplos presentados en este trabajo ilustran que los alimentos provocan efectos en los cerdos que normalmente no se cuantifican en la formulación. La comprensión de estos efectos se hace más importante a medida que la industria de piensos necesita satisfacer las demandas del mercado y la sociedad. Para ello, la investigación en nutrición animal dispone de nuevas herramientas que nos permitirán estudiar el impacto de la nutrición sobre el sistema animal con un amplio nivel de detalle (e.g., proteómica, metabolómica, análisis avanzado del perfil de microorganismos).

Cabe esperar que el desequilibrio entre disponibilidad y demanda de muchos alimentos de amplio uso será cada vez mayor. Por tanto, la industria de piensos necesita explorar y considerar alimentos alternativos, nuevos cultivos y quizá nuevas fuentes tales como las algas o los insectos. Adicionalmente, nuevas tecnologías de procesado pueden aplicarse para mejorar el valor nutritivo de ingredientes de baja calidad.

Finalmente, para contrarrestar los elevados precios de los alimentos se dispone de unos nuevos modelos de software más sofisticados para la industria de piensos (e.g. Watson™: Ferguson, 2006; InraPorc: Milgen et al., 2008) que permiten a los nutricionistas formular piensos más próximos a las necesidades de los animales y optimizar al mismo tiempo el resultado económico de las granjas. Los principios de la alimentación de precisión (Pomar et al., 2010) llevarán en un futuro a la nutrición animal a un nivel superior.

8.- REFERENCIAS

- ANONYMOUS (2011) Het Verbond van Den Bosh (in Dutch).
- BACH KNUDSEN, K.E. (2011) *Journal of Animal Science* 89, 1965-1980.
- BROOKS, P.H. (2008) *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 3, 1-18.
- CANH, T.T., VERSTEGEN, M.W.A., AARNINK, A.J.A. y SCHRAMA, J.W. (1997) *Journal of Animal Science* 75, 700-706.
- CANIBE, N. and KNUDSEN, K.E.B. (1997) *Animal Feed Science and Technology* 64, 293-310.
- CHASE-TOPPING, M.E., GUNN, G., STRACHAN, W.D., EDWARDS, S.A., SMITH, W.J., HILLMAN, K., STEFOPOULOU, S.N. y THOMSON, J.R. (2007) *Veterinary Journal* 173, 353-360.
- DE RIDDER, K., LEVESQUE, C.L., HTOO, J.K. and DE LANGE, C.F.M. (2012) *Journal of Animal Science*.
- DIONISSOPOULOS, L., DE LANGE, C.F.M., DEWEY, C.E., MACINNES, J.I. y FRIENDSHIP, R.M. (2001) *Canadian Journal of Animal Science* 81, 179-187.
- DREW, M.D., SCHAFFER, T.C. y ZIJLSTRA, R.T. (2012) *Journal of Animal Science* 90, 1233-1241.
- ELBERS, A.R.W., DEN HARTOG, L.A., VERSTEGEN, M.W.A. y ZANDSTRA, T. (1989) *Livestock Production Science* 23, 10.
- FARDET, A. (2010) *Nutrition Research Reviews* 23, 65-134.
- FERGUSON, N.S. (2006). En: *Mechanistic modeling in pig and poultry production* (Eds. Gous et al.) p 22-53. CABI, Wallingford.
- GUZIK, A.C., MATTHEWS, J.O., KERR, B.J., BIDNER, T.D. y SOUTHERN, L.L. (2006) *Journal of Animal Science* 84, 2251-2259.
- HANSEN, C.F., HERNÁNDEZ, A., MANSFIELD, J., HIDALGO, Á., LA, T., PHILLIPS, N.D., HAMPSON, D.J. y PLUSKE, J.R. (2011) *British Journal of Nutrition* 106, 1506-1513.
- HANSEN, C.F., PHILLIPS, N.D., LA, T., HERNANDEZ, A., MANSFIELD, J., KIM, J.C., MULLAN, B.P., HAMPSON, D.J. y PLUSKE, J.R. (2010) *Journal of Animal Science* 88, 3327-3336.
- HEDEMANN, M.S. y KNUDSEN, K.E.B. (2007) *Livestock Science* 108, 175-177.
- HONTECILLAS, R., WANNEMUEHLER, M.J., ZIMMERMAN, D.R., HUTTO, D.L., WILSON, J.H., AHN, D.U. y BASSAGANYA-RIERA, J. (2002) *Journal of Nutrition* 132, 2019-2027.
- HOODA, S., METZLER-ZEBELI, B.U., THAVARATNAM, V. y ZIJLSTRA, R.T. (2011) *British Journal of Nutrition* 106, 664-674.

- ICE, A.D., GRANT, A.L., CLARK, L.K., CLINE, T.R., EINSTEIN, M.E., MARTIN, T.G. y DIEKMAN, M.A. (1999) *American Journal of Veterinary Research* 60, 603-608.
- JHA, R. y LETERME, P. (2012) *Animal* 6, 603-611.
- KALLABIS, K.E. y KAUFMANN, O. (2011) *Archive Tierzucht*, 1021-1024.
- KAMPHUES, J., PAPENBROCK, S., VISSCHER, C., OFFENBERG, S., NEU, M., VERSPOHL, J., WESTFAHL, C. y HÄBICH, A.C. (2007) *Übersichten zur Tierernährung* 35, 233-279.
- KIM, J., MULLAN, B.P., HEO, J., HANSEN, C.F. y PLUSKE, J.R. (2009) *British Journal of Nutrition* 102, 350-360.
- KOGUT, M.H. y KLASING, K. (2009) *Poultry Science* 18, 103-110.
- LALLÈS, J.P., BOSI, P., SMIDT, H. y STOKES, C.R. (2007a) *Proceedings of the Nutrition Society* 66, 260-268.
- LALLÈS, J.P., BOSI, P., SMIDT, H. y STOKES, C.R. (2007b) *Livestock Science* 108, 82-93.
- LAZZARRO, B.P.A.J.R. (2011) *Science* 332, 2.
- LE FLOC'H, N., MELCHIOR, D. y SÈVE, B. (2008) *Journal of Animal Science* 86, 3473-3479.
- LEEuw, J.A.D., BOLHUIS, J.E., BOSCH, G. y GERRITS, W.J.J. (2008) *Proceedings of the Nutrition Society* 67, 334-342.
- LI, Y.Z., BAIDOO, S.K., JOHNSTON, L.J. y ANDERSON, J.E. (2011) *Journal of Animal Science* 89, 1899-1907.
- LI, Y.Z., KERR, B.J., KIDD, M.T. y GONYOU, H.W. (2006) *Journal of Animal Science* 84, 212-220.
- LINDECORONA, R.H., JENSEN, T.K., JENSEN, B.B., LESER, T.D., JIUFENG, W. y MØLLER, K. (2003) *Animal Science* 76, 81-87.
- MILGEN, J.V., VALANCOGNE, A., DUBOIS, S., DOURMAD, J.Y., SÈVE, B. y NOBLET, J. (2008) *Animal Feed Science and Technology* 143, 387-405.
- MØLBAK, L., THOMSEN, L.E., JENSEN, T.K., KNUDSEN, K.E.B. y BOYE, M. (2007) *Journal of Applied Microbiology* 103, 1853-1867.
- MONTAGNE, L., LE FLOC'H, N., ARTURO-SCHAAN, M., FORET, R., URDACI, M.C. y LE GALL, M. (2012) *Journal of Animal Science* 90, 2556-2569.
- MOSENTHIN, R., SAUER, W.C. y AHRENS, F. (1994) *Journal of Nutrition* 124, 1222-1229.
- NOAH, L., LECANNU, G., DAVID, A., KOZLOWSKI, F. y CHAMP, M. (1999) *Reproduction, Nutrition, Development* 39, 245-254.
- NRC (2012) *Nutrient Requirements of Swine: 11th Revised Edition*. The National Academies Press.
- PAPENBROCK, S., STEMME, K., AMTSBERG, G., VERSPOHL, J. y KAMPHUES, J. (2005) *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 89, 84-87.

- PIEPER, R., BINDELLE, J., MALIK, G., MARSHALL, J., ROSSNAGEL, B.G., LETERME, P. y KESSEL, A.G.V. (2012) *Archives of Animal Nutrition* 66, 163-179.
- PLUSKE, J.R., SIBA, P.M., PETHICK, D.W., DURMIC, Z., MULLAN, B.P. y HAMPSON, D.J. (1996) *Journal of Nutrition* 126, 2920-2933.
- POLETO, R., MEISEL, R.L., RICHERT, B.T., CHENG, H.-W. y MARCHANT-FORDE, J.N. (2010) *Applied Animal Behaviour Science* 122, 98-110.
- POMAR, C., HAUSCHILD, L., ZHANG, G.H., POMAR, J. y LOVATTO, P.A. (2010). En: *7th International workshop on modeling nutrient digestion and utilization in farm animals* (eds. Sauvant et al.) p 327-334. Wageningen Academic Publishers, Wageningen.
- RAKHSHANDEH, A. y LANGE, C.F.M.D. (2011). In: *Manipulation Pig Production XIII*, 31-46.
- REGMI, P.R., METZLER-ZEBELI, B.U., GÄNZLE, M.G., KEMPEN, T.A.T.G.V. y ZIJLSTRA, R.T. (2011) *Journal of Nutrition* 141, 1273-1280.
- SÈVE, B. (2004) En: *55th Annual Meeting of the European Association for Animal production*, Bled (Slovenia)
- SMITH, C.E. y TUCKER, K.L. (2011) *Nutrition Research Reviews* 24, 118-131.
- SOUZA DA SILVA, C., VAN DEN BORNE, J.J.G.C., GERRITS, W.J.J., KEMP, B. y BOLHUIS, J.E. (2012) *Physiology & Behavior* 107, 218-230.
- STAHLY, T. (2001) Impact of immune system activation on growth and optimal dietary regimens of pigs. p 1-9. Nottingham University Press, Nottingham.
- STEIN, H.H. y DE LANGE, C.F.M. (2007) *Alternative feed ingredients for pigs*. In: London Swine Conference London, Ontario, Canada
- TANAKA, T., IMAI, Y., KUMAGAE, N. y SATO, S. (2010) *Journal of Veterinary Medical Science* 72, 827-831.
- THOMSEN, L.E., KNUDSEN, K.E.B., JENSEN, T.K., CHRISTENSEN, A.S., MØLLER, K. y ROEPSTORFF, A. (2007) *Veterinary Microbiology* 119, 152-163.
- THOMSON, J. (2009) *Acta Scientiae Veterinariae* 37 (suppl 1), S1-S9.
- TWOMEY, D.F., MILLER, A.J., SNOW, L.C., ARMSTRONG, J.D., BARNES, R.H., WILLIAMSON, S.M., FEATHERSTONE, C.A., REICHEL, R. y COOK, A.J.C. (2010) *Veterinary Record* 166, 722-724.
- VAN DER MEULEN, J., BAKKER, G.C., BAKKER, J.G., DE VISSER, H., JONGBLOED, A.W. y EVERTS, H. (1997) *Journal of Animal Science* 75, 2697-2704.
- VAN HEES, H.M.J., RAMAEKERS, P.J.L. y PHARAZYN, A. (2012) *How to feed pigs without whole grains and soybean meal ASAS Mid-West Meeting*, Des Moines, Iowa, USA.
- VAN KEMPEN, T.A.T.G., PUJOL, S., TIBBLE, S. y BALFAGON, A. (2007) pp. 515-525. Nottingham University Press, Nottingham.

- WHITNEY, M.H., SHURSON, G.C. y GUEDES, R.C. (2006a) *Journal of Animal Science* 84, 1860-1869.
- WHITNEY, M.H., SHURSON, G.C. y GUEDES, R.C. (2006b) *Journal of Animal Science* 84, 1880-1889.
- WHITNEY, M.H., SHURSON, G.C. y GUEDES, R.C. (2006c) *Journal of Animal Science* 84, 1870-1879.
- WILLIAMS, N.H., STAHLY, T.S. y ZIMMERMAN, D.R. (1997) *Journal of Animal Science* 75, 2481-2496.
- YEN, J.T., KERR, B.J., EASTER, R.A. y PARKHURST, A.M. (2004) *Journal of Animal Science* 82, 1079-1090.
- ZHU, C.L., RADEMACHER, M. y DE LANGE, C.F.M. (2005) *Journal of Animal Science* 83, 1044-1053.
- ZIJLSTRA, R.T. y BELTRANENA, E. (2007) Opportunities for co-product utilization in Western Canada. *In: Advances in Pork Production, Volume 18.* p 223-228.
- ZIJLSTRA, R.T., JHA, R., WOODWARD, A.D., FOUHSE, J. y VAN KEMPEN, T.A.T.G. (submitted) *J Anim Sci.*

FEDONA

FEDONA