

## EL PAPEL DE LA FIBRA DIETÉTICA EN ALIMENTACIÓN PORCINA<sup>1</sup>

Walter J.J. Gerrits y Martin W.A Verstegen  
Animal Nutrition Group, Animal Sciences Department,  
Wageningen University, The Netherlands

### 1.- INTRODUCCIÓN

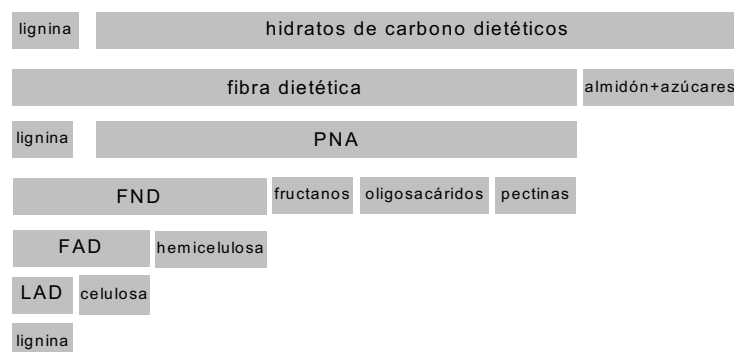
La demanda creciente de cereales ricos en energía para consumo humano y la mayor disponibilidad de subproductos ricos en fibra procedentes de industrias de alimentación humana, han provocado un aumento de la utilización de materias primas fibrosas en la alimentación porcina (Noblet y Le Goff, 2001). Además, otros factores como la prohibición de los antibióticos promotores del crecimiento, la necesidad de reducir emisiones de amonio al medio ambiente al tiempo que se debe mejorar el bienestar animal, el tránsito intestinal y reducir la incidencia de úlceras estomacales han ocasionado un aumento del empleo de materias primas fibrosas en los piensos (Low, 1985).

Históricamente, la fibra dietética (FD) se ha descrito como los componentes vegetales resistentes a la hidrólisis por los enzimas digestivos del hombre, en otras palabras, material que necesita de enzimas microbianos para su digestión. Últimamente, se ha aceptado el término de polisacáridos no amiláceos (PNA) como la definición más apropiada. Los aspectos relacionados con los componentes de la fibra o PNA y sus métodos de análisis ya han sido revisados por Bach Knudsen (2001) y no se tratarán en este trabajo. La figura 1 presenta los componentes de los hidratos de carbono y FD de la dieta según el método comúnmente utilizado de Van Soest (1963).

---

<sup>1</sup>Basado parcialmente en: *Influences of dietary fibre on physical activity and behaviour, and on its energy value for growing pigs* by Walter J.J. Gerrits, Martin M.J.A. Rijnen, J.E. (Liesbeth) Bolhuis and Johan W. Schrama (2004) *Perspectives in Pig Science*, pp: 441-456 Nottingham University Press. Nottingham UK.

**Figura 1.- Representación esquemática de la composición de los hidratos de carbono, fibra y polisacáridos no amiláceos (PNA) según el método de Van Soest (FND: fibra neutro detergente, FAD: fibra ácido detergente, LAD: lignina ácido detergente).**



Las materias primas difieren ampliamente en su contenido en fibra, composición y digestibilidad (cuadro 1). Durante la última década, muchos grupos de investigadores han estudiado la digestibilidad de la fracción PNA por el cerdo, en función del nivel de ingestión de PNA, la composición de los mismos o el peso del animal. Generalmente, el efecto del consumo de PNA sobre su digestibilidad depende de la composición de los mismos, esto es, de su origen (Schrama et al., 1998; Rijnen 2003). Normalmente la parte soluble de los PNA se digiere con facilidad (Graham et al., 1986; Noblet y Bach Knudsen, 1997; Noblet y Le Goff, 2001) mientras la parte insoluble no se digiere totalmente (Graham et al., 1986; Noblet y Bach Knudsen, 1997). La digestibilidad de los PNA mejora con el peso y la edad del cerdo (Fernandez y Jørgenson, 1986; Noblet y Shi, 1994; Le Goff et al., 2002), lo que puede estar relacionado con un mayor tiempo de retención del alimento en el intestino (Le Goff et al., 2002).

**Cuadro 1.- Algunos ejemplos de materias primas fibrosas, la composición de su fibra y su digestibilidad en cerdos en crecimiento.**

	<b>FD</b> g/kg MS	<b>FND</b> g/kg MS	<b>FAD</b> g/kg MS	<b>LAD</b> g/kg MS	<b>Digestibilidad</b> FD %
Pulpa de remolacha <sup>a</sup>	705	447	215	30	65
Salvado de trigo <sup>a</sup>	432	425	127	126	44
Salvado de maíz <sup>a</sup>	482	495	42	18	43
Cascarilla de soja <sup>b</sup>	758	626	511		55
Paja de trigo <sup>c,d</sup>	850	815	516	85	16

Datos de <sup>a</sup>Le Goff et al., 2002; <sup>b</sup>CVB, 2000; <sup>c</sup>Oosting, 1993; <sup>d</sup>Chabeauti et al. 1991, sólo digestibilidad.

Este trabajo revisa el papel de los PNA, especialmente en lo relativo a actividad física y comportamiento animal. También se analizan posibles aspectos para su valoración energética y emisiones al medio ambiente.

## 2.- MODOS DE ACCIÓN DE LOS POLISACÁRIDOS NO AMILÁCEOS

Las distintas propiedades fermentativas de varios PNA tienen muchas consecuencias en su modo de acción en el tracto intestinal (TI). Un estudio de Houdijk (1998) mostró la importancia del lugar del TI para la fermentación de los prebióticos (e. g. fructooligosacáridos). Como consecuencia, Minekus et al. (1999) utilizaron un modelo *in vitro* para simular el transporte y rotura de los componentes del alimento en varios tramos del TI del ser humano en combinación con la absorción de los componentes hidrolizados. En el tramo del modelo correspondiente al intestino grueso mostraron que algunos PNA, como la inulina, los polisacáridos de la soja y los fructooligosacáridos eran parcialmente fermentados en el inicio del intestino grueso. Por el contrario, el almidón resistente y la  $\alpha$ -celulosa, sólo fermentaban en la parte distal del intestino grueso.

Houdijk (1998) estudió por qué una fermentación continuada en el intestino grueso puede tener efectos beneficiosos. En cada segmento del TI debe existir una relación carbono-nitrógeno (C/N) adecuada (Borg-Jensen, 1993). Existe considerable evidencia de que, en condiciones no óptimas de manejo, los oligosacáridos no digeridos (OND) pueden ejercer efectos beneficiosos en animales jóvenes. Bauer et al. (2001) realizaron un largo estudio para evaluar las características fermentativas de varios hidratos de carbono.

Utilizando una técnica modificada de producción de gas acumulativa (Williams et al., 2001a), se determinó la fermentabilidad de acuerdo con la cinética de producción de gas, ácidos grasos volátiles (AGV) y amoníaco y el pH del medio al final de la fermentación. El inóculo de cerdos empleado no contenía ninguno de los sustratos a estudiar como ingrediente de la ración. El cuadro 2 muestra el tiempo medio ( $T_{1/2}$ ) de máxima producción de gas (una medida de la cinética de fermentación) y la relación de ácidos grasos ramificados (AGR) a ácidos grasos no ramificados (AGNR) de varios hidratos de carbono empleados como sustratos *in vitro*. Estos resultados indican que pueden existir grandes diferencias en la fermentabilidad de distintos hidratos de carbono, tanto en la tasa de fermentación como de los productos finales de la misma. De aquí se deriva que un aporte constante de PNA en el último tramo del TI puede ayudar a mantener una microbiota estable. Esta función prebiótica de los PNA fermentables ha sido la base de un considerable trabajo de investigación para conocer su potencial como sustitutos del uso preventivo de los antibióticos en piensos.

Mientras la mayoría de los autores comentan los efectos positivos de los PNA fermentables sobre la estabilidad de la microflora intestinal o una mejor salud intestinal (e.g. Williams et al., 2001a), Pluske et al. (2001) señalan los efectos negativos de consumos crecientes de PNA sobre la resistencia a la disentería porcina. A pesar de ello, generalmente se consideran positivos los efectos de los PNA sobre la microflora y la salud intestinal. Sin embargo, es importante descubrir los distintos modos de acción de los

diferentes PNA para emplearlos con éxito como sustitutos de antibióticos. En resumen, las propiedades físicas de los PNA, combinadas con su composición química serán las que determinen su efecto fisiológico.

**Cuadro 2.-  $T_{1/2}$  (tiempo medio para la asíntota de producción de gas - h) durante la fermentación de algunos productos y relación entre ácidos grasos ramificados (AGR) y no ramificados (AGNR) (Bauer et al., 2001)**

Ingrediente	$T_{1/2}$ (h)	AGR/AGNR
Goma arábica	24,5 <sup>ab</sup>	0,079 <sup>bc</sup>
Goma de guar	16,4 <sup>b</sup>	0,082 <sup>c</sup>
Xilanos	29,5 <sup>a</sup>	0,112 <sup>b</sup>
Fructooligosacáridos (FOS)	16,8 <sup>b</sup>	0,062 <sup>c</sup>
Trans-galactooligosacáridos (TOS)	16,1 <sup>b</sup>	0,137 <sup>b</sup>
Pulpa de remolacha	15,1 <sup>b</sup>	0,094 <sup>c</sup>
Inulina de alcachofa de Jerusalén	22,9 <sup>ab</sup>	0,127 <sup>b</sup>
Inulina de achicoria	21,6 <sup>ab</sup>	0,143

a,b,c Superíndices distintos en la misma columna son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ )

Los PNA solubles pueden aumentar la viscosidad en la parte superior del TI, reduciendo el vaciado estomacal y la velocidad de tránsito. Sin embargo, el vaciado gástrico no depende solamente del consumo de fibra soluble (Mosenthin et al., 2001). Además, el tiempo de retención en el estómago e intestino delgado es muy corto comparado con el del intestino grueso. Por tanto, cambios en el tiempo de vaciado gástrico no se traducen necesariamente en cambios en el tiempo de retención total. Se sabe que los componentes insolubles de la fibra aumentan la velocidad de tránsito en el intestino grueso por estimulación física y aumento del nivel de lastre. Después de incorporar una cantidad significativa de PNA fermentables en la ración de los cerdos, el cambio del sustrato para la flora intestinal provoca una modificación de su actividad (Pluske et al., 2001; Williams et al., 2001a).

Sin embargo, parece que los hidratos de carbono fermentables modifican la actividad de la microflora existente más que cambiar la composición de la propia microflora. Esto último parece que está ampliamente determinado por el genotipo del animal (B.A. Williams, comunicación personal). Los productos finales de la fermentación, en su mayoría ácidos grasos de cadena corta (AGCC) y amoníaco se absorben a través de la pared intestinal y los AGCC contribuyen al aporte de energía para el animal. Más aún, los productos de fermentación pueden tener efectos positivos específicos. Se ha sugerido que la proliferación de colonocitos tiene lugar en presencia de ácido butírico (Brouns et al., 2002). La fermentación de la proteína puede tener efectos negativos por la producción de amoníaco (Williams et al., 2001a).

### 3.- FIBRA DIETÉTICA Y ACTIVIDAD FÍSICA

El interés de los efectos de los PNA sobre el comportamiento del cerdo y la actividad física proviene de experimentos realizados con cerdas, que empezaron en los años 70 (Fraser, 1975; Robert et al., 1993; Brouns y Edwards, 1994). Generalmente, los alimentos que redujeron la actividad física de los animales fueron aquellos con un contenido de fibra relativamente elevado. Schrama et al. (1996) cuantificaron el efecto de los PNA de silo de pulpa de remolacha (SPR) en el consumo de energía y la actividad de cerdos confinados en grupos (cuadro 3). En este experimento sustituyeron mandioca por SPR, sobre la base de su contenido en energía neta, y midieron la producción de calor por calorimetría indirecta. La actividad física se registró empleando radiómetros Doppler, descrito por Wenk y van ES (1976).

Schrama et al. (1996) encontraron que la energía consumida en actividad física en el grupo SPR se redujo un 24%, fundamentalmente durante la noche. Posteriormente, Schrama et al. (1998) sustituyeron la mandioca por SPR en niveles crecientes (0, 5, 10 y 15% en base a materia seca) y observaron que la producción de calor asociada a la actividad disminuyó 3,9 kJ/g de DF fermentada procedente de SPR (cuadro 3). Sugirieron varias razones para esta disminución de la actividad física. Una posibilidad podía ser la actividad fermentadora en el TI, especialmente en la parte distal, relacionado con los productos finales de la fermentación o con una disponibilidad más gradual de la energía de la ración a lo largo del día. Otra posibilidad era una sensación de saciedad causada por un mayor efecto lastre. Alternativamente, podría ser un efecto relacionado con la composición química de la fracción PNA del SPR.

Para analizar las dos últimas hipótesis, Schrama y Bakker (1999) añadieron paja de trigo a dos raciones a base de almidón de maíz gelatinizado o almidón de patata crudo en un diseño factorial 2 x 2 (cuadro 3). Concluyeron que la sustitución de un almidón degradable (el de maíz gelatinizado) por los enzimas por otro altamente resistente a la degradación enzimática (almidón de patata) también reducía el gasto energético debido a la actividad física. La cantidad de almidón fermentado en el intestino grueso no se midió. El aumento del lastre alimenticio (paja de trigo añadida) no afectó al gasto de energía producido en la actividad física y no se encontraron interacciones entre tipo de almidón y efecto lastre, salvo para la emisión de metano. Esta fue más elevada para los grupos de cerdos que recibieron almidón fermentable y paja de trigo, indicando que la fermentación del almidón resistente está condicionada por la paja, aún cuando la adición de paja no contribuyó al consumo de energía metabolizable (EM).

**Cuadro 3.- Efectos de varios tratamientos en la producción de calor asociada a la actividad física en cerdos en crecimiento de 40-60 kg de peso vivo.**

Referencia	Tratamiento	Consumo EB <sup>a</sup>	EM:EB <sup>b</sup>	P <sup>e</sup>	PC total <sup>c</sup>	P <sup>e</sup>	PC asociada a actividad <sup>d</sup>	P <sup>e</sup>
Schrama et al. (1996)	Control (13% mandioca)	1133	79	†	618	NS	118	†
	SPR <sup>h</sup> , 17% (sin mandioca)	1172	78		631		90	
Schrama et al. (1998) <sup>f</sup>	Control (36% mandioca)	1268	77	*	673	NS	106	†
	SPR <sup>h</sup> , 17% (19% mandioca)	1280	74	*	665		80	
Schrama y Bakker (1999) <sup>g</sup>	Almidón maíz gelatinizado (35%)	1325	78	*	659	NS	122	**
	Almidón crudo de patata (35%)	1345	71	*	644		100	
Schrama y Bakker (1999) <sup>g</sup>	Sin paja de trigo	1253	80	*	656	NS	112	NS
	15% paja de trigo	1420	70	*	647		111	
Rijnen (2003) <sup>g</sup>	Alojamiento indiv.	1168	85	*	657	NS	71	NS
	Alojamiento grupos	1192	81	*	641		79	
Rijnen (2003) <sup>g</sup>	Almidón maíz gelatinizado (?%)	1175	85	*	653	NS	80	†
	Pulpa remolacha desecada (?%)	1185	81	*	645		69	

<sup>a</sup>Consumo energía bruta,  $\text{kJ.kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ; todos los animales estaban racionados; <sup>b</sup>Metabolizabilidad de la energía, %; <sup>c</sup>Producción total de calor,  $\text{kJ.kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ , medido por calorimetría indirecta; <sup>d</sup>Producción de calor asociada a la actividad,  $\text{kJ.kg}^{-0.75} \cdot \text{d}^{-1}$ ; <sup>e</sup>Probabilidades: NS,  $P > 0,10$ ; †,  $P < 0,10$ ; \*,  $P < 0,05$ ; \*\*,  $P < 0,01$ ; <sup>f</sup>Diferencia significativas tomadas de análisis de regresión de 0, 5, 10 y 15% SPR en base a MS; esta tabla sólo muestra tratamientos extremos; <sup>g</sup>Medias tomadas de cuadrados mínimos de un diseño factorial 2 x 2; interacciones de los parámetros no presentadas; <sup>h</sup>SPR: silo de pulpa de remolacha.

Conocidos los efectos significativos de los PNA sobre la actividad física, es importante saber si los sistemas de alojamiento pueden afectar el potencial de la fracción fibrosa de la ración para disminuir la actividad física. Rijnen et al. (2003) estudiaron el efecto del sistema de alojamiento (individual o agrupados) sobre el potencial de los PNA de la pulpa de remolacha (PR) para reducir la actividad física. Su hipótesis fue que la reducción en la actividad física obtenida al sustituir almidón gelatinizado de maíz por PNA digestibles de PR, debía ser inferior en animales alojados individualmente en jaulas de metabolismo que en cerdos agrupados en sistemas de alojamiento convencionales. Esta hipótesis se basaba en (i) la restricción física de los cerdos alojados individualmente, limitando la posibilidad de modificar su actividad física y (ii) la ausencia de interacciones sociales entre los cerdos cuando están alojados individualmente. Aunque los animales en jaulas individuales tuvieron un gasto energético por actividad física menor que los alojados en grupo, las diferencias no fueron significativas (cuadro 3). El empleo de PR deshidratada redujo el gasto de energía por actividad física de forma similar a la obtenida por Schrama et al. (1996, 1998).

En resumen, la inclusión de PR en raciones para cerdos en crecimiento reduce el consumo de energía para la actividad física. Este efecto no es específico de PR pues también se observó con almidón resistente. El efecto parece deberse a los procesos de fermentación, directa o indirectamente (productos finales de fermentación absorbidos) y no a la capacidad lastre de la ración (por adición de paja de trigo). Queda por dilucidar si la velocidad de fermentación y los productos de fermentación están relacionados con los efectos obtenidos. La reducción de la actividad física se obtuvo tanto para los cerdos en alojamiento individual como en grupos.

#### **4.- FIBRA DIETÉTICA Y COMPORTAMIENTO DEL CERDO**

Además de saber si los PNA son capaces de modificar la actividad física de los cerdos, es interesante conocer si también afectan al comportamiento del animal, que puede utilizarse para determinar el estado de bienestar del mismo. Este supuesto efecto positivo de los PNA sobre el comportamiento es la base en la que se apoyan algunas normas europeas para incluir los PNA en las raciones de algunas especies (cerdas, terneros de carne blanca). Por tanto, la observación del comportamiento se vuelve esencial. Además de en cerdos en crecimiento, también se han realizado estudios sobre la actividad física en cerdas. Por ejemplo, Ramonet et al. (1999) observaron que aumentado el nivel de fibra bruta de la ración reducía la actividad en pie y el comportamiento oral no alimenticio. Suponen que un cambio en la disposición para comer era el causante de este comportamiento. Sin embargo, no encontraron influencia alguna de los PNA de PR y salvado de trigo sobre la disposición para comer (Ramonet et al., 2000). Danielsen y Vestergaard (2001) concluyeron en un estudio a gran escala utilizando PR y una mezcla de

ingredientes fibrosos que ambas reducían la actividad física en cerdas primerizas. El comportamiento agresivo lo redujo la PR pero no la mezcla. De Leeuw et al. (2005) estudiaron si el comportamiento estereotípico y la actividad en cerdas tenían relación con la fermentación en el TI. Observaron que la fermentación reducía los estereotipos y, entre los parámetros sanguíneos, la variación en los niveles de glucosa fue la que tuvo una influencia negativa más clara sobre este comportamiento. Rijnen et al. (2003) también señalan una reducción en la actividad física cuando el almidón de la ración se sustituye por PNA de SPR; el tiempo y energía consumidos en actividad física fue menor cuando las cerdas consumieron 20 ó 30% de SPR que cuando la ración tenía 0 ó 10%.

Para los cerdos en crecimiento, la información relativa al efecto de los PNA sobre el comportamiento es escasa. Rijnen et al. (2003) han presentado los resultados de un experimento piloto para evaluar el efecto de la sustitución de almidón por PNA de PR sobre el comportamiento y la respuesta fisiológica de cerdos. Pruebas de campo que suponen aislamiento del animal en un ambiente no familiar, muestran complicados patrones de comportamiento que pueden indicar, entre otros, disposición para explorar el medio y miedo (e.g. Andersen et al., 2000; Candland y Nagy, 1969). Para cerdos alojados en grupos, el aislamiento de sus compañeros de establo parece ser la mayor causa de estrés (Fraser, 1974).

Doornhegge, van den Borne, Rijnen y Bolhuis (datos no publicados) llevaron a cabo un experimento de campo utilizando almidón o PR en el pienso con 26 de los animales alojados en grupo. Los animales consumieron cada tratamiento durante 4 semanas, pasando después a unos corrales individuales de 4,8 x 5,5 m<sup>2</sup> durante 20 minutos. Transcurridos 10 minutos de estancia en el corral, se introdujo un objeto nuevo en el mismo y se registró el comportamiento del animal mediante grabación continua. También se recogieron muestras de saliva de los animales inmediatamente antes y después de la prueba, para analizar cortisol, y se registró el ritmo cardíaco de forma continua con aparatos Polar (Polar Electro OY, Kimpele, Finland). Para ello, los cerdos tuvieron un periodo de adaptación previo a los procedimientos experimentales. Los cerdos con PR no sólo mostraron una menor actividad cuando estaban alojados en grupo (resultados de Rijnen et al., 2003; cuadro 3) respecto a los alimentados con almidón, sino que tendieron a moverse menos cuando fueron trasladados al corral. Esta menor actividad física no fue a costa del comportamiento general de exploración, ya que el tratamiento no afectó al tiempo empleado en olfatear las paredes o suelo del corral abierto. Las otras observaciones presentadas en el cuadro 4 señalan que los cerdos alimentados con PR dedicaron menos tiempo a explorar el nuevo objeto. Esto podría indicar que tendrían más miedo o menos interés en hacerlo. Además, otros datos analizados no revelaron signos de más miedo al objeto nuevo en los cerdos con PR. Por ejemplo, no se intensificaron, cuando se introdujo el objeto nuevo, las llamadas de alta intensidad, como gemidos o gritos, generalmente asociadas a situaciones de miedo (Kiley, 1972).



**Cuadro 4.- Efecto de la sustitución del almidón por fibra dietética de pulpa de remolacha sobre el comportamiento y respuestas fisiológicas de cerdos en crecimiento en condiciones de campo (parámetros seleccionados)<sup>a</sup>**

Variable	Almidón	Pulpa de remolacha	P
Posición y locomoción			
Locomoción (% del tiempo)	27,4	24,4	0,06
Permanencia en pie (% del tiempo)	69,9	73,6	NS
Otros comportamientos			
Olfatear pared o suelo (% del tiempo)	37,7	38,2	NS
Comportamiento de huida (% del tiempo)	2,8	0,9	0,10
Vocalizaciones, duración (s)	60,0	102,0	0,02
Vocalizaciones, frecuencia	258,9	200,4	NS
Defecación, duración (s)	355,0	283,0	NS
Aumento cortisol durante la prueba (ng/ml saliva)	1,3	1,0	NS
Ritmo cardiaco durante la prueba (lpm)	129,2	123,9	0,11
Objeto nuevo			
Contacto con la jeta, duración (s)	31,1	201,3	0,11
Contacto con la jeta (% del tiempo)	12,6	6,5	0,06
Cambio en ritmo cardiaco (lpm)	16,2	15,9	NS

<sup>a</sup> Según Doornhegge, van den Borne, Rijnen y Bolhuis, datos no publicados.

En resumen, estos resultados ilustran que los PNA de PR reducen la actividad física, pero no a costa del comportamiento explorador o de huida cuando los cerdos son alojados en un ambiente que no les resulta familiar. Movimiento, actitud de huida y vocalizaciones en un ambiente abierto se han relacionado con el grado de excitación, reactividad o emotividad de un individuo durante la prueba (Buchenaer, 1990; Fraser, 1974; Von Borell y Ladewig, 1992). El movimiento acompañado de intentos de huida también ha sido interpretado como ganas de escapar de ese ambiente (cf. Thodberg et al., 1999). Los animales alimentados con la ración de PR parecían menos alarmados por la situación experimental y menos incitados a la huida del ambiente en el que se encontraban, lo que puede indicar menos grado de estrés o de temor.

De modo alternativo, aunque no está claro el vínculo entre PR u otras fuentes de fibra y la motivación para comer (e.g. Meunier-Salaün et al., 2001; Ramonet et al., 2000; Whittaker et al., 1998; 1999), la menor actividad y falta de atención al nuevo objeto observada en los cerdos alimentados con PR comparados con los alimentados con almidón, podría ser explicado por la motivación para el consumo y comportamiento alimentario. En ratas, la alimentación restringida y el ayuno, que ambas motivan al consumo, aumentan la locomoción en pruebas en espacios abiertos (Heiderstadt et al., 2000), un indicador de la

actividad y exploración en esta especie (Walsh y Cummins, 1976) y del comportamiento explorador hacia objetos (Kamback, 1966), respectivamente. También, en cerdos, la actividad física, expresada como porcentaje del gasto de energía para mantenimiento, disminuyó cuando aumentó el consumo de pienso (Susabeth y Menke, 1991). Sin embargo, debe considerarse que los cerdos empleados en este experimento tuvieron niveles similares de alimentación. Se necesita más investigación, incluyendo observaciones concienzudas del comportamiento de cerdos alojados en grupos, para dilucidar cómo y por qué una ración con PR afecta al comportamiento de los animales y, posiblemente, a su grado de bienestar. Además, falta investigar si los resultados presentados son debidos a los PNA en general o son específicos de los PNA de la PR.

## **5.- EL VALOR ENERGÉTICO DE LOS PNA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO**

La valoración energética de los PNA ha interesado a varios grupos de investigadores y los resultados obtenidos se han adoptado ampliamente. La fibra dietética se considera una fuente pobre en energía para el cerdo en crecimiento, debido especialmente a la baja digestibilidad de los PNA cuando se la compara con el almidón (cuadro 1, desaparición fecal del almidón próxima al 100%). En lo que respecta a la utilización energética de los PNA digeridos, se suele adoptar una eficacia del 70% de la del almidón (CVB, 2000; Noblet y Le Goff, 2001; Longland y Low, 2001; Bach Knudsen, 2001). Este supuesto suele basarse en cálculos bioquímicos o estudios tradicionales de valoración energética por calorimetría indirecta (Just et al., 1983; Noblet et al., 1994, Jørgenson et al., 1996, 1997). Sin embargo, como ya se ha comentado, los PNA pueden reducir los gastos de energía para la actividad física, por lo que ahorrarían energía para otros propósitos. En este apartado se explica brevemente el sistema de energía neta (EN) holandés (CVB, 2000) como ejemplo representativo. También se analizan las implicaciones de los efectos ya comentados de los PNA en la actividad física para el valor energético de los mismos.

El sistema EN holandés (CVB, 2000) es un sistema de valoración marginal. Esto significa que el valor de energía neta (NEv, MJ/kg) de una materia prima indica cuánto aumentará la retención energética en el cerdo cuando aumente un kg el consumo de ese ingrediente. Esto implica que el gasto energético de mantenimiento es constante. El primer paso en el sistema es una corrección por pérdidas fecales. El sistema utiliza la digestibilidad aparente fecal de los nutrientes y, por tanto, corrige las diferencias en la digestibilidad de los nutrientes para las distintas materias primas. Los nutrientes considerados son proteína bruta digestible, grasa bruta digestible, almidón y azúcares enzimáticos digestibles y FD fermentable (definida como materia seca - (cenizas + proteína + grasa + azúcares + almidón)). El segundo paso en el sistema holandés es la

conversión de los nutrientes digestibles a energía neta o retenida. Para ello, se fija una eficacia parcial para cada nutriente. El cuadro 5 muestra algunos valores del sistema EN.

**Cuadro 5.- Valores de entalpía y energía neta utilizados por el sistema holandés para los nutrientes digestibles (basado en CVB, 1997)**

Nutriente	Entalpía (MJ/kg)	Energía neta (MJ/kg)	Eficiencia Parcial (NE/Entalpía, %)
Proteína digestible	23,6	10,8	46 <sup>b</sup>
Grasa digestible	39,3	36,1	92
Almidón enzimático digestible	17,5	13,5	77
Azúcares enzimáticos digestibles <sup>a</sup>	15,8	12,2	77
FD fermentable	17,5	9,5	54 <sup>c</sup>
Almidón fermentable	17,5	9,5	54 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> azúcares expresados en equivalentes de glucosa; <sup>b</sup> incluye pérdidas de energía en forma de urea en orina; <sup>c</sup> incluye pérdidas de energía como gases combustibles.

La principal ventaja de un sistema EN respecto a otros de energía digestible (ED) o metabolizable (EM) es que la utilización energética depende de la composición en nutrientes del alimento. Sin embargo, también hay serios inconvenientes en un sistema de energía neta. Se asume que la energía consumida para mantenimiento es constante y, por tanto, se puede eludir asignando valores marginales de EN a las materias primas. Existe considerable evidencia de factores relacionados con el animal, el ambiente o la ración que afectan procesos biológicos que se consideran parte de la energía de mantenimiento, lo que pone en evidencia la debilidad de este supuesto. Los factores dietéticos que afectan a la energía de mantenimiento también pueden afectar al valor de EN de un alimento. Como ejemplo, los factores antinutricionales y los ya mencionados efectos de PNA en la actividad física.

Otro problema es la ausencia de mecanismos biológicos en el sistema que permitan representar interacciones, por ejemplo, a nivel de digestión. Bakker (1996) mostró que cuando se aumentaban los PNA, disminuía la digestibilidad de la grasa. Es imposible incluir este tipo de interacciones en un sistema que asigna un valor nutricional a los ingredientes individuales. También aparecen problemas para conectar los valores nutritivos con las necesidades de los animales. Aunque estas necesidades no forman parte de un sistema de valoración, tiene que haber una estrecha relación entre ambos. El valor nutritivo se asigna individualmente a cada ingrediente y, por tanto, se expresa en unidades/kg de alimento. Sin embargo, las necesidades se expresan como mucho en unidades/kg de pienso compuesto, no de ingrediente (lo ideal es en unidades/día). En la práctica, necesidades y valores nutritivos se unen utilizando programas de formulación a mínimo coste basados en técnicas de programación lineal. Aunque en teoría todo esto es cierto, en la práctica, el

sistema EN se utiliza con éxito en varios países y los problemas mencionados no son específicos de sistemas de EN.

### **5.1.- Valor de EN para los PNA dietéticos**

Como se muestra en el cuadro 3, el gasto energético para la actividad física puede reducirse con FD fermentable. Schrama et al. (1998) calcularon que la disminución del gasto energético para actividad física era 3.9 kJ EN por g de PNA fermentable consumido. En su experimento esto equivalía a alrededor del 8% de las necesidades de EM estimadas para mantenimiento. El contenido en EN calculado con estos datos para los PNA fue de 14,1 MJ/kg. La reducción de la actividad física inducida por SPR, compensó completamente el menor contenido teórico de EN de la FD (9,5 MJ/kg) comparado con el del almidón (13,5 MJ/kg). Como ya se ha indicado, los datos de Schrama y Bakker (1999) demostraron una reducción en la actividad física parecida cuando utilizaron almidón resistente. Sin embargo, el contenido en EN del almidón resistente, que es un PNA, no se puede calcular pues no se pudo distinguir entre el almidón enzimático digerido y el fermentado. Sólo puede estimarse midiendo desaparición de almidón en íleon, asumiendo que no se produce fermentación en el intestino delgado.

Los datos de Rijnen (2003) mostraron que el valor de EN de los PNA fermentados de harinas de coco y soja extraídas con solventes fue numéricamente superior que el teórico de 9,5 MJ/kg utilizado en el sistema holandés (cuadro 5), pero no significativamente distinto. En estos experimentos no se observó efecto alguno de los PNA fermentados de estas materias primas sobre la actividad física. Considerando la gran variedad en la composición química de fuentes de PNA de distintos orígenes botánicos (e. g. pectinas, FND, FAD y LAD) se puede cuestionar si un valor de EN para los PNA fermentables es suficientemente preciso para un buen sistema de valoración de alimentos. Pueden existir grandes diferencias en la estimación del contenido en EN de los PNA fermentables entre distintas fuentes de fibra, aún cuando se utilicen procedimientos y equipos similares (cuadro 5).

### **5.2.- Consideración de los efectos en la actividad física inducidos por la dieta en sistemas EN**

La actividad física suele considerarse parte del gasto de energía de mantenimiento aunque Susenbeth y Menke (1991) y Verstegen et al. (1982) han demostrado que depende del nivel de alimentación y de la edad, respectivamente. En teoría, el diseño de cualquier sistema de EN para cerdos en crecimiento, al ser sistemas marginales y asumir que la energía de mantenimiento es constante, no permite considerar los efectos de la dieta en el gasto energético de mantenimiento. Por lo menos existen tres formas de considerar los efectos inducidos por la dieta en la actividad física en los sistemas EN. Uno es que estos

efectos deben considerarse desde el punto de vista de las necesidades y no de las valoraciones. La ventaja de este enfoque es que está mejor relacionado con procesos fisiológicos que ocurren en el animal. Probablemente exista una explicación biológica para estos efectos sobre la actividad física, relacionados con el tiempo o tipo de absorción de los nutrientes. En la práctica presenta la desventaja de que, en los sistemas actuales, es poco agradable trabajar con necesidades nutricionales que varían por efectos debidos a la dieta en la actividad física. El empleo de modelos mecanísticos basados biológicamente al valorar el alimento podría ser una solución a este problema.

Otra posibilidad podría ser separar los efectos (positivos o negativos) de la actividad física sobre la EN de la valoración de un ingrediente. En el caso del SPR (Schrama et al., 1998) el contenido en EN de los PNA fermentables pudo ser similar al de otros ingredientes, pero se pudo haber hecho una corrección positiva en su EN para la actividad física, asignando entonces un valor total de EN mayor al SPR. De forma análoga, también se podrían considerar otros procesos consumidores de energía dependientes de la dieta, por ejemplo los costes energéticos de la digestión. Un inconveniente de este enfoque es que debería haber un conocimiento detallado de los factores desencadenantes de procesos como la actividad física y los costes energéticos de la digestión.

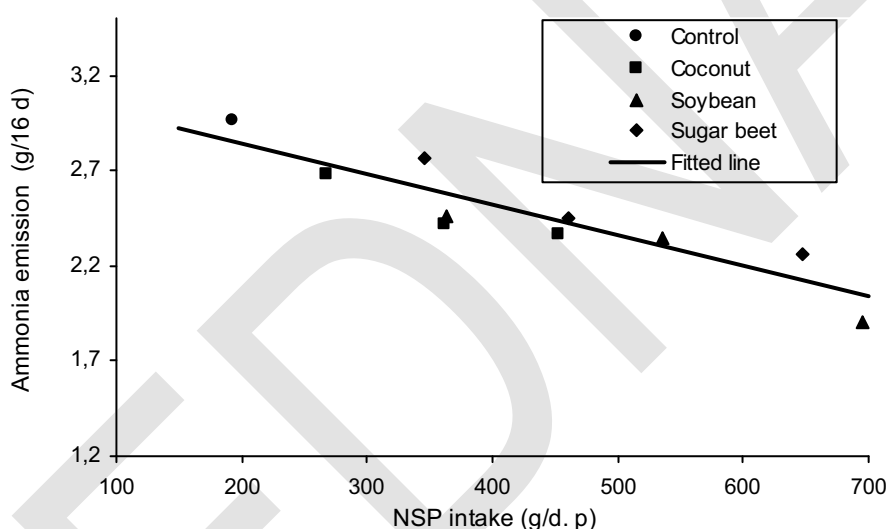
La última posibilidad, y la más práctica, es asignar valores específicos de EN a los PNA fermentables por ingrediente. Esto es posible si se considera que la EN depende realmente de las características del alimento e independiente de su composición en nutrientes. Por ejemplo, si la reducción de la actividad física por PR dependiera del genotipo, sistema de alojamiento (no sería el caso para cerdos alojados individualmente vs agrupados, Rijnen et al., datos no publicados) o nivel de alimentación, este enfoque no sería válido. Existen más ejemplos de factores dietéticos que afectan al consumo de energía por la actividad física que no se podrían considerar con este enfoque, como los del triptófano, grasas vs hidratos de carbono, etc.

Considerando lo anterior, es importante mejorar el conocimiento en los mecanismos biológicos causantes de los efectos de los PNA sobre la actividad física. Muy probablemente dependen de las propiedades físicas y químicas de la fracción PNA. Además, existen indicios de que la EN de los PNA está relacionada con la tasa de fermentación (Rijnen, 2003). Por estos motivos, es esencial una mejor caracterización de la fracción FD en un sistema de EN.

## 6.- PNA DIETÉTICOS Y MEDIO AMBIENTE

La disminución del contenido en N de los purines ha sido, hasta ahora, donde más esfuerzo se ha realizado en relación con el medio ambiente y la nutrición. Cabe esperar que combinando un menor contenido de N en el pienso con un aumento de PNA fermentables se consiga un cambio de la excreción de N urinario a fecal. Además, se ha señalado que el aumento de PNA fermentables provoca una disminución del pH y reduce la emisión de amoníaco en las deyecciones (figura 2, Canh et al., 1996)

**Figura 2.- Emisión de amoníaco de las deyecciones en función del consumo diario de polisacáridos no amiláceos (PNA) (Canh et al., 1998).**



## 7.- CONCLUSIONES

Los resultados de varios estudios demuestran que, comparado con el almidón, la inclusión de PNA en raciones para cerdos produce cambios en TI en lo que respecta a tiempo de retención, velocidad y tipo de digestión y condiciones físicas. Esto puede modificar la actividad microbiana y tener consecuencias para la salud intestinal. En cerdas y cerdos en crecimiento los PNA también reducen la energía consumida por la actividad física. Sin embargo, la mayoría de las observaciones se han realizado con pulpa de remolacha. Este efecto también se ha observado con almidón resistente y parece deberse a procesos fermentativos, ya sea directa o indirectamente, por los productos finales de la fermentación. Este efecto no se pudo demostrar cuando se aumentaba el efecto lastre de la ración añadiendo paja de trigo. La reducción en la actividad física se observó tanto en cerdos alojados individualmente como en los alojados en grupos convencionales. Un estudio del comportamiento al aire libre reveló que los cerdos alimentados con PR mostraron una actividad locomotora menor, pero no por una disminución del

comportamiento exploratorio o la actitud para la huida. Se necesita investigar todavía, incluyendo estudios de comportamiento de cerdos en alojamiento colectivo, para elucidar por qué y cómo una ración rica en PNA influye en las respuestas del comportamiento y, posiblemente en su bienestar. Además, queda por averiguar si los resultados publicados están relacionados con los PNA fermentables en general o son específicos para los PNA de la PR.

Los efectos observados de los PNA fermentables sobre la actividad física condicionan su valor nutritivo. Considerando el efecto de los PNA de PR sobre la actividad física, por ejemplo, en un sistema EN incrementaría su contenido en EN hasta un valor próximo al del almidón. Sin embargo, los efectos de la dieta sobre la actividad física son difíciles de tener en cuenta en un sistema EN, pues generalmente están considerados como parte del gasto de la energía de mantenimiento. Por otro lado, es importante tener en cuenta estos efectos en un sistema de valoración de alimentos pues representan un valor económico del alimento. Para el futuro de la valoración de los alimentos, es importante mejorar el conocimiento de los mecanismos biológicos que están detrás de los efectos de la FD sobre la actividad física. Probablemente estos efectos dependan de las propiedades físicas y químicas de la fracción FD y, también, de la cinética de su fermentación.

## 7.- REFERENCIAS

- ANDERSEN, I.L., BOE, K.E., FOERVIK, G., JANCZAK, A.M. y BAKKEN, M. (2000) *Applied Animal Behaviour Science* 69: 227-240
- BACH KNUDSEN, K.E. (2001) *Anim. Feed Sci. Tech.* 90: 3-20
- BAKKER, G.C.M. (1996) *PhD thesis Wageningen University*, Wageningen, the Netherlands, 193 pp.
- BAUER E., WILLIAMS B.A., VOIGT C., MOSENTHIN R. y VERSTEGEN, M.W.A. (2001) *Anim. Sci.* 73: 313-322
- BORG JENSEN, B. (1993) *44<sup>th</sup> EAAP meeting* aug 16-19 foulum Denmark p1-15
- BROUNS, F. y EDWARDS, S.A. (1994) *Applied Animal Behaviour Science* 39: 225-235.
- BROUNS, F., KETTLITZ, B. y ARRIGONI, E. (2002) *Trends in Food Science and Technology* 13: 251-261
- BUCHENAUER, D. (1990) *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift* 97: 247-249
- CANH, T.T., SUTTON, A.L., AARNINK, A.J.A., VERSTEGEN, M.W.A., SCHRAMA J.W. y BAKKER, G.C.M. (1998) *J. Anim. Sci.* 76: 1887-1895
- CANDLAND, D.K. y NAGY, Z.M. (1969) *Annals New York Academy of Sciences* 159: 831-851.
- CHABEAUTI, E., NOBLET, J. y CARRÉ, B. (1991) *Anim. Feed Sci. Tech.* 32: 207-213
- CVB (2000) *Centraal Veevoederbureau Nederland*, Lelystad, The Netherlands
- DANIELSEN, V. y VESTERGAARD, E.M. (2001) *Anim. Feed Sci. Tech.* 90: 71-80

- DE LEEUW, J.A. DE, ZONDERLAND, J.J., ALTENA SPOOLDER, H.A.M., JONGBLOED A.W. y VERSTEGEN, M.W.A. (2005) *Applied Behaviour Science* 91: 15-29
- FERNANDEZ, J.A. y JØRGENSEN, J.N. (1986) *Liv. Prod. Sci.* 15: 53-71
- FRASER, D. (1974) *Applied Animal Ethology* 1: 3-16
- FRASER, D. (1975) *Anim. Prod.* 21: 59-68
- GRAHAM, H., HESSELMAN, K. y AMAN, P. (1986) *J. Nutr.* 116: 242-251
- HEIDERSTADT, K.M., MCLAUGHLIN, R.M., WRIGHT, D.C., WALKER, S.E. y GOMEZ-SANCHEZ, C.E. (2000) *Laboratory Animals* 34: 20-28
- HOUDIJK, J.G.M. (1998) *PhD Thesis Wageningen University, The Netherlands*
- JØRGENSEN, H., ZHAO, X.Q. y EGGUM, B.O. (1996) *Br. J. Nutr.* 75: 365-378
- Jørgenson, H., Larsen, T., Zhao, X.Q., Eggum, B.O. (1997) The energy value of short-chain fatty acids infused into the caecum of pigs. *Br. J. Nutr.* 77: 745-756
- JUST, A., FERNANDEZ, J.A. y JØRGENSEN, H. (1983) *Liv. Prod. Sci.* 10: 171-186.
- KAMBAK, M.C. (1966) *Psychon. Sci.* 5: 47-53.
- KILEY, M. (1972). *Zeitschrift für Tierpsychologie* 31: 171-222
- LE GOFF, G., VAN MILGEN, J. y NOBLET, J. (2002) *Anim. Sci.* 74: 503-515
- LONGLAND, A.C. y LOW, A.G. (2001) En: *Recent Developments in Pig Nutrition*. Garnsworthy, P.C. y Wiseman, J. (eds.) 3: 239-260
- LOW, A.G. (1985) En: *Recent Advances in Animal Nutrition*. Haresign, W. y Cole, D.J.A. (eds.). Butterworths, London. pp. 87-112.
- MEUNIER-SALAÜN, M.C., EDWARDS y ROBERT, S. (2001) *Anim. Feed Sci. Tech.* 90: 53-69
- MINEKUS, M (1998) *Ph D Thesis University of Utrecht, The Netherlands*
- MOSENTHIN, R., HAMBRECHT, E. y SAUER, W.C. (2001) En: *Recent Developments in Pig Nutrition*. Garnsworthy, P.C. y Wiseman, J. (eds.) 3: 293-322.
- MUL, A.J. (1997) En: *Non digestible oligosacharides*. Hartemink. pp. 106-124.
- NOBLET, J. y BACH KNUDSEN, K.E. (1997) *Proceedings of the 7<sup>th</sup> international symposium on digestive physiology in pigs*, Saint Malo, France. pp. 571-574.
- NOBLET J., FORTUNE, H., SHI, X.S. y DUBOIS, S. (1994) *J. Anim. Sci.* 72: 344-354
- NOBLET, J. y LE GOFF, G. (2001) *Anim. Feed Sci. Tech.* 90: 35-52
- NOBLET, J. y SHI, X.S. (1994) *Liv. Prod. Sci.* 37: 323-338
- OOSTING, S.J. (1993) *PhD thesis Wageningen University, Wageningen, The Netherlands*
- PLUSKE, J.R., PETHICK, D.W., DURMIC, Z., HAMPSON, D.J. y MULLAN, B.P. (2001) En: *Recent Developments in Pig Nutrition*. Garnsworthy, P.C. y Wiseman, J. (eds.) 3: 123-160.
- RAMONET, Y., BOLDUC J., BERGERON R., ROBERT S. y MEUNIER-SALAUN, M.C. (2000) *Applied Animal Behaviour Science* 66: 21-29
- RAMONET Y., MEUNIER-SALAUN, M.C. y DOURMAD, J.Y. (1999) *J. Anim. Sci.* 77: 591-599
- RIJNEN, M.M.J.A. (2003) *PhD thesis Wageningen University The Netherlands*



- RIJNEN, M.M.J.A., VERSTEGEN, M.W.A., HEETKAMP, M.J.W., HAAKSMA, J. y SCHRAMA, J.W. (2003) *J. Anim. Sci.* 81: 1822-190
- ROBERT, S., MATTE, J.J., FARMER, C., GIRARD, C.L. y MARTINEAU, G.P. (1993) *Applied Animal Behaviour Science* 37: 297-309
- SCHRAMA, J.W. y BAKKER, G.C.M. (1999) *J. Anim. Sci.* 77: 3274-3280
- SCHRAMA, J.W., VERSTEGEN, M.W.A., VERBOEKET, P.H.J., SCHUTTE, J.H. y HAAKSMA, J. (1996) *J. Anim. Sci.* 74: 2220-2225
- SCHRAMA, J. W., BOSCH, M.W., VERSTEGEN, M.W.A., VORSELAAR, A.H.P.M., HAAKSMA, J. y HEETKAMP, M.J.W. (1998) *J. Anim. Sci.* 76: 3016-3023
- SUSENBETH, A. y MENKE, K.H. (1991) En: *Energy Metabolism of Farm Animals*. Wenk, C. y Boessinger, M. (eds). Schriftenreihe aus dem Institut für Nutztierwissenschaften, Gruppe Ernährung, ETH-Zurich, Zurich. pp. 416-419.
- THODBERG, K., JENSEN, K.H. y HERSKIN, M.S. (1999) *Applied Animal Behaviour Science* 63:103-119
- VAN SOEST, P.J. (1963) *J. AOAC* 46: 829-835
- VERSTEGEN, M.W.A., VAN DER HEL., W., BRANDSMA, H.A. y KANIS, E. (1982) En: *Energy Metabolism of Farm Animals*. Ekern, A. y Sunstøl, F. (eds). Agricultural University of Norway, Aas, Norway. pp. 218-221.
- VON BORELL, E. y LADEWIG, J. (1992). *Applied Animal Behaviour Science* 34: 195-206.
- WALSH, R.N. y CUMMINS, R.A. (1976) *Psychological Bulletin* 83: 482-504
- WENK, C. (2001) *Anim. Feed Sci. Tech.* 90: 21-33.
- WENK, C. y VAN ES, J.H. (1976) *Monatsh.* 54: 232-236.
- WHITTAKER, X. EDWARDS, S.A. SPOOLDER, H.A.M, LAWRENCE, A.B. y CORNING, S. (1999). *Applied Animal Behaviour Science* 63: 25-39.
- WHITTAKER, X. SPOOLDER, H.A.M, EDWARDS, S.A., LAWRENCE, A.B. y CORNING, S. (1998) *Applied Animal Behaviour Science* 61: 89-102.
- WILLIAMS, B.A., VERSTEGEN, M.W.A. y TAMMINGA, S. (2001a) *Nutrition Research Reviews* 14: 201-227
- WILLIAMS B.A., VOIGT C., MOSENTHIN R. y VERSTEGEN M.W.A. (2001b) *Anim. Sci.* 73: 313-322.

FEDONA