

## **EFECTOS DE LA FIBRA DIETÉTICA EN PIENSOS DE INICIACIÓN PARA POLLITOS Y LECHONES**

G.G. Mateos, R. Lázaro, J.M. González-Alvarado, E. Jiménez y B. Vicente  
Departamento de Producción Animal. Universidad Politécnica de Madrid

### **1.- INTRODUCCIÓN**

El estudio de los efectos fisiológicos de la fracción fibra de los alimentos en monogástricos no fue motivo de gran interés para los nutricionistas durante años. Los primeros trabajos se limitaban a estudiar los efectos negativos de la fibra bruta (FB) sobre la productividad en monogástricos jóvenes haciendo énfasis en la necesidad de reducir los niveles en piensos por su impacto negativo sobre la palatabilidad, la digestibilidad de los nutrientes y la productividad. Sin embargo, en los últimos 10 años numerosos investigadores han trabajado en aspectos fisiológicos relacionados con la fibra de gran relevancia sobre la productividad animal como son su influencia sobre 1) la sensación de saciedad y su relación con el bienestar animal, 2) la incidencia de úlceras, colitis inespecíficas y otros procesos digestivos, 3) la flora digestiva y 4) la actividad de la molleja y la motilidad del tracto gastrointestinal (TGI). Así, la pulpa de remolacha se utiliza con frecuencia en dietas para cerdas por su efecto positivo sobre la sensación de saciedad en animales con alimentación restringida y sobre la calidad y consistencia de las heces (Lizardo et al., 1997; Schiavon et al., 2004). También, la fibra insoluble puede mejorar la fisiología y motilidad del aparato digestivo reduciendo el riesgo de procesos entéricos (Mateos et al., 2006a). En base a estos estudios, hoy día no se considera la fibra como un mero factor antinutricional ya que dependiendo del tipo y cantidad incorporada puede afectar de forma positiva la salud y la productividad del animal.

### **2.- NATURALEZA DE LA FRACCIÓN FIBRA DE LOS ALIMENTOS**

En el cuadro 1 se ofrece la clasificación general de los hidratos de carbono, incluidos en la fracción fibra dietética según Bach Knudsen (1997). En el cuadro 2 se detalla la composición de la fracción fibra de ingredientes de uso común en alimentación

animal. La fibra de los alimentos está formada por complejos de polímeros de hidratos de carbono con otros componentes. Existen diversas propuestas para clasificar la fracción fibra de los ingredientes pero en base a su repercusión nutricional el criterio más utilizado es el de la solubilidad en agua. La fibra soluble se corresponde con polisacáridos extraíbles con agua y que precipitan en soluciones de alcohol o acetona e incluye entre otros los betaglucanos de cebada y avena, los arabinosilanos de trigo y centeno, las pectinas de frutas y pulpa de remolacha y los galactomannanos de las leguminosas. La fibra insoluble está formada principalmente por material de la pared celular e incluye la celulosa y la hemicelulosa y ciertas cantidades de sustancias pécticas, proteína ligada a la fibra y lignina. Ejemplos de fuentes de fibra insoluble son las pajas de cereales y las cascarillas de leguminosas.

**Cuadro 1.- Clasificación de los hidratos de carbono (fibra dietética)**  
(Bach Knudsen, 1997)

<b>Categoría</b>	<b>Residuo monomérico</b>	<b>Fuente</b>
<b>Polisacáridos no amiláceos (PNA)</b>		
PNA de la pared celular		
Celulosa	Glucosa	Vegetales
$\beta$ -glucanos	Glucosa	Cebada, avena, centeno
Arabinosilanos	Xylosa, arabinosa	Centeno, trigo, cebada
Arabinogalactanos	Galactosa, arabinosa	Subproductos de cereales
Xiloglucanos	Glucosa, xylosa	Harinas de cereales
Rhamnogalacturanos	Ác. urónico, rhamnosa	Cáscara de guisantes
Galactanos	Galactosa	Hna de soja, pulpa remolacha
<b>PNA de otros constituyentes celulares (no pared)</b>		
Fructanos	Fructosa	Centeno
Mananos	Mannosa	Hna de coco, palmiste
Pectinas	Ác. urónico, rhamnosa	Pulpa de remolacha
Galactomannanos	Galactosa, mannanosa	Hna de guar
Oligosacáridos no digestibles		
$\alpha$ -galacto-oligosacáridos	Galactosa, glucosa, fructosa	Hna de soja y colza, guisantes
Fructo-oligosacáridos	Fructosa	Cereales, aditivos
Transgalacto-oligosacáridos	Galactosa, glucosa	Aditivos, sueros y derivados lácteos
<b>Almidón resistente (RS)</b>		
Almidón físicamente inaccesible	Glucosa	Guisantes, habas
Almidón natural	Glucosa	Patatas
Almidón retrogradado	Glucosa	Productos amiláceos procesados

**Cuadro 2.- Composición de la fracción fibra (%) de diferentes ingredientes (resumen de varias fuentes; NRC, 1994, 1998; FEDNA, 2003)**

<b>Ingrediente</b>	<b>Fibra bruta</b>	<b>FND</b>	<b>FAD</b>	<b>FDT<sup>1</sup></b>	<b>FDS<sup>2</sup></b>	<b>FDI<sup>3</sup></b>
Celulosa	-	-	-	99.1	1.1	98.0
Maíz	2.5	8.0	3.0	6.4	1.7	4.7
Guisante	5.8	12.2	7.5	90.0	82.6	7.4
Hna soja 44% PB	5.6	12.5	7.0	33.1	1.6	31.5
Hna soja 47% PB	4.6	10.0	6.0	27.6	1.4	26.2
Alfalfa	24.7	41.0	30.2	56.7	4.2	52.4
Salvado avena	-	19.2	-	15.8	7.5	8.3
Salvado de maíz	-	-	-	73.2	2.6	70.6
Salvado de arroz	-	-	-	21.4	2.5	18.9
Cascarilla avena	28.3	69.0	36.9	-	-	-
Cascarilla soja	32.7	57.5	43.3	83.9	8.4	75.5
Paja avena	40.5	70.0	47.0	76.6	2.2	74.4
Paja de trigo	41.6	85.0	54.0	71.5	0.5	71.0
Pulpa remolacha	17.8	42.8	22.9	65.6	11.7	53.9
DDGS	9.4	40.8	15.1	42.9	0.7	42.2
Tallos de maíz	34.4	67.0	39.0	77.3	2.9	74.4
Pulpa de patata	-	-	-	33.3	11.0	22.3

<sup>2</sup> FDT = Fibra dietética total; FDS = Fibra dietética soluble; FDI = Fibra dietética insoluble

Las principales propiedades de la fibra dietética (FD) con repercusiones nutricionales son la capacidad de intercambio catiónico y de hidratación, la viscosidad y la habilidad para absorber compuestos orgánicos (Bach Knudsen, 2001). Estas propiedades están asociadas en gran medida con su estructura física, su composición química y sus relaciones intermoleculares (McDougall et al., 1996). Las propiedades de hidratación definen la solubilidad, la capacidad de hinchamiento y la capacidad de retención de agua (CRAg). Estas características están interrelacionadas pero no son necesariamente interdependientes. Por ejemplo, existe una fuerte correlación entre la CRAg y la voluminosidad de la fibra y entre su solubilidad y su viscosidad. Sin embargo, el material fibroso puede hincharse sin llegar a solubilizarse. Dentro de las paredes celulares de la fibra de pajas, cascarillas y pulpas existen espacios vacíos que son responsables de la gran voluminosidad y escasa densidad de los ingredientes fibrosos. En presencia de agua los espacios vacíos son ocupados por el líquido. Polisacáridos tales como la celulosa y los xilanos pueden retener agua en forma similar a una esponja a pesar de que la viscosidad asociada a su inclusión en piensos es relativamente baja. Las propiedades de la fibra se hacen más evidentes cuando permanece durante tiempo prolongado en el TGI.

Probablemente, la solubilidad es la propiedad que mejor explica los efectos nutricionales de los polisacáridos no-amiláceos (PNA) en aves y porcino. El proceso de

solubilización de la fibra se inicia con el hinchamiento de las partículas fibrosas y su dispersión, y depende de la presencia de componentes hidrofílicos en la matriz microfibrilar de celulosa. Las partículas fibrosas se hinchan en proporción variable; así, las pectinas aisladas tienden a hincharse rápidamente pero si forman parte de un complejo con sustancias menos hidrofílicas el efecto es menor. Por contra, los polisacáridos que adoptan formas y estructuras regulares, como las microfibras de la celulosa y los arabinosanos lineales no pueden solubilizarse. La lignina es un componente secundario de la fibra que rara vez excede el 20% de las paredes celulares pero su presencia tiene importantes repercusiones sobre la fisiología digestiva. Debido a su naturaleza insoluble actúa como cementante de la pared celular, aumentando las conexiones entre las microfibras de celulosa y hemicelulosa. En consecuencia, la presencia de lignina estabiliza la estructura macromolecular de la fibra, aumenta su resistencia física a la rotura y reduce su solubilidad.

### **3.- FUNCIONES DE LA FIBRA DIETÉTICA EN FORMULACIÓN PRÁCTICA**

El estudio de las necesidades nutritivas de los monogástricos ha sufrido una importante revolución en los últimos 10 años, motivado en parte por la prohibición de antibióticos preventivos en piensos y por la búsqueda de alternativas a los mismos. Los estudios iniciales establecieron que la fibra representaba la materia indigestible de las plantas y por tanto diluía la dieta (Van Soest, 1985). Más aún, numerosos nutricionistas estimaban que la incidencia de procesos entéricos en animales jóvenes aumentaba con el nivel de fibra en la dieta. Janssen y Carré (1985) en su revisión de trabajos publicados en pollos establecieron que la fibra no contribuía al valor alimenticio del pienso. De hecho, estos autores encontraron una fuerte correlación negativa entre el contenido en fibra y la digestibilidad de la proteína (PB) y de la grasa (EE) llegando a recomendar utilizar la FB para predecir el valor nutritivo de los alimentos. Este tipo de estudios aumentó el interés por reducir el contenido de fibra de las dietas y provocó que en muchas ocasiones no se valorara en su justa medida la contribución real de la fracción fibra en alimentación de monogástricos. En la actualidad, las recomendaciones de fibra en aves y porcino no se ajusta al enfoque nutricional clásico en base a estudios de diferentes grupos de investigadores (Mateos et al., 2002, 2006a; Montagne et al., 2003; Hetland et al., 2003, 2004, 2005; Pluske y Hampson, 2005; González-Alvarado et al., 2006). Por ejemplo, Hetland et al. (2005) observaron que gallinas de puesta consumían cantidades crecientes de materiales fibrosos disponibles (p. ej., cama) cuando el pienso no aportaba una cantidad mínima de este nutriente. En monogástricos, la fibra insoluble es más resistente a la fermentación microbiana y por tanto menos susceptible a la degradación que la fibra soluble. En cualquier caso, los efectos más importantes de la fibra sea ésta soluble o insoluble no están relacionados con su contribución energética sino más bien con sus efectos fisiológicos y moduladores de la flora del TGI.

#### 4.- LA FIBRA DIETÉTICA EN PIENSOS PARA POLLITOS

Las aves son fundamentalmente omnívoras y las características anatómicas del TGI, estrategias nutricionales y sus preferencias alimenticias no permiten clasificarlas como granívoras puras. En condiciones naturales su alimentación se basa en una amplia gama de ingredientes de origen vegetal y animal. De hecho, la ingesta de insectos puede exceder el 50% de su dieta en hembras adultas en la época de reproducción (Klasing, 2005). El TGI de las especies omnívoras es más flexible anatómica y fisiológicamente que el TGI de las especies granívoras lo que les permite adaptarse mejor que los granívoros puros a diversas circunstancias alimenticias.

Los piensos prestarter de pollitos se basan en cereales y leguminosas descascarilladas y se caracterizan por su alto contenido en energía y proteína con menosprecio de los alimentos fibrosos. Los efectos del nivel de fibra sobre el consumo voluntario y la utilización de los nutrientes es un tema de debate entre investigadores (Hedemann et al., 2006; Moran, 2006). Es práctica común reducir el nivel de fibra de los piensos de primera edad por sus efectos negativos sobre la digestibilidad de los nutrientes y la productividad. Sin embargo, investigaciones recientes (Montagne et al., 2003; Jiménez-Moreno et al., 2004, 2005, 2006a, b y c; González Alvarado et al., 2004, 2005, 2006a, b, c y d) indican que la inclusión de cantidades y tipos de fibra adecuados favorecen la adaptación del TGI a las condiciones que imperan en los sistemas productivos intensivos y reducen los trastornos digestivos en un escenario de alimentación sin antibióticos.

En nuestro laboratorio hemos realizado un total de diez ensayos encaminados a estudiar la influencia del tipo y nivel de inclusión de fibra en piensos para pollitos sobre el desarrollo anatómico (tamaño y longitud de órganos) y fisiológico (pH y desarrollo de la mucosa digestiva) del TGI, así como sobre la digestibilidad de los nutrientes (ileal y fecal) y la productividad en pollitos jóvenes. En todos estos ensayos el pienso control estuvo formulado en base a materias primas muy bajas en fibra (arroz o maíz, harina de pescado, concentrados de soja y aceites) de forma que el contenido en FB de estos piensos era inferior a 1,5% (dietas con arroz) ó a 2,5% (dietas con maíz). Las fuentes fibrosas testadas en estos ensayos fueron las cascarillas de avena, arroz, girasol o soja, la pulpa de remolacha y la celulosa pura y los niveles de inclusión variaron entre el 2,5 y el 5%. Los resultados de estos ensayos son discutidos a continuación. En uno de estos ensayos (González Alvarado et al., 2006b) observamos que el peso del TGI disminuía en términos relativos con la edad y que al incluir 3% de fibra en el pienso de pollitos el tamaño del TGI aumentó (cuadro 3) lo que coincide con resultados de otros autores (Jørgensen et al., 1996; Hetland and Svihus, 2001). En un segundo ensayo (González Alvarado et al., 2005) se estudió la influencia del tipo de grasa añadida al pienso de iniciación y de la inclusión de dos tipos diferentes de fibra al 3% (cascarilla de avena, CA o pulpa de remolacha, PR) sobre el peso relativo de los órganos digestivos. Se observó que la inclusión de fibra

aumentaba el peso del TGI así como del proventrículo y de la molleja y que el efecto de la fibra dependía tanto de la fibra estudiada como del tramo del digestivo u órgano considerado (cuadro 4). Estos resultados han sido confirmados por Jiménez Moreno et al. (2006b) que observaron efectos diferentes de la fibra sobre el tamaño del TGI en función del tipo de fibra considerado (cuadro 5).

**Cuadro 3.- Influencia de la inclusión de fibra sobre el peso relativo del tracto gastrointestinal<sup>1</sup> (% PV) en pollitos (González-Alvarado et al., 2006b)**

Tratamiento	Edad			Media
	4 d	9 d	21 d	
Edad	19,87	15,79	10,99	
<i>EEM</i> ( $n = 20$ )		0,183		
Fuente de fibra				
Control sin fibra	19,61	15,22	10,88	15,23 <sup>bc</sup>
Cascarilla de avena (0,5 mm)	19,63	16,10	11,68	15,81 <sup>ab</sup>
Pulpa de remolacha (0,5 mm)	20,91	16,44	11,00	16,19 <sup>a</sup>
Celulosa microcristalina	19,32	15,21	10,41	14,98 <sup>c</sup>
<i>EEM</i> ( $n_d = 10$ ) <sup>1</sup> ( $n_{promedio} = 30$ ) <sup>2</sup>		0,366 <sup>1</sup>		0,211 <sup>2</sup>
<i>Efectos</i>				<i>Probabilidad</i>
<i>Edad</i>				<i>L, Q</i>
<i>Fibra</i>				<i>***</i>
<i>Edad × fibra</i>				<i>NS</i>

<sup>1</sup> Desde el proventrículo hasta el recto, ambos incluidos. <sup>2</sup> Número de observaciones por media dentro de cada edad. <sup>3</sup> Número de observaciones para el promedio de las distintas edades en cada nivel de fibra.

<sup>a, b, c</sup> Medias con letras subíndices distintas son diferentes ( $P \leq 0.05$ ).

NS = No significativo; \*  $P \leq 0,05$ ; \*\*  $P \leq 0,01$ ; \*\*\*  $P \leq 0,001$ ; L = efecto lineal; Q = efecto cuadrático.

Todos estos ensayos concuerdan con resultados de otros autores (Low, 1985; Mosenthin et al., 1999; Moran, 2006). Durante su tránsito por el TGI la fibra se hincha en grado variable incrementando la voluminosidad y el peso del quimo. Por tanto, cabe esperar un mayor tamaño del TGI en aves que consuman fibra así como que el efecto varíe en función de las características de esta fibra ya que el principal efecto de la fibra puede estar relacionado con fenómenos de mera distensión física. Así, la molienda incrementa la densidad de la fibra y reduce la CRAg de la digesta por lo que va a afectar al tamaño de los órganos digestivos (cuadros 6 y 7). Trabajos realizados en nuestro laboratorio muestran que la inclusión de CA o PR en piensos para pollitos de 1 a 21 días incrementó el peso del TGI y que los efectos fueron superiores con la PR que con la CA (cuadros 3 y 6). El alimento humedecido en buche llega al proventrículo sin haber sufrido cambios significativos por lo que la capacidad de hinchamiento de su fibra repercute de forma más intensa en este órgano que en otros. Así, la inclusión de 3% de PR en piensos para pollitos bajos en fibra (1,5% FB) aumentó más el tamaño del proventrículo que la inclusión de CA

(cuadros 4 y 6). Estos datos sugieren que la pérdida de la CRAg al moler fue superior con la PR y que el efecto distensor de la CA sobre los órganos digestivos no estuvo relacionado con esta propiedad fisico-química de la fibra insoluble (González-Alvarado et al., 2005 y 2006b).

**Cuadro 4.- Influencia del tipo de grasa e inclusión de fibra sobre el peso relativo (% PV) de los órganos digestivos de broilers de 15 d de edad (González Alvarado et al., 2005).**

Tratamiento	Peso relativo			
	Tracto digestivo <sup>1</sup>	Proven-trículo	Molleja	Ciegos
Grasa				
Aceite vegetal	12,94	0,60	1,87	0,44
Grasa animal	12,88	0,55	1,84	0,46
EEM (n = 18)	0,179	0,010	0,030	0,010
Tipo de fibra				
Control sin fibra	11,94	0,55	1,40	0,44
Cascarilla de avena (CA)	12,94	0,56	2,25	0,41
Pulpa de remolacha (PR)	13,85	0,61	1,92	0,49
EEM (n = 12)	0,220	0,013	0,037	0,013
<i>Efectos</i>	<i>Probabilidad</i>			
Grasa	NS	NS	NS	NS
Fibra	***	***	***	***
Control vs. fibra	***	NS	***	NS
CA vs. PR	**	***	***	***

<sup>1</sup> Desde el proventrículo hasta el recto, ambos incluidos.

NS = No significativo; \*\* P ≤ 0,01; \*\*\* P ≤ 0,001.

**Cuadro 5.- Influencia de la inclusión de fibra sobre el peso relativo (% PV) de órganos digestivos de broilers de 21 d de edad (Jiménez Moreno et al., 2006b).**

Fuente de fibra	Proventrículo	Molleja	Ciegos
Control sin fibra	0.73 <sup>a</sup>	2.39 <sup>c</sup>	0.49
Cascarilla de avena	0.73 <sup>a</sup>	2.74 <sup>a</sup>	0.49
Pulpa de remolacha	0.75 <sup>a</sup>	2.57 <sup>b</sup>	0.52
Celulosa microcristalina	0.68 <sup>b</sup>	2.32 <sup>c</sup>	0.53
EEM (n = 15)	0.014	0.045	0.015

<sup>1</sup>Media de 4, 9 y 21 días de edad.

<sup>a, b, c</sup> Medias con letras subíndices distintas son diferentes (P ≤ 0,05).

**Cuadro 6.- Influencia de la fuente y el tamaño de partícula de la fibra sobre el peso relativo del tracto gastrointestinal<sup>1</sup> (% PV) de pollitos de engorde (González-Alvarado et al., 2006b).**

Tratamiento	Edad			Media
	4 d	9 d	21 d	
Edad <i>EEM</i> ( $n = 20$ )	20,61	16,74	11,39	
		0,181		
Fuente de fibra				
Cascarilla de avena (CA)	19,70	16,71	11,28	15,90
Pulpa de remolacha (PR)	21,52	16,77	11,51	16,60
Tamaño de partícula				
Grosera (2 mm)	20,94	17,11	11,45	16,50
Fina (0.5 mm)	20,27	16,37	11,34	15,99
<i>EEM</i> ( $n_d = 10$ ) <sup>2</sup> ( $n_{promedio} = 30$ ) <sup>3</sup>		0,256		0,148
Fibra × tamaño				
CA grosera	19,77	17,32	10,88	15,99
CA fina	19,63	16,11	11,68	15,80
PR grosera	22,12	16,90	12,02	17,01
PR fina	20,91	16,64	11,00	16,18
<i>EEM</i> ( $n_d = 5$ ) ( $n_{promedio} = 15$ )		0,362		0,209
<i>Efectos</i>	<i>Probabilidad</i>			
Fibra	**			
Tamaño partícula	*			
Fibra × tamaño partícula	NS			
Edad	L, Q			
Fibra × edad	L, Q			

<sup>1</sup> De proventrículo al recto, ambos incluidos. <sup>2</sup> Número de observaciones por media dentro de cada edad. <sup>3</sup> Número de observaciones para el promedio de las distintas edades en cada nivel de un efecto principal o interacción. NS = No significativo; \*  $P \leq 0,05$ ; \*\*  $P \leq 0,01$ ; \*\*\*  $P \leq 0,001$ ; L = efecto lineal; Q = efecto cuadrático.

**Cuadro 7.- Influencia de la fuente y el tamaño de partícula de la fibra sobre el peso relativo (% PV) de los órganos digestivos en pollitos<sup>1</sup> (González-Alvarado et al., 2006b).**

Tratamiento	Proventrículo	Molleja	Ciegos
Fuente de fibra			
Cascarilla de avena	0,73	3,15	0,48
Pulpa de remolacha	0,77	2,65	0,51
Tamaño de partícula			
Grosera (2 mm)	0,76	3,02	0,48
Fina (0.5 mm)	0,74	2,78	0,51
<i>EEM</i> ( $n = 30$ )	0,009	0,045	0,010
<i>Efectos</i>	<i>Probabilidad</i>		
Fuente de fibra	**	***	†
Tamaño de partícula	NS	***	†
Fibra × tamaño	NS	NS	NS

<sup>1</sup>Media de 4, 9 y 21 d. NS = No significativo; †  $P \leq 0,10$ ; \*\*  $P \leq 0,01$ ; \*\*\*  $P \leq 0,001$ .

En un experimento reciente (González-Alvarado et al., 2006c) se incluyó un 3% de CA o de cascarilla de soja (CS) en dietas basadas en arroz bajas en fibra (1,5% FB) o en maíz (2,5% FB). Ambas cascarillas aumentaron el peso del TGI pero el efecto fue más marcado con la CA (cuadro 8). En este ensayo el efecto de la CA sobre el proventrículo fue más marcado con la dieta de arroz que con la de maíz. Ambas cascarillas son fuentes ricas en fibra insoluble (Bach Knudsen, 2001) aunque la CA está más lignificada que la CS. De hecho, la CS no está lignificada pero debido a su alto contenido en cutina su inclusión en el pienso aumenta la CRAg y la capacidad de hinchamiento. Por tanto, es probable que la distensión y aumento de tamaño del proventrículo observado en este ensayo se debieran a la mayor capacidad de hinchamiento de la CS.

**Cuadro 8.- Influencia del tipo de cereal y de la inclusión de fibra sobre el peso relativo (% PV) de órganos digestivos y la longitud relativa (cm/ kg PV vacío) del intestino delgado en broilers de 21 d de edad (González-Alvarado et al., 2006c).**

Tratamiento	Peso				Longitud I. delgado	
	Tracto digestivo <sup>1</sup>	Proventrículo	Molleja	Ciegos		
Cereal						
Maíz	10,93	0,56	2,20	1,05	173,0	
Arroz	10,18	0,53	1,85	0,93	172,4	
<i>EEM (n = 72)</i>	<i>0,117</i>	<i>0,008</i>	<i>0,033</i>	<i>0,034</i>	<i>2,11</i>	
Fibra						
Control	10,23	0,53	1,79	0,92	177,1	
Cascarilla de avena (CA)	10,76	0,52	2,41	1,04	167,4	
Cascarilla de soja (CS)	10,67	0,58	1,87	1,02	173,6	
<i>EEM (n = 48)</i>	<i>0,143</i>	<i>0,009</i>	<i>0,040</i>	<i>0,043</i>	<i>2,59</i>	
Cereal × Fibra						
Maíz	10,43	0,55	2,03	0,98	173,2	
Maíz + CA	11,13	0,56	2,46	1,11	170,4	
Maíz + CS	11,22	0,58	2,09	1,07	175,6	
Arroz	10,04	0,51	1,54	0,85	181,0	
Arroz + CA	10,39	0,49	2,35	0,97	164,5	
Arroz + CS	10,12	0,58	1,64	0,96	171,7	
<i>EEM (n = 24)</i>	<i>0,202</i>	<i>0,014</i>	<i>0,057</i>	<i>0,059</i>	<i>3,66</i>	
<i>Efectos</i>			<i>Probabilidad</i>			
<i>Cereal</i>	***	**	*	*	NS	
<i>Fibra</i>	*	***	***	*	*	
<i>Control vs. cascarillas</i>	**	NS	***	*	*	
<i>CA vs. CS</i>	NS	***	***	NS	NS	
<i>Cereal × Fibra</i>	NS	*	**	NS	*	
<i>Control vs. cascarillas</i>	NS	NS	*	NS	*	
<i>CA vs. CS</i>	NS	*	**	NS	NS	

<sup>1</sup>De proventrículo a recto, ambos incluidos.

NS = No significativo; \* P ≤ 0,05; \*\* P ≤ 0,01; \*\*\* P ≤ 0,001.

En estos estudios también determinamos el efecto de la inclusión de 3% de una fuente de fibra sobre el desarrollo funcional de la molleja. En un primer ensayo (González Alvarado et al., 2006c) se observó que el tamaño de la molleja dependía claramente del nivel de fibra del pienso así como del tipo de fibra utilizado (cuadro 8). Así, el tamaño de la molienda fue superior en piensos basados en arroz que en piensos basados en maíz y superior al incluir CA que al incluir CS. En un ensayo posterior estos mismos autores (González Alvarado et al., 2006b) observaron que el tamaño de la molleja fue superior con CA que con PR y que la molienda grosera de las fibras utilizadas mejoraba el tamaño de este órgano (cuadros 7 y 8). Una observación que llama la atención es que el efecto de la inclusión de fibra sobre el tamaño de la molleja dependió del cereal utilizado cuando se incluyó CS y del tamaño de partícula cuando se incluyó PR (cuadro 8). La inclusión de fibra aumentó el contenido fresco y el tamaño de la molleja y redujo el pH de la digesta (cuadros 9, 10 y 11). Así mismo se observó que la molienda grosera de la fuente de fibra (CA o PR) aumentaba el contenido de la molleja pero reducía su pH (cuadro 12). La molleja es el estómago mecánico de las aves pero además actúa como filtro reteniendo o permitiendo el paso de partículas al duodeno en función de sus características. Las partículas groseras son retenidas hasta que alcanzan un tamaño crítico probablemente determinado por el diámetro del píloro. Sin embargo, los líquidos y el material soluble no se retienen y pasan libremente al duodeno aunque pueden regresar posteriormente a la molleja vía reflujo gastroduodenal. Las partículas fibrosas, en particular las insolubles como CA o CS, son resistentes a la molturación por lo que permanecen en molleja más tiempo que el resto de partículas alimenticias. Por tanto, la velocidad de tránsito global de las distintas fases de la digesta no es constante; probablemente sea más lento para las partículas fibrosas y más rápido para la fase soluble.

**Cuadro 9.- Influencia de la inclusión de fibra sobre el pH del contenido de proventrículo y las características de la digesta de la molleja de pollos de engorde<sup>1</sup>**  
(González-Alvarado et al., 2006b)

Fuente de fibra	Proventrículo	Molleja		
	pH	pH	Contenido <sup>2</sup>	Materia seca <sup>3</sup>
Control sin fibra	4,24 <sup>a</sup>	3,65 <sup>a</sup>	27,9 <sup>c</sup>	46,7 <sup>a</sup>
Cascarilla de avena fina	4,18 <sup>a</sup>	2,90 <sup>c</sup>	36,9 <sup>a</sup>	43,3 <sup>b</sup>
Pulpa de remolacha fina	3,76 <sup>b</sup>	3,09 <sup>c</sup>	33,6 <sup>ab</sup>	34,8 <sup>c</sup>
Celulosa microcristalina	4,04 <sup>a</sup>	3,38 <sup>b</sup>	31,0 <sup>bc</sup>	43,7 <sup>b</sup>
EEM (n = 15)	0,091	0,083	1,33	0,95

<sup>1</sup>Media 4, 9 y 21 días de edad.

<sup>2</sup> Porcentaje del peso de la molleja llena.

<sup>3</sup> Porcentaje respecto al peso del contenido en fresco.

<sup>a, b, c</sup> Medias con letras subíndices distintas son diferentes ( $P \leq 0,05$ ).

**Cuadro 10.- Influencia del tipo de cereal e inclusión de fibra en las características de la digesta de la molleja y viscosidad intestinal en broilers de 21 d de edad (González-Alvarado et al., 2006c).**

Tratamiento	Digesta de la molleja			Viscosidad del yeyuno, cP	
	pH <sup>1</sup>	Contenido <sup>2</sup>	Humedad <sup>3</sup>		
Cereal					
Maíz	2,93	32,0	66,8	3,44	
Arroz	3,12	21,2	64,2	3,56	
Fibra					
Control sin fibra	3,18	21,2	64,8	3,38	
Cascarilla de avena (CA)	2,96	30,7	62,8	3,36	
Cascarilla de soja (CS)	2,92	27,9	68,9	3,76	
Cereal × Fibra					
Maíz	2,96	32,6	67,6	3,40	
Maíz + CA	2,98	31,4	64,8	3,25	
Maíz + CS	2,84	32,0	67,9	3,68	
Arroz	3,40	9,8	62,0	3,37	
Arroz + CA	2,94	29,9	60,8	3,47	
Arroz + CS	3,00	23,9	69,8	3,84	
<i>Desv. Std. Res.</i>	<i>0,273</i>	<i>8,70</i>	<i>4,67</i>	<i>0,577</i>	
<i>Efectos</i>	<i>gl</i>	<i>Probabilidad</i>			
<i>Cereal</i>	<i>1</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>*</i>	<i>NS</i>
<i>Fibra</i>	<i>2</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>*</i>
<i>Control vs. Cascarillas</i>	<i>1</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
<i>CA vs. CS</i>	<i>1</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>*</i>	<i>*</i>
<i>Cereal × Fibra</i>	<i>2</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>*</i>	<i>NS</i>
<i>Control vs. Cascarillas</i>	<i>1</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>*</i>	<i>NS</i>
<i>CA vs. CS</i>	<i>1</i>	<i>NS</i>	<i>*</i>	<i>*</i>	<i>NS</i>

<sup>1</sup> Datos promedio de dos edades, 14 y 21 días de edad. <sup>2</sup> Porcentaje del peso de la molleja llena. <sup>3</sup> Porcentaje respecto al peso del contenido en fresco. NS = No significativo; \* P ≤ 0,05; \*\* P ≤ 0,01; \*\*\* P ≤ 0,001.

**Cuadro 11.- Influencia de la inclusión de fibra sobre el pH del contenido de proventrículo y características de la digesta de la molleja de pollos de engorde<sup>1</sup> (González Alvarado et al., 2005).**

Tipo de fibra	pH proventrículo	Molleja	
		pH	Contenido <sup>2</sup>
Control sin fibra	5,24 <sup>ab</sup>	4,18 <sup>a</sup>	26,6 <sup>c</sup>
Cascarilla de avena (CA)	5,33 <sup>a</sup>	3,37 <sup>b</sup>	35,9 <sup>a</sup>
Pulpa de remolacha (PR)	5,08 <sup>b</sup>	3,26 <sup>b</sup>	43,8 <sup>b</sup>
<i>EEM (n = 12)</i>	<i>0,063</i>	<i>0,046</i>	<i>0,64</i>
<i>Contrastes</i>	<i>Probabilidad</i>		
<i>Control vs. fibra</i>	<i>NS</i>	<i>***</i>	<i>***</i>
<i>CA vs. PR</i>	<i>**</i>	<i>NS</i>	<i>***</i>

<sup>1</sup> Promedio de datos a 5, y 15 días de edad. <sup>2</sup> Porcentaje del peso de la molleja llena. <sup>a, b, c</sup> Medias con letras subíndices distintas son diferentes (P ≤ 0,05). NS = No significativo; \*\* P ≤ 0,01; \*\*\* P ≤ 0,001.

La presencia de ciertos tipos de fibra y el tamaño de partícula (cuadro 12) estimula la secreción de ácido clorhídrico en el proventrículo como indica la reducción del pH (cuadros 9 y 11) y la mejora de la solubilidad de los minerales (cuadro 13) observada por González-Alvarado et al. (2005 y 2006c). En este último trabajo la solubilidad de las cenizas aumentó desde 29,1% hasta 33,9% y 37,4% al incluir en el pienso 3% de CS o CA, respectivamente. Esta observación de un menor pH como consecuencia de la inclusión de fibra en el pienso es de particular interés en pollitos ya que pH reducidos en el TGI proximal ayuda a mejorar la digestibilidad de minerales y proteína y a controlar problemas relacionados con la carga microbiana presente en los piensos.

**Cuadro 12.- Influencia de la fuente y el tamaño de partícula de la fibra sobre el pH del contenido de proventrículo y características de la digesta de la molleja de pollos de engorde<sup>1</sup> (González-Alvarado et al., 2006b)**

Tratamiento	pH proventrículo	Molleja		
		pH	Contenido <sup>2</sup>	Materia seca <sup>3</sup>
Fuente de fibra				
Cascarilla de avena (CA)	4,22	2,90	35,5	43,0
Pulpa de remolacha (PR)	3,98	2,93	37,9	29,7
Tamaño de partícula				
Grosera (2 mm)	4,23	2,83	38,1	33,7
Fina (0,5 mm)	3,97	3,00	35,3	39,1
<i>EEM (n = 30)</i>	<i>0,091</i>	<i>0,055</i>	<i>0,83</i>	<i>0,52</i>
Fibra x tamaño				
CA grosera (2 mm)	4,27	2,89	34,0	42,8
CA fina (0,5 mm)	4,18	2,90	36,9	43,3
PR grosera (2 mm)	4,20	2,76	42,2	24,5
PR fina (0,5 mm)	3,76	3,09	33,6	34,8
<i>EEM (n = 15)</i>				
<i>Efectos</i>		<i>Probabilidad</i>		
Fuente de fibra	**	NS	*	***
Tamaño de partícula	**	*	*	***
Fibra × tamaño	*	*	***	***

<sup>1</sup> Promedio de 4, 9 y 21 días de edad. <sup>2</sup> Porcentaje del peso de la molleja llena. <sup>3</sup> Porcentaje respecto al peso del contenido en fresco. NS = No significativo; \* P ≤ 0,05; \*\* P ≤ 0,01; \*\*\* P ≤ 0,001.

González-Alvarado et al. (2006c) observan que la inclusión de CA y de CS redujo la longitud del intestino delgado en las aves alimentadas con arroz pero no en las aves alimentadas con maíz y que el efecto fue más pronunciado con CA que con CS (cuadro 8). En un segundo estudio, Jiménez-Moreno et al. (2006c) utilizando las mismas dietas observaron que la inclusión de CA redujo el peso del íleon independientemente del cereal utilizado (cuadro 14). Las razones de este fenómeno son desconocidas pero una reducción

de la longitud o peso del intestino delgado ha sido observado en pollos alimentados con dietas que incluían antibióticos (Miles et al., 2006) o suplementadas con enzimas (Lázaro et al., 2004). Rogel et al. (1987a) observaron que la inclusión de 10% de CA disminuyó el peso y la longitud del intestino delgado, efectos similares a los encontrados por Jørgensen et al. (1996) al incluir salvado de avena en piensos para pollos. En nuestros estudios la reducción de la longitud del intestino delgado de pollos alimentados con CA estuvo asociada con un mayor desarrollo de la molleja y mayor acumulación y acidificación de su contenido. Mateos et al. (2006a) observaron que la inclusión de CA en dietas bajas en fibra tendió a reducir la incidencia de diarreas en lechones. Estos datos sugieren que la fibra dietética puede proteger al TGI de pollos y lechones contra las infecciones entéricas (Montagne et al., 2003; Hedemann et al., 2006). De hecho, un estudio reciente (Pluske et al., 2005; Huang et al., 2006) indica que la reducción del pH de la digesta de la molleja asociada a la forma de presentación del pienso redujo la problemática debida a *Salmonella typhimurium* en pollos. Por tanto la inclusión de fibra en el pienso y sus efectos sobre la molleja podría tener un papel crítico en relación con la *Salmonella* en pollos.

**Cuadro 13.- Influencia del tipo de cereal e inclusión de fibra en la dieta sobre la retención fecal aparente de nutrientes en broilers de 18 d de edad (González-Alvarado et al., 2006c).**

Tratamiento		Materia seca	Materia orgánica	Cenizas solubles	Nitrógeno	Extracto etéreo	EMA <sub>n</sub>
Cereal							
Maíz		71,6	76,2	31,0	67,5	84,5	2.941
Arroz		77,6	81,9	35,9	70,0	87,8	3.104
Fibra							
Control sin fibra		73,5	79,5	29,1	68,1	84,4	2.974
Cascaquilla de avena (CA)		76,2	79,8	37,4	71,6	87,9	3.088
Cascaquilla de soja (CS)		74,1	77,8	33,9	66,6	86,1	3.044
EEM (n = 12)		0,22	0,25	0,96	0,91	0,31	7
Cereal × Fibra							
Maíz		71,9	78,0	28,3	69,6	83,1	2.918
Maíz + CA		72,1	75,9	34,1	67,7	85,6	2.972
Maíz + CS		70,9	74,8	30,7	65,1	84,8	2.932
Arroz		75,2	81,1	29,9	66,1	85,7	3.029
Arroz + CA		80,3	83,8	40,7	75,4	90,3	3.204
Arroz + CS		77,3	80,8	37,1	68,1	87,3	3.077
EEM (n = 6)		0,31	0,35	1,36	1,28	0,43	10
Efectos	gl	Probabilidad					
Cereal	1	***	***	***	*	***	***
Fibra	2	***	***	***	**	***	***
Control vs. Casc.	1	***	*	***	NS	***	***
CA vs. CS	1	***	***	*	***	***	***
Cereal × Fibra	2	***	***	*	**	*	***
Control vs. Casc.	1	***	**	*	**	NS	***
CA vs. CS	1	**	***	NS	NS	*	***

**Cuadro 14.- Influencia de la inclusión de fibra en el peso relativo (% PV) de íleon en broilers (Jiménez-Moreno et al., 2006c)**

Tratamiento	Edad				Promedio
	4 d	8 d	14 d	21 d	
Edad	1,44	1,34	1,09	0,84	
<i>EEM</i> ( $n_d = 36$ ) <sup>1</sup>	0,0481	0,0311	0,027	0,022	
Fuente de fibra					
Control sin fibra	1,49	1,37	1,11	0,85	1,21
Cascarilla de avena (CA)	1,33	1,30	1,03	0,78	1,11
Cascarilla de soja (CS)	1,49	1,34	1,14	0,89	1,21
<i>EEM</i> ( $n_d = 12$ ) ( $n_{promedio} = 48$ ) <sup>2</sup>	0,083	0,054	0,047	0,039	0,034 <sup>2</sup>
<i>Efectos</i>	<i>Probabilidad</i>				
<i>Edad</i>	<i>L</i>				
<i>Fibra</i>	<i>*</i>				
<i>Control vs cascarillas</i>	<i>NS</i>				
<i>CA vs. CS</i>	<i>*</i>				
<i>Edad × Fibra</i>	<i>NS</i>				

<sup>1</sup> Número de observaciones por media dentro de cada edad. <sup>2</sup> Número de observaciones para el promedio de las distintas edades en cada nivel de fibra. NS = No significativo; \*  $P \leq 0,05$ ; \*\*  $P \leq 0,01$ ; \*\*\*  $P \leq 0,001$ ; L = efecto lineal.

Montagne et al. (2003) indican que la velocidad de tránsito puede alterar la composición de la microflora de la digesta; velocidades rápidas reducen la colonización y proliferación de las bacterias patógenas mientras que velocidades lentas tienen el efecto opuesto. Nuestros ensayos, así como los de otros investigadores (Hetland et al., 2003; 2004) indican que la digesta de las aves que consumen CA u otras fuentes de fibra insoluble se mueve más lentamente a través de la molleja pero más rápidamente a través del intestino delgado que la digesta en pollos controles. Nuestra hipótesis de trabajo es que la reducción de la longitud del intestino delgado y del peso del íleon en aves que consumen CA mejoran la salud intestinal mediante dos mecanismos: 1) la mayor acidificación de la digesta en la molleja que evita la entrada de microorganismos patógenos al TGI y 2) la aceleración de la velocidad de tránsito que reduce la actividad y la colonización bacteriana del digestivo.

En nuestros ensayos y en contra de la creencia popular, la inclusión de 3% de las distintas fuentes de fibra mejoró la digestibilidad fecal aparente de los nutrientes (cuadros 13, 15, 16, 17 y 18). En general, el efecto beneficioso de la fibra fue superior cuando el pienso control era bajo en fibra (cuadros 13 y 15), 2), la fuente de fibra utilizada fue la CA (cuadros 14, 16 y 18) y 3) el tamaño de partícula de la fibra fue fino (cuadro 17).

**Cuadro 15.- Influencia del tipo de cereal y de la inclusión de fibra en la dieta sobre la EMA<sub>n</sub> (kcal/kg) en broilers (González-Alvarado et al., 2006d).**

Tratamiento	Edad				Media
	4 d	8 d	13 d	21 d	
Edad	3147	3176	3203	3198	
EEM ( $n_d = 72$ ) <sup>1</sup>	4,3	2,9	3,2	3,2	
Cereal					
Maíz	3091	3108	3139	3134	3118
Arroz	3203	3244	3267	3262	3244
EEM ( $n_d = 36$ ) ( $n_{promedio} = 144$ ) <sup>2</sup>	6,1	4,2	4,6	4,5	2,7
Fibra					
Control sin fibra	3075	3110	3144	3123	3113
Cascarilla de avena (CA)	3192	3227	3254	3263	3234
Cascarilla de soja (CS)	3174	3190	3210	3207	3195
EEM ( $n_d = 24$ ) ( $n_{promedio} = 96$ ) <sup>2</sup>	7,5	5,1	5,6	5,5	3,3 <sup>2</sup>
Cereal x Fibra					
Maíz	3010	3049	3084	3076	3055
Maíz + CA	3145	3147	3177	3175	3161
Maíz + CS	3118	3128	3155	3150	3138
Arroz	3141	3171	3205	3171	3172
Arroz + CA	3238	3308	3331	3350	3307
Arroz + CS	3230	3252	3265	3264	3253
EEM ( $n_d = 12$ ) ( $n_{promedio} = 48$ )	10,6	7,2	7,9	7,8	4,6
<i>Efectos y contrastes</i>	<i>Probabilidad</i>				
<i>Cereal</i>	***				
<i>Fibra</i>	***				
<i>Control vs. Cascarillas</i>	***				
<i>CA vs. CS</i>	***				
<i>Edad</i>	<i>L, Q</i>				
<i>Cereal x Fibra</i>	**				
<i>Cereal x (Control vs. Cascarillas)</i>	NS				
<i>Cereal x (CA vs. CS)</i>	**				
<i>Cereal x Edad</i>	NS				
<i>Fibra x Edad</i>	*				
<i>(Control vs. Cascarillas) x Edad</i>	<i>Q</i>				
<i>(CA vs. CS) x Edad</i>	<i>L</i>				
<i>Cereal x Fibra x Edad</i>	**				
<i>Cereal x (Control vs. Cascarillas) x Edad</i>	<i>L</i>				
<i>Cereal x (CA vs. CS) x Edad</i>	<i>L</i>				

<sup>1</sup> Número de observaciones por media dentro de cada edad. <sup>2</sup> Número de observaciones para el promedio de las distintas edades en cada nivel de fibra. NS = No significativo; \* P ≤ 0,05; \*\* P ≤ 0,01; \*\*\* P ≤ 0,001; L = efecto lineal; Q = efecto cuadrático.

**Cuadro 16.- Efecto del tipo de grasa y la inclusión de fibra sobre la retención aparente de la materia seca (MS), materia orgánica (MO), cenizas solubles (CSOL), nitrógeno (N), extracto etéreo (EE) y EMA<sub>n</sub> en pollitos de 5 días de edad (González-Alvarado et al., 2005).**

Tratamientos	Retención fecal aparente (%)					EMA <sub>n</sub>	
	MS	MO	CSOL	N	EE	Kcal/kg	
<b>Grasa</b>							
Aceite vegetal (AV)	78,6	82,9	49,0	68,8	91,4	3203	
Grasa animal (GA)	76,7	81,0	47,7	66,6	85,4	3112	
<i>EEM (n = 18)</i>	<i>0,20</i>	<i>0,19</i>	<i>0,60</i>	<i>0,34</i>	<i>0,32</i>	<i>7</i>	
<b>Fibra</b>							
Control sin fibra	75,8	81,6	36,2	65,5	86,0	3081	
Cascarilla de avena (CA)	79,5	83,1	55,9	70,0	90,3	3228	
Pulpa remolacha (PR)	77,6	81,2	52,9	67,6	88,8	3216	
<i>EEM (n = 12)</i>	<i>0,25</i>	<i>0,23</i>	<i>0,73</i>	<i>0,42</i>	<i>0,40</i>	<i>8</i>	
<b>Grasa x fibra</b>							
AV sin fibra	76,8	82,7	36,9	66,7	89,9	3145	
AV + CA	80,6	84,1	59,0	71,9	93,0	3268	
AV + PR	78,2	81,9	52,0	67,9	91,3	3195	
GA sin fibra	74,8	80,5	36,5	64,3	82,1	3017	
GA + CA	78,4	82,1	52,9	68,2	87,7	3188	
GA + PR	76,9	80,4	53,8	67,4	86,3	3129	
<i>EEM (n = 6)</i>	<i>0,35</i>	<i>0,33</i>	<i>1,03</i>	<i>0,60</i>	<i>0,56</i>	<i>11</i>	
<i>Efectos</i>	<i>g.l.</i>	<i>Probabilidad</i>					
<i>Grasa</i>	<i>1</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>**</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>***</i>
<i>Fibra</i>	<i>2</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>***</i>
<i>Control vs. fibra</i>	<i>1</i>	<i>***</i>	<i>0.066</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>***</i>
<i>CA vs. PR</i>	<i>1</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>†</i>	<i>***</i>	<i>*</i>	<i>NS</i>
<i>Grasa x fibra</i>	<i>2</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>*</i>	<i>*</i>	<i>*</i>	<i>*</i>
<i>Grasa x (Control vs. fibra)</i>	<i>1</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>*</i>	<i>*</i>
<i>Grasa x (CA vs. PR)</i>	<i>1</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>*</i>	<i>*</i>	<i>NS</i>	<i>*</i>

NS = No significativo, \*P < 0,05, \*\* P < 0,01, \*\*\*P < 0,001.

**Cuadro 17.- Influencia de la fuente y el tamaño de partícula de la fibra sobre la retención fecal aparente de nutrientes en broilers<sup>1</sup> (González-Alvarado et al., 2006b).**

Tratamientos	Retención fecal aparente (%)				EMA <sub>n</sub> kcal/kg
	MS	MO	N	EE	
Fuente de fibra					
Cascarilla de avena	77,8	81,6	67,4	83,4	3183
Pulpa de remolacha	75,1	76,2	63,9	81,9	3097
Tamaño de partícula					
Grosera (2 mm)	75,7	79,8	65,0	82,6	3125
Fina (0.5 mm)	77,2	81,0	66,3	82,7	3155
EEM (n = 30)	0,25	0,25	0,41	0,51	9
<i>Efectos</i>	<i>Probabilidad</i>				
<i>Fuente de fibra</i>	***	***	***	†	***
<i>Tamaño de partícula</i>	***	**	*	NS	*
<i>Fibra × tamaño</i>	NS	NS	NS	NS	NS

Promedio de 3 edades, 4, 9 y 17 días.

NS = No significativo; † P ≤ 0,10; \* P ≤ 0,05; \*\* P ≤ 0,01; \*\*\* P ≤ 0,001.

**Cuadro 18.- Influencia de la inclusión de fibra sobre la retención fecal aparente en pollos de engorde a 17 días de edad (González Alvarado et al., 2006b).**

Tratamientos	Retención fecal aparente (%)					EMA <sub>n</sub> kcal/kg
	MS	MO	CSOL	N	EE	
Cascarilla de avena (0,5 mm)	79,9 <sup>a</sup>	83,8 <sup>a</sup>	49,7 <sup>a</sup>	68,5 <sup>a</sup>	85,8 <sup>a</sup>	3246 <sup>a</sup>
Pulpa de remolacha (0,5 mm)	76,5 <sup>b</sup>	80,7 <sup>bc</sup>	41,2 <sup>b</sup>	64,2 <sup>b</sup>	80,2 <sup>b</sup>	3124 <sup>b</sup>
Celulosa microcristalina	75,1 <sup>b</sup>	79,0 <sup>c</sup>	38,6 <sup>b</sup>	63,8 <sup>b</sup>	86,2 <sup>a</sup>	3082 <sup>b</sup>
Control sin fibra	75,5 <sup>b</sup>	81,8 <sup>b</sup>	31,0 <sup>c</sup>	63,3 <sup>b</sup>	79,8 <sup>b</sup>	3082 <sup>b</sup>
EEM (n = 15)	0,59	0,59	1,53	1,12	1,40	21

<sup>a, b, c</sup> Medias con letras subíndices distintas son diferentes (P ≤ 0,05).

Estos datos coinciden con los resultados de diversos investigadores que han observado que la inclusión de CA mejoró la digestibilidad del almidón en dietas basadas en trigo (Hetland et al., 2003, Rogel et al., 1987b) y que la inclusión de hasta 15% de semillas de girasol enteras (con cascarilla incluida) en dietas basadas en trigo no afectaba ni a la digestibilidad ileal de la PB ni a la actividad de la tripsina y de la amilasa de la digesta (Arija et al., 1998). Sin embargo, exceso de FB especialmente si la fibra es soluble reduce la productividad en pollos (Annison y Choct, 1991). Petterson y Razdan (1993) estudiaron la inclusión de 2,3 a 9,2% de PR en dietas para pollos de 7 a 22 d de edad y encontraron que la digestibilidad ileal de la materia orgánica, grasa y proteína disminuyeron al aumentar el nivel de PR en la dieta. En otro estudio con niveles crecientes de FB (3 a 9%) en dietas para pavos Sklan et al. (2003) encontraron que niveles del 9% FB

redujeron la digestibilidad de la PB, el EE y la energía entre 1 y 4 semanas de edad pero no a edades más tardías. Todos estos resultados sugieren que el tipo y la cantidad de fibra del pienso son factores que determinan en gran medida el efecto de este nutriente sobre la digestibilidad de la dieta.

Las aves domésticas no pueden utilizar la celulosa o la lignina por carecer de los enzimas necesarios (Tasaki y Kibe, 1959; Van Soest, 1985) pero pueden degradar en cierto grado la hemicelulosa dependiendo de su lignificación (Aoyagi y Baker, 1995). En cualquier caso la digestibilidad de la fibra es baja pero tiende a aumentar en aves adultas y con fuentes de fibra solubles en agua. De hecho, la fracción polisacáridos no-amiláceos (PNA) solubles en agua es la única fracción que puede ser digerida en cierta medida por gallos adultos (Carré et al., 1990). Sin embargo, trabajos de los años 40's y 50's indicaban que la inclusión de celulosa mejoraba el crecimiento de pollitos alimentados con dietas sintéticas (Davis y Briggs, 1947). Este trabajo quizás pasó desapercibido por contradecir el pensamiento dominante, pero evidencia que la fibra puede tener efectos beneficiosos para las aves independientes de su valor nutricional. Muy probablemente el efecto positivo de la inclusión de fibra en piensos de iniciación se deba a sus efectos sobre la fisiología digestiva y no a su digestibilidad "per se".

En nuestros ensayos, la inclusión de 3 % de las diferentes fuentes de fibra en piensos para pollitos bajos en FB (< 2%) mejoró el IC de 1 a 21 días de edad. La GMD también mejoró en la mayoría de los ensayos sin que se viera afectado el consumo de pienso (cuadros 19, 20, 21 y 22). Sólo en el ensayo que incluía 3% PR se observó una reducción en el consumo en relación con la dieta control o con la dieta que incluía CA (cuadros 21 y 22). El efecto beneficioso de la fibra fue más notable cuando utilizamos CA que cuando utilizamos PR sugiriendo que los beneficios productivos están asociados a la fracción insoluble de la fibra y posiblemente a su estructura física. Esta hipótesis fue corroborada por Jiménez Moreno et al. (2006b) que compararon la inclusión de CA o PR molida finamente y celulosa en polvo sobre los índices productivos en pollitos de 1 a 21 d de edad (cuadro 22). Los pollitos alimentados con CA o celulosa crecieron más y tendieron a consumir más pienso que los alimentados con PR o con la dieta control. Los IC fueron similares para las tres fuentes de fibra, aunque la inclusión de CA mejoró la conversión con respecto a la dieta control.

En diversos ensayos de nuestro grupo la molienda fina de la CA o PR incrementó la utilización de los nutrientes pero no afectó la productividad de los pollitos de 1 a 21 d (cuadros 17 y 22). La inclusión de CA o CS mejoró la productividad de pollitos independientemente del cereal base (maíz o arroz) utilizado en la dieta (González-Alvarado et al., 2004). Otros investigadores también han observado que la inclusión de fibra en dietas para aves puede tener beneficios a nivel productivo o al menos, no ser perjudicial dentro de ciertos límites. Por ejemplo, Hetland y Svihus (2001) observaron que

**Cuadro 19.- Influencia del tipo de grasa e inclusión de fibra sobre la productividad de pollos de engorde de 1 a 21 d de edad (González-Serrano al., 2005).**

Tratamientos	Ganancia media diaria, g	Consumo medio diario, g	Índice de conversión
Grasa			
Aceite vegetal	31,4	42,3	1,35
Grasa animal	32,9	43,7	1,33
<i>EEM (n = 18)</i>	<i>0,39</i>	<i>0,63</i>	<i>0,007</i>
Tipo de fibra			
Control sin fibra	31,2	43,0	1,38
Cascarilla de avena (CA)	32,9	43,2	1,31
Pulpa de remolacha (PR)	32,4	42,9	1,32
<i>EEM (n = 12)</i>	<i>0,48</i>	<i>0,77</i>	<i>0,009</i>
<i>Efectos</i>	<i>Probabilidad</i>		
<i>Grasa</i>	*	NS	NS
<i>Fibra</i>	*	NS	***
<i>Control vs. fibra</i>	*	NS	***
<i>CA vs. PR</i>	NS	NS	NS

**Cuadro 20.- Influencia del tipo de cereal e inclusión de fibra sobre la productividad de pollos de engorde de 1 a 21 d de edad (González-Alvarado et al., 2004).**

Tratamientos	Ganancia media diaria, g	Consumo medio diario	Índice de conversión	
Cereal				
Maíz	32,6	44,4	1,37	
Arroz	33,1	43,6	1,32	
<i>EEM (n = 54)</i>	<i>0,35</i>	<i>0,45</i>	<i>0,007</i>	
Fibra				
Control sin fibra	31,7	43,2	1,37	
Cascarilla de avena (CA)	33,4	44,3	1,33	
Cascarilla de soja (CS)	33,4	44,6	1,34	
<i>EEM (n = 36)</i>	<i>0,42</i>	<i>0,55</i>	<i>0,008</i>	
<i>Efectos</i>	<i>gl</i>	<i>Probabilidad</i>		
<i>Cereal</i>	<i>1</i>	NS	NS	***
<i>Fibra</i>	<i>2</i>	**	NS	**
<i>Control vs. cascarillas</i>	<i>1</i>	**	NS	***
<i>CA vs. CS</i>	<i>1</i>	NS	NS	NS
<i>Cereal × Fibra</i>	<i>1</i>	NS	NS	NS

**Cuadro 21.- Influencia de la inclusión de fibra sobre la productividad de pollos de engorde de 1 a 21 d de edad (Jiménez Moreno et al., 2006b).**

Tratamiento	Ganancia media diaria, g	Consumo medio diario, g	Índice de conversión
Cascarilla de avena fina	32,6 <sup>a</sup>	41,7	1,28 <sup>b</sup>
Pulpa de remolacha fina	30,0 <sup>bc</sup>	39,5	1,32 <sup>ab</sup>
Celulosa microcristalina	31,8 <sup>ab</sup>	42,0	1,33 <sup>ab</sup>
Control sin fibra	29,3 <sup>c</sup>	40,1	1,36 <sup>a</sup>
<i>EEM (n = 5)</i>	<i>0,69</i>	<i>0,96</i>	<i>0,017</i>

<sup>a, b, c</sup> Medias con letras subíndices distintas son diferentes ( $P \leq 0,05$ ).

**Cuadro 22.- Influencia de la fuente de fibra y su tamaño de partícula sobre la productividad de pollos de engorde de 1 a 21 d de edad (Jiménez-Moreno et al., 2006b).**

Tratamiento	Ganancia media diaria, g	Consumo medio diario, g	Índice de conversión
Fuente de fibra			
Cascarilla de avena (CA)	32,4	41,6	1,28
Pulpa de remolacha (PR)	30,3	39,4	1,30
Tamaño de partícula			
Grosera (2 mm)	31,4	40,4	1,29
Fina (0.5 mm)	31,3	40,6	1,30
<i>EEM (n = 10)</i>	<i>0,50</i>	<i>0,58</i>	<i>0,011</i>
<i>Efectos</i>	<i>Probabilidad</i>		
<i>Fuente de fibra</i>	<i>*</i>	<i>**</i>	<i>NS</i>
<i>Tamaño de particular</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>
<i>Fibra × tamaño</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>	<i>NS</i>

NS = No significativo; \*  $P \leq 0,05$ ; \*\*  $P \leq 0,01$ .

la inclusión de 4% de CA en dietas basadas en cebada incrementó el consumo de pienso pero no afectó la ganancia de peso en pollitos de 7 a 21 d de edad. Asimismo Sklan et al. (2003) encontraron que el crecimiento de pavos de 1 a 4 semanas de vida fue similar cuando se alimentaron con una dieta con 6% de FB o una dieta control maíz-trigo-soja. También Arija et al. (1998) encontraron que la inclusión de 1,7 a 5% de cascarilla de girasol en dietas trigo-soja no afectaban el crecimiento de broilers de 7 a 28 d de edad.

Un aspecto en relación con la fracción fibra poco considerado en alimentación práctica es la influencia del procesado térmico sobre su estructura físico-química. La expansión de piensos basados en trigo y cebada aumenta la incidencia de procesos

entéricos en pollitos, efectos que se reducen considerablemente en presencia de enzimas. Posiblemente, el procesado por calor solubiliza parte de los PNA presentes en la dieta lo que provoca un aumento de la viscosidad intestinal y una reducción de la productividad (Nissinen et al., 1993; García et al., 1998). Dado que la inclusión de enzimas reduce la viscosidad es posible que la inclusión de enzimas en dietas cebada-trigo sea más recomendable en piensos expandidos que en piensos en base a cereales sin procesar (Mateos et al., 2002 y 2004; García et al., 1998). En conjunto, nuestros resultados y los de otros investigadores sugieren que la inclusión de cantidades moderadas de ciertos tipos de fibra en dietas de iniciación no es perjudicial para la productividad y de hecho puede mejorar la fisiología digestiva y la utilización de los nutrientes por el pollito en situaciones sanitarias comprometidas.

## 5.- FIBRA DIETÉTICA EN PIENSOS PARA LECHONES

Los hidratos de carbono constituyen entre un 60 y un 75% de la materia seca digestible de piensos para lechones. Dentro de estos carbohidratos distinguimos la fracción digestible, almidón y azúcares sencillos, principalmente y la fracción fibra que sólo puede ser digerida mediante fermentación previa (cuadro 1). La fracción “fibra dietética” o la más tradicional “fibra bruta” tal y como se describe en la literatura tiene escasa significación biológica ya que proporciona poca información sobre las propiedades físico-químicas de este nutriente y de sus efectos sobre la fisiología animal. La mayoría de los estudios sobre la utilización de PNA en piensos para porcino se han dirigido a cerdos cebo o cerdas reproductoras ya que la capacidad del lechón para fermentar este componente de la ración es muy limitada.

El criterio más general es que la fracción fibra soluble puede crear viscosidad en el TGI proximal (estómago e intestino delgado) afectando a la digestibilidad y a la absorción de los nutrientes mientras que la fracción insoluble afecta más al TGI distal con predominio de los efectos relacionados con la voluminosidad (Mosenthin et al., 1999). La inclusión de altas cantidades de fibra aumenta la producción de heces y la excreción de N. En el caso de la fibra insoluble el aumento se debe a una mayor excreción de proteína ligada a la pared celular mientras que en el caso de la fibra soluble se debe a una mayor excreción de N de origen microbiano (Eggum, 1995). La inclusión de cantidades moderadas de PR al pienso mejora la consistencia de las heces y reduce la problemática digestiva. Nuestra experiencia indica que la influencia de la fibra presente en los ingredientes de uso común en alimentación animal sobre la viscosidad intestinal es muy reducida y de escasa importancia práctica, al menos en animales adultos. La fibra soluble contenida en la PR puede fermentar en ciego produciendo AGV que son fuente energética directa y preferente para el colonocito dañado, favoreciéndose así la regeneración de la mucosa digestiva. La inclusión de fibra soluble a estas edades tiene escaso efecto sobre la

digestibilidad de los nutrientes, excepto para la proteína que se ve perjudicada. La fibra insoluble afecta a la motilidad del TGI debido fundamentalmente a sus propiedades físicas ya que la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) a partir de esta fibra es prácticamente nula (Bardon y Fioramanti, 1983). La inclusión de fibra insoluble tipo alfalfa o cascarilla de avena tiende a acelerar la velocidad de tránsito en el ileon distal. Numerosos trabajos (Sambrook, 1981; Zebrowka et al., 1983; Langlois et al., 1987) han mostrado ciertos efectos beneficiosos de la inclusión de salvado de trigo, cáscara de avena y otras fuentes de fibra sobre la producción de jugos y enzimas gástricos, biliares, pancreáticos y secreciones intestinales

Hasta muy recientemente se consideraba que la fracción fibra era un factor negativo en piensos para lechones de primera edad. Los piensos de iniciación existentes en el mercado tienen un bajo contenido en FB y el cambio a otros piensos más rico en fibra resulta a menudo en una reducción del consumo, una menor digestibilidad de los nutrientes y un aumento de la incidencia de procesos diarreicos (Mosenthin et al., 1999). Sin embargo, trabajos recientes indican que no siempre la fibra es la culpable de la mayor incidencia de procesos diarreicos (Gill et al., 2000). De hecho, hoy día es frecuente incluir fibra tanto soluble como insoluble en piensos de lechones para reducir la problemática digestiva en destetes y transiciones. Dentro de los trabajos realizados en lechones hay que distinguir los realizados con fibras solubles (Lizardo et al., 1997; Gill et al., 2000; Schiavon et al., 2004) y los realizados con fibra insoluble (Mateos et al., 2006a y b).

Hedemann et al., (2006) evaluaron los efectos de la fuente de fibra (pectinas y cascarilla de cebada) frente a una dieta control basada en harina de trigo y cebada cruda. El nivel de fibra de las dietas fue de 7,3% en la dieta control y del 10% y 14% al añadir pectinas o cascarilla de cebada (cuadro 23). La inclusión de pectinas redujo el consumo y afectó negativamente a las características de la mucosa (menor longitud de las vellosidades, profundidad de las criptas y menor área de mucina) en intestino delgado indicando una mayor predisposición a la infección por bacterias patógenas. La actividad enzimática aumentó al incluir fibra en la dieta. Los autores concluyen que los lechones alimentados con fibra insoluble están mejor protegidos frente a bacterias patógenas que los lechones alimentados con fibra soluble y que la productividad no se ve afectada por la inclusión de fibra. Trabajos realizados en nuestro departamento apoyan el efecto positivo de la fibra sobre el estatus sanitario de los lechones encontrado por Hedemann et al. (2006). Mateos et al. (2006a) estudiaron el efecto de la inclusión de niveles crecientes de CA (0, 2 y 4%) en dietas basadas en maíz o arroz en sobre la productividad de lechones de 21 a 54 d de edad y la digestibilidad fecal de los nutrientes a 27 y 37 d de edad. En nuestro estudio la inclusión de cascarilla de avena mejoró el consumo y la ganancia de peso en las dietas de arroz (< 2% FB) lo que podría indicar que los lechones tienen unas mínimas necesidades de fibra (cuadro 24). La inclusión de CA no afectó a la digestibilidad de los nutrientes y tendió a reducir el índice de diarreas ( $P < 0,10$ ) (cuadros 25 y 26). En un

segundo experimento Mateos et al. (2006b) incluyeron un 2% de CA a dietas basadas en maíz o arroz. En este trabajo donde los niveles de FB de las dietas basales fueron superiores (2-5%) la inclusión de CA no afectó a la productividad (cuadro 27) ni a la digestibilidad de la mayoría de los nutrientes, excepto la digestibilidad del EE que fue superior con CA (cuadro 28).

**Cuadro 23.- Influencia de la inclusión de fibra sobre la productividad y morfología intestinal de lechones de 27 a 36 d de edad (Hedemann et al.,2006)**

Tipo de fibra	Control	Pectinas		Cascarilla cebada		SEM <sup>1</sup>	F <sup>3</sup>	N <sup>3</sup>
		10,4	14,3	10,4	14,7			
<b>Nivel de fibra dietética</b>	<b>7,3</b>	<b>10,4</b>	<b>14,3</b>	<b>10,4</b>	<b>14,7</b>			
Análisis calculado								
PNA totales	6,5	8,6	12,4	8,4	11,9			
Celulosa	0,8	0,1	0,3	0,8	3,3			
Rendimientos productivos								
Aumento de peso, g/d	186	100	58	166	204	26	**	NS
Consumo pienso, g/d	302	218	180	283	322	25	***	NS
I. conversión	1,72	3,45	12,50	1,79	1,72	0,10	**	NS
Morfología intestinal, µm								
Longitud vellosidades	358	303	357	380	357	30	**	NS
Profundidad criptas	381	333	299	386	299	18	***	†
Relación LV:PC	0,96	0,94	1,19	1,00	1,19	0,10	NS	†
Contenido en mucina <sup>4</sup>								
Neutras								
Vellosidades	0,84	0,76	0,68	0,79	0,87	0,12	†	NS
Criptas	1,27	0,87	0,90	1,06	1,22	0,13	†	NS
Sulfomucinas								
Vellosidades	0,61	0,77	0,92	0,65	0,77	0,13	NS	NS
Criptas	1,62	1,30	1,35	1,37	1,53	0,14	**	NS
Ácidas								
Vellosidades	0,65	0,63	0,77	0,73	0,66	0,11	NS	NS
Criptas	1,86	1,50	1,46	1,50	1,58	0,12	**	*
Actividad enzimática <sup>5</sup>								
Lactasa	19,1	20,3	32,7	19,6	32,7	4,1	NS	*
Maltasa	150	195	210	163	210	26	NS	†
Sucrasa	41,3	46,4	62,9	36,0	62,9	6,9	†	†
AA-peptidasa	152	155	180	133	180	14	NS	*

<sup>1</sup> Pooled SEM. <sup>2</sup> NS = No significativo; † P ≤ 0,10; \* P ≤ 0,05; \*\* P ≤ 0,01; \*\*\* P ≤ 0,001.

<sup>3</sup> F = Efecto de la inclusión de pectinas; N = Efecto del nivel de concentración de fibra dietética

<sup>4</sup> Determinado como área de tinción (µm<sup>2</sup> x 10<sup>-3</sup>). <sup>5</sup> Determinado como µU/mg de proteína

**Cuadro 24.- Influencia de la inclusión de cascarilla de avena (CA) sobre la productividad, en lechones de 21 a 54 d de edad (Mateos et al., 2006a)**

Tratamiento	21 a 41 d			41 a 54 d			21 a 54 d		
	GMD	CMD	IC	GMD	CMD	IC	GMD	CMD	IC
Cereal									
Arroz cocido	320	452	1,41	643	973	1,52	447	659	1.47
Maíz cocido	285	393	1,38	622	987	1,58	418	623	1.49
CA, %									
0	307	425	1,39	635	1019 <sup>a</sup>	1,60	436	654	1.50
2	301	426	1,42	630	955 <sup>b</sup>	1,52	430	636	1.48
4	300	416	1,39	633	967 <sup>b</sup>	1,53	431	633	1.46
SEM (n = 8)	10	13	0,03	20	27	0,03	12	14	0.02
Efectos <sup>1</sup>									
Cereal	*	**	NS	NS	NS	*	**	**	NS
CA	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS
Cereal x CA	*	**	NS	NS	*	NS	*	**	NS

<sup>1</sup> NS = No significativo; † P ≤ 0.10; \* P ≤ 0.05; \*\* P ≤ 0.01; \*\*\* P ≤ 0.001.

**Cuadro 25.- Influencia de la inclusión de cascarilla de avena (CA) sobre la digestibilidad aparente fecal de los nutrientes en lechones a 27 y 37 d de edad (Mateos et al., 2006a)**

Tratamiento	Cereal			CA			P <sup>1</sup>		
	Arroz cocido	Maíz cocido	SEM (n=24)	0%	2%	4%	SEM (n=16)	C	CA
Digestibilidad, %									
MS	83,8	80,6	0,41	81,8	82,3	82,6	0,50	***	***
MO	86,2	82,9	0,41	84,6	84,4	84,6	0,50	***	***
PB	72,9	72,9	0,52	71,3	73,1	73,2	0,64	NS	***
GE	82,7	79,0	0,48	80,6	80,6	81,3	0,59	***	***
EE	60,9	58,8	0,95	59,2	59,2	61,2	1,16	*	***
Almidón	99,2	99,4	0,17	99,2	99,3	99,3	0,21	NS	NS

<sup>1</sup> NS = No significativo; † P ≤ 0,10; \* P ≤ 0,05; \*\* P ≤ 0,01; \*\*\* P ≤ 0,001.

**Cuadro 26.- Influencia de la inclusión de cascarilla de avena (CA) sobre la incidencia de diarreas en lechones de 21 a 41 d de edad (Mateos et al., 2006a)**

Tratamiento	Cereal			Cascarilla avena				<i>P</i> <sup>1</sup>		
	Arroz cocido	Maíz cocido	SEM (n=24)	0%	2%	4%	SEM (n=16)	<i>Ce.</i>	<i>CA</i>	<i>Ce x CA</i>
Edad, d										
21-31	4,0	9,1	0,64	5,4	3,5	2,8	0,79	NS	NS	†
32-41	2,3	5,7	0,63	2,0	2,3	2,0	0,78	NS	NS	NS
21-41	3,2	9,0	0,65	4,1	2,9	2,4	0,55	NS	NS	†

<sup>1</sup> NS = No significativo; †  $P \leq 0.10$ ; \*  $P \leq 0.05$ ; \*\*  $P \leq 0.01$ ; \*\*\*  $P \leq 0.001$ .

**Cuadro 27.- Influencia de la inclusión de cascarilla de avena (CA) sobre la productividad, en lechones de 21 a 49 d de edad (Mateos et al., 2006b).**

Tratamiento	21 a 35 d			35 a 49 d			21 a 49 d		
	GMD	CMD	IC	GMD	CMD	IC	GMD	CMD	IC
Cereal									
Arroz	287	397	1,40	490	763	1,56	388	580	1,49
Maíz	240	332	1,40	424	650	1,54	332	491	1,49
Casc. avena, %									
0	267	373	1,42	467	730	1,57	367	552	1,50
2	260	356	1,39	448	683	1,53	354	507	1,47
SEM (n = 6)	28,7	34,5	0,06	21,2	30,9	0,03	22,8	29,3	0,04
Efectos <sup>1</sup>									
Cereal	*	**	NS	***	***	NS	***	***	NS
CA	NS	NS	NS	NS	*	†	NS	NS	NS

<sup>1</sup> NS = No significativo; †  $P \leq 0.10$ ; \*  $P \leq 0.05$ ; \*\*  $P \leq 0.01$ ; \*\*\*  $P \leq 0.001$ .

**Cuadro 28.- Influencia de la inclusión de cascarilla de avena (CA) sobre la digestibilidad aparente fecal de los nutrientes en lechones a 27 y 37 d de edad (Mateos et al., 2006b).**

Tratamiento	Cereal			CA		<i>P</i> <sup>1</sup>	
	Arroz	Maíz	SEM (n=6)	0%	2%	<i>C</i>	<i>CA</i>
Digestibilidad, %							
MO	88,0	84,0	0,9	87,0	85,0	***	**
PB	77,0	76,0	1,8	76,0	77,0	NS	NS
GE	86,0	81,0	1,1	84,0	83,0	***	†
EE	67,0	63,0	2,5	64,0	65,0	*	*

<sup>1</sup> NS = No significativo; †  $P \leq 0,10$ ; \*  $P \leq 0,05$ ; \*\*  $P \leq 0,01$ ; \*\*\*  $P \leq 0,001$ .

## 6.- CONCLUSIONES

La inclusión de niveles moderados de fibra insoluble en la dieta de pollitos y lechones jóvenes mejora el estatus sanitario y la productividad durante los primeros días de vida. La inclusión de niveles moderados de fibra soluble puede ser recomendable en lechones en transición debido a sus efectos positivos sobre la producción de AGV a nivel de intestino distal y la menor incidencia de procesos digestivos. En pollitos jóvenes la inclusión de fibra soluble afecta negativamente al consumo y reduce la productividad. En ambas especies la inclusión de niveles altos de ambos tipos de fibra perjudica la palatabilidad y el consumo voluntario y reduce la digestibilidad de los nutrientes. Pollitos y lechones tienen unas necesidades mínimas en FND para mejorar el funcionamiento del tracto gastrointestinal, la motilidad y en el caso del pollito el funcionamiento de la molleja y el reflujo de la digesta. Por tanto, es aconsejable asegurar la presencia de niveles moderados de fibra en ambos tipos de piensos.

## 7.- REFERENCIAS

- ARIJA, I., BRENES, A., VIVEROS, A. y ELICES, R. (1998) *Anim. Feed Sci. Technol.* 70: 137-149.
- ANNISON G. y M. CHOCT. (1991) *World's Poult. Sci. J.* 47: 232-242.
- AOYAGI, S., y D.H. BAKER. (1995). *Poult. Sci.* 74: 208-211.
- BACH KNUDSEN, K.E. (1997) *Anim. Feed Sci. Technol.* 67: 319-338.
- BACH KNUDSEN, K.E. (2001) *Anim. Feed Sci. Technol.* 90: 3-20.
- BARDON, T. y FIORAMONTI, J. (1983) *Brit. J. Nutr.* 50: 685-690.
- CARRÉ B., L. DEROUET y B. LECLERCQ. (1990). *Poult. Sci.* 69: 623-633.
- DAVIS, F., y G. M. BRIGGS. (1947). *J. Nutr.* 34: 295-300.
- EGGUM, B.O. (1995) *Arch. Anim. Nutr.* 48: 89-95.
- GARCIA, M., LÁZARO, R., GRACIA, M., REVUELTA, R. y MATEOS, G.G. (1998) *Poult. Sci.* 77 (Suppl. 1): 72.
- GILL, B.P., MELLANGE, J. y ROOKE, J.A. (2000) *Anim. Sci.* 70: 107-118.
- GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., JIMENEZ-MORENO, E., VALENCIA, D.G., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2004) *Poult. Sci.* 83 (Suppl. 1): 436.
- GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., GONZÁLEZ-SERRANO, A., JIMÉNEZ-MORENO, E., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2005) *Poult. Sci.* 84 (Suppl. 1): 69.
- GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., JIMÉNEZ-MORENO, E., GONZÁLEZ-SERRANO, A., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2006a) *Poult. Sci.* 85 (Suppl. 1): 54.
- GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., JIMÉNEZ-MORENO, E., GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, D., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2006b) *Poult. Sci.* 85 (Suppl. 1): 130.
- GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., JIMÉNEZ-MORENO, E., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2006d) *Poult. Sci.* (en prensa).

- GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., JIMÉNEZ-MORENO, E., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2006c) *Poult. Sci.* (en prensa).
- GONZÁLEZ-SERRANO, A., GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2005) *Poult. Sci.* 84:(Suppl.1): 8.
- HEDEMANN, M.S., ESKILDSEN, M., LAERKE, H.N., PEDERSEN, C., LINDBERG, J.E., LAURINEN, P. y BACH KNUDSEN, K.E. (2006) *J. Anim. Sci.* 84: 1375-1386.
- HETLAND, H. y SVIHUS, B. (2001) *Br. Poult. Sci.* 42: 354-361.
- HETLAND, H., SVIHUS, B. y KROGDALHL, Å. (2003) *Br. Poult. Sci.* 44: 275-282.
- HETLAND, H., CHOCT, M. y SVIHUS, B. (2004) *World's Poult. Sci. J.* 60: 415-422.
- HETLAND, H., SVIHUS, B. y CHOCT, M. (2005) *J. Appl. Poult. Res.* 14: 38-46.
- HUANG, D.S., LI, D.F., XING, J.J., MA, Y.X., LI, Z.J. y LV, S.Q. (2006) *Poult. Sci.* 85: 831-836.
- JANSSEN, W.M.M.A. y CARRÉ, B. (1985) En: *Recent Advances in Animal Nutrition*. W. Haresign y D.J.A. Cole (eds.). Butterworths, London, UK. pp. 71-88.
- JIMENEZ-MORENO, E., GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., VALENCIA, D.G., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2004) *Poult. Sci.* 83: 323.
- JIMÉNEZ-MORENO, E., GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., COCA, A., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2006c) *Poult. Sci.* 85 (Suppl. 1): 132.
- JIMÉNEZ-MORENO, E., GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2005) *Poult. Sci.* 84 (Suppl. 1): 69.
- JIMÉNEZ-MORENO, E., GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, D., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2006b) *Poult. Sci.* 85: 64.
- JIMÉNEZ-MORENO, E., GONZÁLEZ-ALVARADO, J.M., COCA, A., LÁZARO, R. y MATEOS, G.G. (2006c) *Poult. Sci.* 85 (Suppl. 1): 132.
- JØRGENSEN, H., ZHAO, X., KNUDSEN, K.E.B. y EGGUM, B.O. (1996) *Br. J. Nutr.* 75: 379-395.
- LANGLOIS, A., CORRING, T. y FEVRIER, C. (1987) *Reprod. Nutr. Develop.* 27: 929-939.
- KLASING K. C. (2005). *J. Appl. Poult. Res.* 14: 426-236.
- LÁZARO, R., LATORRE, M.A., MEDEL, P., GRACIA, M. y MATEOS, G.G. (2004) *Poult. Sci.* 83: 153-160.
- LIZARDO, R., PEINIAU, J. y AUMAITRE, A. (1997) En: *Proc. VIIth Int. Symp. on Digestive Physiology in Pigs*. Laplace, J., Fevrier, C. y Barbeau, A. (eds). pp. 630-633.
- LOW, A.G. (1985) En: *Recent Advances in Animal Nutrition*. W. Haresign y D.J.A. Cole (Eds). Butterworths, London, UK. pp. 87-112.
- MATEOS, G.G., LÁZARO, R. y GRACIA, M. (2002) *J. Apl. Poult. Res.* 11: 437-452.
- MATEOS, G.G., GONZÁLEZ, J.M. y LÁZARO, R. (2004) En: *Proc. Alltech's 20th Annual Symposium*. T.P. Lyons y K.A. Jacques (eds). Nottingham University Press. pp. 69-79.

- MATEOS, G.G., MARTÍN, F., LATORRE, M.A., VICENTE, B. y LÁZARO, R. (2006a) *Anim. Sci.* 82: 57-63.
- MATEOS, G.G., LÓPEZ, E., LATORRE, M.A., VICENTE, B. y LÁZARO, R.P. (2006b) *Anim. Feed Sci. Technol.* (en prensa).
- McDOUGALL G. J., I. M. MORRISON, D. STEWART Y J. R. HILLMAN. (1996). *J. Sci. Food Agric.* 70: 133-150.
- MILES, R.D., BUTCHER, G.D., HENRY, P.R. y LITTELL, R.C. (2006) *Poult. Sci.* 85: 476-485.
- MONTAGNE, L., PLUSKE, J.R. y HAMPSON, D.J. (2003) *Anim. Feed Sci. Technol.* 108: 95-117.
- MORAN, E.T. (2006) *J. Appl. Poult. Res.* 15: 154-160.
- MOSENTHIN, R., HAMBRECHT, E. y SAUER, W.C. (1999) En: *Recent Advances in Animal Nutrition*. Garnsworthy, P.C. y J. Wiseman (Eds.). Nottingham University Press, Nottingham, R.U. pp. 227-256.
- NISSINEN, V.J., PEISKER, M. y LIEBERT, F. (1993) *Kraftfutter* 9: 364-367.
- NRC (1994) *Nutrient requirements of poultry*. National Academy of Science, Washington, DC.
- NRC (1998) *Nutrient requirements of pigs*. National Academy of Science. Washington, DC.
- PETTERSON, D. y RAZDAN, A. (1993) *Br. J. Nutr.* 70: 127-137.
- PLUSKE, J.R. y HAMPSON (2005) *RIRDC Publication No 05/143*. Kingston ACT, Australia.
- ROGEL, A.M., ANNISON, E.F., BRYDEN, W.L. y BALNAVE, D. (1987a) *Austra. J. Agric. Res.* 38: 639-649.
- ROGEL, A.M., BALNAVE, D., BRYDEN, W.L. y ANNISON, E.F. (1987b) *Austra. J. Agric. Res.* 38: 629-637.
- SAMBROOK, I.E. (1981) *J. Sci. Food Agric.* 32: 781-791.
- SCHIAVON, S., TAGLIAPIETRA, F., BARLONI, L. y BORTOLOZZO, A. (2004) *Ital. J. Anim. Sci.* 3: 337-351.
- SKLAN, D., SMIRNOV, A. y PLAVNIK, I. (2003) *Br. Poult. Sci.* 44: 735 –740.
- TASAKI, K. y H. KIBE, H. (1959). *Poult. Sci.* 38: 376-379
- VAN SOEST, P.J. (1985) En: *Recent Advances in Animal Nutrition*. W. Haresign y D.J.A. Cole (eds.). Butterworths, London, UK. pp. 55-70.
- ZEBROWKA, T., LOW, A.G. y ZEBROWSKA, H. (1983) *Brit. J. Nutr.* 49: 401-410.