

## Capítulo 24

# Uso de enzimas en dietas con DDGS para aves y cerdos

---

## Introducción

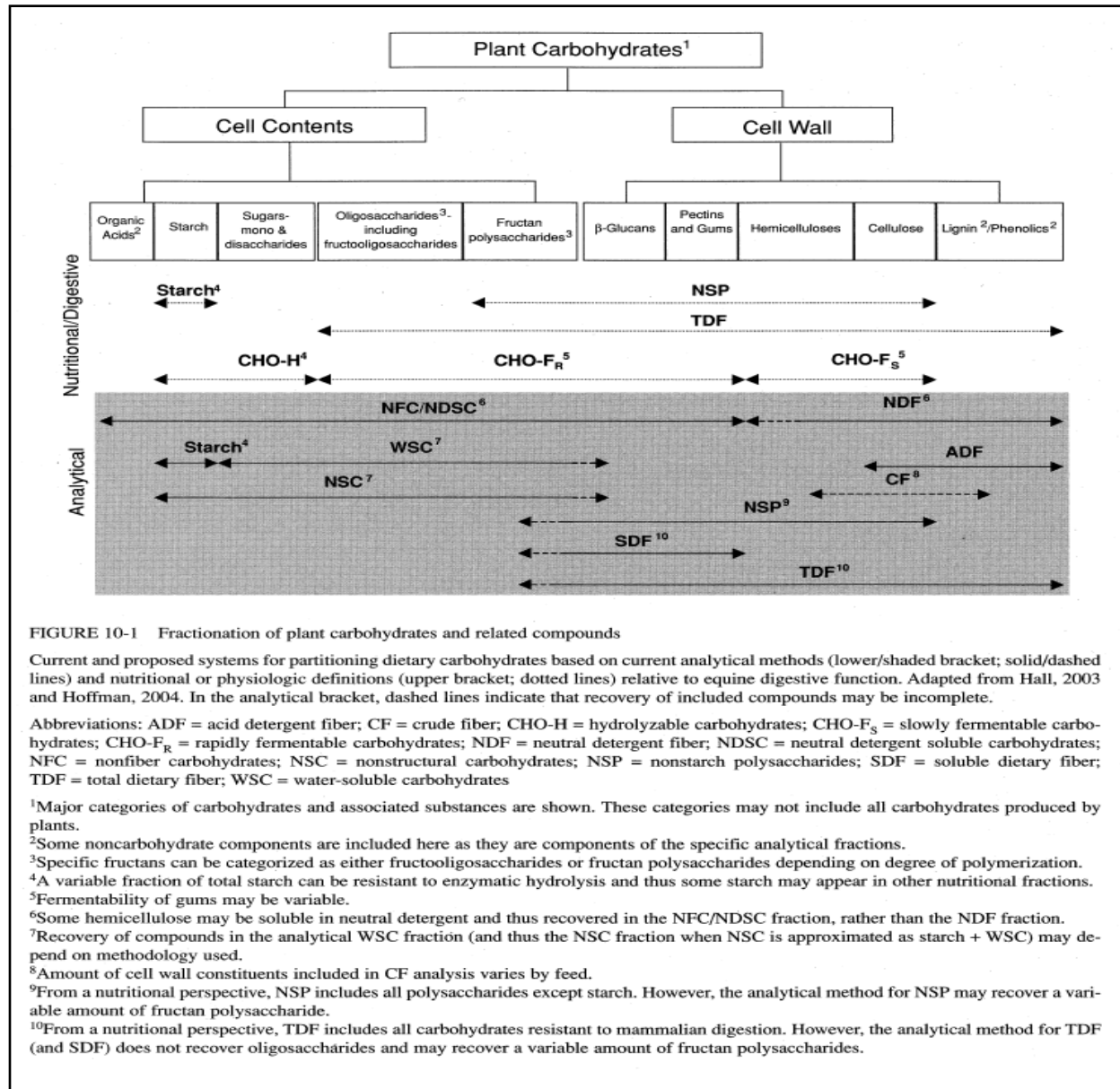
Los carbohidratos vegetales se pueden clasificar en tres categorías: 1) azúcares sencillos y sus conjugados (glucosa, fructuosa, etc.); 2) compuestos de reserva de almacenamiento (almidón) y 3) carbohidratos estructurales (celulosa, hemicelulosa, etc.). Los azúcares sencillos y los compuestos de almacenamiento se digieren principalmente en la parte superior del tubo gastrointestinal, aunque no por completo, mientras que los carbohidratos estructurales sólo se degradan parcialmente mediante la microflora en el ciego y en el intestino grueso (Slominski, 1991). Debido a que la mayor parte del almidón se elimina del maíz durante la producción de etanol, el coproducto resultante, que son los granos secos de destilería con solubles (DDGS), contiene niveles concentrados de proteína, minerales y fibra (Spiehs et al., 2002; Pedersen et al., 2007; Anderson, 2009). Con la capacidad del cerdo de utilizar niveles moderados, pero no altos, de fibra en la lactancia (Whitney y Shurson, 2004; Weber et al., 2008) y en la finalización (Whitney et al., 2006), no hay necesidad de aumentar la capacidad del cerdo de utilizar la energía relacionada con los carbohidratos estructurales de los coproductos derivados del maíz (Muley et al., 2007). Al haber una gran cantidad de maíz utilizado en la producción de etanol en EUA, continúa en aumento la cantidad de coproductos de maíz altos en fibra que hay para los alimentos para animales. Para poder minimizar el costo relacionado con la energía y los aminoácidos de la dieta, es básico que desarrollemos y evaluemos tecnologías que aumenten la digestibilidad de la energía y otros nutrientes. El uso de enzimas exógenas es una de estas tecnologías que ofrecen ser prometedoras para mejorar el valor nutritivo de los coproductos de maíz altos en fibra, particularmente los DDGS.

## Fibra en la nutrición porcina

### Definición

Desafortunadamente, la "fibra" es quizás el constituyente menos entendido de las dietas porcinas, el cual por lo general se describe como un componente complejo y altamente variable de los alimentos de origen vegetal (**figura 1**, NRC, 2007). Es importante notar que a menudo los métodos analíticos utilizados para caracterizar la "fibra" se traslapan o excluyen fracciones de otras fracciones de carbohidratos claramente diferentes en una materia prima, de tal manera que ha sido problemática nuestra capacidad de relacionar adecuadamente las mediciones analíticas a la utilización de fibra. Algunos tipos de fibra son más digestibles que otros y aunque no se pueden descomponer con las enzimas de mamíferos, pueden fermentarse con las bacterias en el intestino inferior (Grieshop et al., 2001). Estos tipos de fibra, a veces se denominan "polisacáridos no almidonosos" (NSP); 90% de las paredes celulares de las plantas están hechas de NSP; de los cuales, los más abundantes son la celulosa, hemicelulosa y pectinas (Selvendran y Robertson, 1990). Entre otros NSP menos abundantes se incluyen los

fructanos, glucomananos, galactomananos, mucílagos,  $\beta$  glucanos y gomas. La celulosa se encuentra en agregados fuertemente ligados en plantas, mientras que la hemicelulosa y las pectinas tienen cadenas laterales de azúcares que les permite descomponerse más fácilmente. La lignina no es un polisacárido per se, pero es un polímero de alto peso molecular, que no se considera como un constituyente funcional de la dieta debido a que es indigestible para los cerdos (Grieshop et al., 2001).



**Figura 1.** Clasificaciones nutricionales y analíticas utilizadas para caracterizar los carbohidratos vegetales.

Como se muestra en la **figura 1**, entre los métodos analíticos comunes utilizados para medir los carbohidratos complejos en los ingredientes altos en fibra y en los alimentos se encuentran: fibra cruda, fibra ácidodetergente (FAD), fibra neutrodetergente (FND), fracciones solubles e

insolubles de la fibra total dietética (FTD) y los polisacáridos no almidonosos (NSP). Cada uno de estos métodos de fibra mide varias fracciones de carbohidratos complejos, pero no se relacionan adecuadamente al valor energético de los alimentos para cerdos.

## Valor energético de la fibra

La digestibilidad de la "fibra" en las dietas porcinas puede variar drásticamente entre 0 y 97%, en función de la fuente (Bach Knudsen y Hansen, 1991), método de procesamiento (Fadel et al., 1989) y concentración en la dieta (Stanogias y Pearce, 1985; Goodlad y Mathers, 1991). Sin embargo, muchos NSP se fermentan parcialmente en el intestino inferior y se pueden usar para producir ácidos grasos volátiles (AGV), tales como el acetato, el propionato y el butirato. Estos AGV se absorben rápidamente y han mostrado que suministran entre el 5 y el 28% del requerimiento de energía de mantenimiento del cerdo (Farrell y Johnson, 1970; Imoto y Namioka, 1978; Kass et al., 1980; Latymer y Low, 1987; Rérat et al., 1987; Yen et al., 1991). Sin embargo, la pérdida de energía debida al metano, hidrógeno y calor de la fermentación disminuye la cantidad de energía disponible para el cerdo de la fermentación de la fibra en el intestino inferior (Grieshop, 2001), por lo tanto, disminuye la eficiencia de la utilización de energía (Giusi-Perier et al., 1989, Noblet et al., 1994).

## La fibra altera el tubo gastrointestinal

### 1. Peso

La alimentación de dietas altas en fibra resulta en un aumento general del peso vacío total del tubo gastrointestinal (Kass et al., 1980; Stanogias y Pearce, 1985; Anugwa et al., 1989) y en un aumento de las secreciones gastrointestinales (Grieshop et al., 2001). Jørgensen et al. (1996) mostraron que los cerdos en crecimiento - finalización alimentados con dietas que contenían niveles altos de fibra dietética (NSP + lignina) (268 g/kg de materia seca, MS) comparado con cerdos que se alimentaron con dietas bajas en fibra dietética (59 g/kg de MS), presentaron un estómago, ciego y colon significativamente más pesados, así como un colon más largo.

### 2. Proliferación de enterocitos

La tasa de proliferación de células epiteliales intestinales se ve estimulada por dietas altas en NSP (Jin et al., 1994; Howard et al., 1995) lo que conduce a un aumento en la tasa de recambio celular. Los cerdos en crecimiento alimentados con dietas con 10% de paja de trigo presentaron un 33% de aumento en la tasa de proliferación celular del yeyuno y del colon, y un 65% de aumento en las células que mueren (Jin et al., 1994).

### 3. Secreción de fluidos endógenos

La secreción de fluidos endógenos también se ve aumentada cuando se alimentan dietas altas en fibra a cerdos (Wenk, 2001). Cuando se aumentó el contenido de fibra dietética de 50 a 180 g/kg en cerdos de 50 kg, se duplicaron las secreciones de saliva, jugo gástrico y jugo pancreático (Zebrowska et al., 1983).

### 4. Requerimiento energético para el mantenimiento

Con los muchos cambios en las características del tubo gastrointestinal debido a la alimentación de dietas altas en fibra, pueden aumentar los requerimientos de energía de mantenimiento de los cerdos por la demanda metabólica extra ocasionada por las necesidades de nutrientes para el desarrollo y mantenimiento de órganos (Grieshop et al.,

2001; Wenk, 2001). En consecuencia, los métodos para mejorar la digestión de la fibra reducirían estos efectos negativos de la fibra en el metabolismo del animal.

#### 5. Vaciamiento gástrico y saciedad

La tasa de vaciamiento gástrico puede disminuir con la adición de ciertas formas de NSP. La goma guar y la pectina aumentan la viscosidad del bolo alimenticio (Grieshop et al., 2001) y la retención de agua (Johansen et al., 1996). Los cerdos en crecimiento alimentados con una dieta alta en energía (almidón, caseína, aceite de soya y sebo) suplementada con 40 a 60 g/kg de goma guar tuvieron una tasa reducida de vaciamiento gástrico de 33 a 52% después de la alimentación y una reducción del 27% en la concentración de MS del bolo alimenticio (Rainbird, 1986; Rainbird y Low, 1986). Las dietas altas en fibra también pueden contribuir a una saciedad más rápida resultante de las señales gástricas debido al alargamiento de la pared estomacal. La alimentación de mayores cantidades de fibra dietética puede conducir a un mayor volumen del bolo alimenticio en el estómago, lo que disminuye el tiempo de tránsito y aumenta la saciedad. Esto es importante en cerdas gestantes en las que se ha mostrado que las cerdas satisfechas física y nutricionalmente parecen estar menos estresadas y muestran una menor actividad física (Rijhen et al., 1999).

#### 6. Índice de tránsito del bolo alimenticio y utilización de nutrientes

El índice de tránsito del bolo alimenticio también puede verse afectado por la alimentación de dietas altas en fibra. Algunos estudios han mostrado un mayor flujo de MS diario en el íleon terminal cuando hay niveles crecientes de FND añadidos a la dieta (Schulze et al., 1995). Otros también han mostrado hasta un 14 y 23% de aumento en la índice de tránsito cuando se añaden a la dieta de 75 a 300 g gramos de salvado o subproductos de avena, respectivamente (Potkins et al., 1991). Estos resultados indican que las diferencias en el índice de tránsito por el tubo digestivo total se pueden deber a las diferencias en las tasas de paso por el intestino grueso, porque ninguna fuente de fibra tiene un efecto significativo sobre el vaciamiento o tránsito gástrico por el intestino delgado (Potkins et al., 1991). Además, el tamaño de partícula de la fibra puede también contribuir al índice de tránsito. Bardon y Fioramonti (1983) mostraron que el tamaño en partícula del salvado de trigo más grueso disminuye el tiempo de tránsito en comparación con el más fino.

La cantidad de tiempo que tarda el contenido digestivo en el intestino grueso también puede afectar la capacidad de fermentación. La fermentación de la fibra en el ciego y el colon resulta en la producción de AGV, principalmente ácidos acéticos, propiónico y butírico, que son fuentes viables de energía. Sin embargo, generalmente la densidad energética y la digestibilidad de la dieta disminuyen con la adición de NSP (Grieshop et al., 2001). Además, los NSP reducen la absorción de lípidos debido a una inhibición parcial de tanto la lipólisis como de la absorción de grasa intestinal (Borel et al., 1989). Los polisacáridos no almidonosos también disminuyen la retención de nitrógeno (N) dietético debido al aumento en la secreción del N endógeno, que conduce a una mayor excreción de N bacteriano (Grieshop et al., 2001). Aunque los minerales no contribuyen directamente a la energía de la dieta, debe también considerarse el impacto de los NSP sobre la utilización de éstos (por ejemplo, deficiencias o excesos que podrían llevar a condiciones fisiológicas que en última instancia afectan la absorción de energía). Sin embargo,

parece ser mínimo el impacto de las fuentes de NSP sobre la utilización de minerales (Kornegay y Moore, 1986; Grieshop et al., 2001).

## **Efectos del procesamiento mecánico sobre la utilización de la fibra**

Es muy poca o inconstante la información con respecto al efecto del procesamiento (mecánico o químico) del maíz y sus coproductos sobre los cambios en la utilización de fibra en animales no rumiantes. Teitge et al. (1991) reportaron que la peletización y la micronización, pero no así el hojuelizado al vapor, resultan en una mayor respuesta a la pentosanasa de la dieta en pollos alimentados con dietas que contienen centeno, mientras que Brenes et al. (1993a) indicaron que procesar con autoclave los lupinos no tienen impacto sobre el desempeño de los pollitos. El procesamiento con autoclave de chícharos (guisantes) altos en taninos, en contraste con los bajos en taninos, mejora la energía metabolizable aparente y la digestibilidad de proteína aparente en aves Leghorn (Brenes et al., 1993b). En cerdos de 80 kg alimentados con dietas a base de cebada, la peletización no tuvo efectos sobre las digestibilidades aparentes, ileal o fecal de la energía, MS, proteína cruda (PC), grasa o fibra (NSP + lignina), aunque sí aumento la digestibilidad aparente preileal del almidón (Graham et al., 1989). En contraste con Teitge et al. (1991), Graham et al. (1989) informaron que la peletización no mejoró la respuesta de la digestibilidad encontrada cuando se añade  $\beta$ -glucanasa a la dieta.

Poel et al. (1992) informaron que el procesamiento al vapor de los cotiledones de las habas no mejoró la digestibilidad ileal de la PC, ya sea debido al bajo nivel de actividad inhibidora de tripsina presente en las habas o a que el inhibidor de tripsina es termosensible arriba de los 100° C que se usaron en este estudio. De la misma forma, Thacker y Campbell (1999) y Nyachoti et al. (2006) mostraron poco efecto de la micronización sobre los coeficientes de digestibilidad de los nutrientes. La peletización de las dietas con altos niveles de fibra de maíz (harina de gluten de maíz >20% de proteína) mejoraron el equilibrio de N, aparentemente debido a la mayor disponibilidad de triptofano (Yen et al., 1971). La extrusión es un método común de procesamiento térmico de ingredientes de la industria comercial de alimentos balanceados. Sin embargo, se sabe muy poco acerca de los efectos de extruir maíz y sus coproductos sobre el valor nutritivo (Muley et al. 2007). Por lo tanto, se necesitan hacer estudios para evaluar los efectos de la extrusión y otros métodos prácticos de procesamiento de coproductos de maíz altos en fibra sobre la digestibilidad de nutrientes en cerdos.

## **Efectos de las enzimas exógenas sobre la utilización de la fibra**

### **Dietas avícolas vs. porcinas**

La adición de enzimas exógenas a los alimentos de animales en el esfuerzo de mejorar la digestibilidad de nutrientes no es un concepto nuevo, cuyas respuestas se han revisado en gran detalle (Chesson, 1987; Bedford, 2000). La mayoría de los productos enzimáticos

comerciales se han dirigido a las aves (Annison y Choct, 1991; Cowan, 1993) y por lo general se añaden a dietas que contienen cebada, avena, chícharos (guisantes), centeno o trigo (Aimonen y Nasi, 1991; Thacker et al., 1992; Viveros et al., 1994; Huberner et al., 2002), pero cuentan con pocas investigaciones que evalúen el uso de enzimas en las dietas a base de maíz y soya (Saleh et al., 2005).

## Enzimas en las dietas porcinas a base de otros granos

Al igual que las aves, la mayoría de la investigación de añadir enzimas a las dietas porcinas se ha enfocado en las dietas hechas con otros granos que no sean el maíz. La adición de un complejo multienzimático a dietas con cebada y trigo ha mostrado que mejoran la digestibilidad de los NSP solubles en cerdos de 10 kg, aunque el desempeño del crecimiento no se vio afectado (Inbarr et al., 1993). De la misma forma, Nonn et al. (1999) han encontrado variaciones en las respuestas con la adición de enzimas a dietas porcinas; encontraron que no había efecto de la suplementación de enzimas sobre el desempeño del crecimiento de cerdos, aunque observaron una mayor digestibilidad de la fibra cruda y la celulosa. De la misma, Thacker y Campbell (1999) indicaron que aunque la suplementación enzimática aumentó los coeficientes de digestibilidad de nutrientes, hubo muy poco efecto sobre el desempeño de crecimiento de los cerdos. En contraste, Omogbenigun et al. (2004) suplementaron un cóctel enzimático (celulosa, galactanasa, manasa y pectinasa) a una dieta a base de trigo en cerdos de 6 kg y observaron un mejoramiento en el desempeño del crecimiento (tasa de crecimiento y eficiencia alimenticia) en un periodo de 38 días. También Yin et al. (2000) informaron de una mejor digestibilidad de nutrientes cuando añadieron xilanasa a dietas que contenían subproductos de trigo alimentados a cerdos de 15 kg e informaron una mejor digestibilidad aparente del tubo digestivo total e ileal de la MS, PC y energía, especialmente en dietas con altos niveles de NSP insolubles. Por último, la adición de un cóctel enzimático (extractos de la fermentación y solubles de *A. niger* y *T. longibranchautum*) a dietas que contenían 20% de cascarilla de soya mejoró la digestibilidad de la MS y energía, pero no la digestibilidad de N, en cerdos de 33 a 51 kg (Moeser y van Kempen, 2002). Al tener la cascarilla de soya una gran proporción de celulosa relativa a otros NSP, estos datos proporcionan algunas pruebas de que la digestión de la celulosa puede verse impactada por la adición de hemicelulosa y de las otras formas más solubles de fibra.

## Enzimas en dietas porcinas a base de maíz

Hay pocas investigaciones del impacto de las enzimas exógenas sobre la digestibilidad de nutrientes o el desempeño de cerdos alimentados con dietas a base de maíz. La suplementación de  $\beta$ -glucanasa a una dieta a base de maíz y harina de soya no tuvo impacto sobre la digestibilidad de MS, energía o PC en cerdos de 6 kg (Li et al., 1996). De la misma forma, la suplementación de  $\beta$ -mananasa (la  $\beta$ -mananasa es parte de la hemicelulosa) a una dieta a base de maíz y harina de soya no pudo mostrar ningún efecto sobre la digestibilidad de la MS, energía o N en cerdos castrados de 93 kg (Petty et al., 2002). Sin embargo, la adición de  $\beta$ -mananasa mejoró la eficiencia alimenticia en cerdos de 6 kg (periodo de alimentación de 42 días) y de 14 kg (periodo de alimentación de 21 días), y mejoró la ganancia y la eficiencia alimenticia, pero no tuvo impacto sobre la composición de la canal cuando se alimentó de los 23 a los 110 kg (Petty et al., 2002). Kim et al. (2003) utilizaron una mezcla de enzimas

carbohidrasas ( $\alpha$ -1,6-galactosidasa y  $\beta$ -1,4 mananasa) en dietas de maíz y de harina de soya alimentadas a cerdos lactantes, para lo cual informaron un mejoramiento en la eficiencia alimenticia en dos experimentos (experimento a 35 días, de 6.3 a 19.1 kg de peso corp. y experimento de 21 días, de 8.0 a 15.2 kg de peso corp.) y en la digestibilidad ileal de la energía. La suplementación de la mezcla de enzimas carbohidrasas también disminuyó la concentración de estaquiosa en el intestino delgado, proximal y distal, y la concentración de rafinosa en el intestino delgado distal, lo que indica que esta mezcla mejora la digestibilidad de los carbohidratos en la harina de soya. De la misma manera, la suplementación de varias preparaciones multienzimáticas añadidas a las dietas a base de maíz y harina de soya (pequeñas cantidades de trigo, harinillas de trigo, cebada, subproductos de molinería, harina de canola y chícharos o guisantes) alimentadas a cerdos de 7 kg durante 28 días, mejoró el desempeño del crecimiento y varios índices de digestibilidad de nutrientes, tanto en el íleon como en el tubo digestivo total (**cuadro 1**; Omogbenigun et al., 2004).



**Cuadro 1. Efecto de la suplementación de enzimas sobre el desempeño del crecimiento, porcentaje de digestibilidad ileal aparente (DIA) y digestibilidad total del tubo digestivo (DTT) de nutrientes en cerdos de 7 kg<sup>1</sup>.**

Desempeño	Dieta <sup>2</sup>				Estadísticas	
	Control	C + Enz A	C + Enz B	C + Enz C	SEM	Valor P
GDP, g	224 <sup>b</sup>	252 <sup>a</sup>	263 <sup>a</sup>	249 <sup>a</sup>	7.9	0.02
CDPA, g	432	435	456	414	17.8	0.42
G:A	0.52 <sup>b</sup>	0.58 <sup>a</sup>	0.58 <sup>a</sup>	0.61 <sup>a</sup>	0.02	0.01
<b>DIA, %</b>						
MS	60.1 <sup>b</sup>	65.8	66.1 <sup>a</sup>	66.7 <sup>a</sup>	1.5	0.01
Almidón	86.7 <sup>b</sup>	92.6 <sup>a</sup>	94.6 <sup>a</sup>	95.3 <sup>a</sup>	1.1	0.02
EB	62.8 <sup>b</sup>	70.0 <sup>a</sup>	69.7 <sup>a</sup>	71.4 <sup>a</sup>	0.9	0.01
PC	62.1 <sup>b</sup>	71.5 <sup>a</sup>	71.4 <sup>a</sup>	73.2 <sup>a</sup>	1.5	0.01
Fitato	59.2 <sup>b</sup>	71.7 <sup>a</sup>	69.1 <sup>a</sup>	69.7 <sup>a</sup>	2.3	0.04
NSP	10.1 <sup>b</sup>	14.9 <sup>a</sup>	16.4 <sup>a</sup>	21.4 <sup>a</sup>	1.4	0.01
<b>DTT, %</b>						
MS	75.6 <sup>b</sup>	78.1	77.2 <sup>a</sup>	80.0 <sup>a</sup>	0.5	0.01
Almidón	94.4 <sup>b</sup>	98.6 <sup>a</sup>	97.6 <sup>a</sup>	98.6 <sup>a</sup>	0.7	0.01
EB	77.8 <sup>b</sup>	79.8 <sup>a</sup>	79.8 <sup>a</sup>	81.1 <sup>a</sup>	0.7	0.01
PC	67.1 <sup>b</sup>	71.2 <sup>a</sup>	71.6 <sup>a</sup>	74.2 <sup>a</sup>	1.0	0.01
Fitato	69.4 <sup>b</sup>	96.8 <sup>a</sup>	96.3 <sup>a</sup>	96.0 <sup>a</sup>	3.2	0.01
PNA	48.9 <sup>b</sup>	61.2 <sup>a</sup>	59.6 <sup>a</sup>	66.8 <sup>a</sup>	1.2	0.01

<sup>1</sup> Peso inicial promedio, 7.0 kg, experimento de 28 días, 6 cerdos/tratamiento, CADP con base en MS. (Omogbenigun et al., 2004)

<sup>2</sup> Las preparaciones enzimáticas proporcionaron 250 unidades de xilanas, 150 unidades de glucanas, 0.001% de amilasa, 0.0003% de proteasa, 0.002% de invertasa y 400 unidades de fitasa por kilogramo de dieta y difirieron en el tipo de actividades de degradación de pared celular vegetal. La enzima A contenía celulosa, galactanasa y mananasa; la enzima B contenía celulosa y pectinasa y la enzima C contenía celulosa, galactanasa, mananasa y pectinasa.

<sup>abc</sup> Las medias en un renglón con diferentes superíndices difieren en el valor P mostrado.

Recientemente, Ji et al. (2008) evaluaron la mezcla de enzimas de  $\beta$ -glucanasa-proteasa añadida a la dieta de maíz- harina de soya y alimentada a cerdos de 38 kg (**cuadro 2**). Los cerdos alimentados con la dieta que tenía la mezcla enzimática presentaron una mayor digestibilidad del tubo digestivo total de MS, energía, PC, FTD y fósforo (P), pero solamente aumentó la digestibilidad ileal de FND, mientras que el de la PC pareció haber disminuido la digestibilidad ileal. Los autores indican que el incremento en la digestibilidad de FND ileal (y la hemicelulosa), sin cambio en la digestibilidad fecal debido a la suplementación de enzimas, pudo haber cambiado parte de la digestión de estos nutrientes desde el intestino inferior al intestino delgado, lo que evitaría la pérdida fermentativa de energía y supuestamente aumentaría la eficiencia energética de la digestión de la fibra.

**Cuadro 2. Efecto de la suplementación de enzimas sobre el porcentaje de digestibilidad ileal aparente (DIA) y la digestibilidad total del tubo digestivo (DTT) de nutrientes en cerdos de 38 kg<sup>1</sup>.**

DIA, %	Dieta <sup>2</sup>			Estadísticas	
	Basal	B + 0.05%	B + 0.10%	B vs Enz	0.05 vs 0.10
MS	70.86	69.13	70.50	0.33	0.25
Energía	70.93	69.48	70.71	0.44	0.31
PC	78.29	75.51	76.54	0.04	0.37
Almidón	97.95	98.01	98.12	0.51	0.59
FND	1.21	9.52	10.05	0.02	0.88
FAD	4.33	4.36	5.22	0.91	0.84
FTD	ND	ND	ND	ND	ND
Grasa cruda	61.40	62.94	62.18	0.49	0.68
P	49.62	49.54	49.00	0.86	0.80
<b>DTT, %</b>					
MS	87.42	88.61	88.50	0.01	0.62
Energía	86.51	87.42	87.26	0.01	0.51
PC	86.47	88.08	87.39	0.01	0.10
Almidón	99.24	99.26	99.31	0.53	0.44
FND	54.62	55.62	56.05	0.36	0.77
FAD	64.84	61.40	65.92	0.40	0.01
FTD, %	60.61	65.36	65.61	0.01	0.86
Grasa cruda	80.14	80.51	78.24	0.51	0.09
P	53.80	61.73	57.83	0.01	0.01

<sup>1</sup> Peso inicial promedio, 38.2 kg, cuadrado latino 4x4 con periodos de 14 días (4 días de adaptación, 5 días de recolección fecal, 3 días de transición y 2 días de recolección ileal). (Ji et al., 2008)

<sup>2</sup> La enzima contenía 660 unidades de  $\beta$ -glucanasa/g y 22 unidades de hemoglobina/g.

Recientemente, se informó que la adición de una preparación enzimática a las dietas que contenían 30% de DDGS aumentó el desempeño del crecimiento en cerdos lactantes (Spencer et al., 2007). Todavía no se sabe si la adición de enzimas de la dieta mejore el desempeño en crecimiento de cerdos en finalización alimentados con dietas que contienen mayores niveles de fibra de maíz. Desafortunadamente, no se han publicado en su mayoría los resultados de los estudios en los que no hubo efectos de las enzimas suplementarias sobre el desempeño del crecimiento de los cerdos en la literatura científica, lo que ha llevado a una escasez de datos arbitrados disponibles para el porcicultor, nutriólogo de cerdos y otros profesionales de la industria porcina.

### La fitasa sola y en combinación con otras enzimas

No ha sido constante el impacto de la suplementación de la fitasa en la dieta sobre la digestibilidad de la energía. Aunque la mayoría de los estudios (Adeola et al., 2004, 2006; Liao et al., 2005; Jendza et al., 2006; Beaulieu et al., 2007) han observado que no hay impacto de la fitasa sobre la digestibilidad de la energía, otros (Brady et al., 2002; Shelton et al., 2003;

Jendza et al., 2005; Veum et al., 2006) han notificado efectos positivos. Los resultados recientes de Kerr et al. (2010) también fueron no concluyentes, lo que indica que si hay un efecto de la fitasa sobre la digestibilidad de la energía, es relativamente pequeño en magnitud y muy variable.

Falta el impacto de la fitasa, con o sin otras enzimas, sobre la digestibilidad de nutrientes (y de la energía). Olukosi et al. (2007) suplementaron dietas hechas de maíz, harinillas de trigo, harina de soya y harina de canola, con fitasa o con un cóctel enzimático (xilanasa, amilasa y proteasa) solo, o en combinación, que se alimentó a cerdos de 10 a 23 kg (**cuadro 3**). Estos datos indican que aunque la fitasa mejoró la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia, la adición del cóctel de enzimas, solo o en combinación con la fitasa, no tuvo impacto sobre el desempeño de los cerdos. Ni la adición de la fitasa ni el cóctel enzimático, solos o en combinación, presentaron efectos constantes sobre la digestibilidad de la MS, energía o N, pero cada uno mejoró la digestibilidad de P. Sin embargo, los efectos no fueron aditivos. En un experimento adicional con trigo que reemplazaba al maíz en la dieta (23 a 52 kg de peso corporal, estudio de 42 días), no se presentaron efectos de la fitasa o xilanasa (500 U y 4,000 U/kg, respectivamente) sobre el desempeño de los cerdos o sobre la digestibilidad de N y energía (Olukosi et al., 2007). La fitasa, pero no la xilanasa, mejoraron la digestibilidad del fósforo.

**Cuadro 3. Desempeño del crecimiento y digestibilidad aparente total del tubo digestivo de cerdos de 10 a 23 kg que recibieron fitasa o un cóctel de xilanasa, amilasa y proteasa<sup>1</sup>.**

<u>Tratamiento de dieta</u>	<u>Desempeño de los cerdos</u>			<u>Digestibilidad aparente total del tubo digestivo, %</u>			
	<u>GDP, g</u>	<u>CDPA, g</u>	<u>G:A, g:kg</u>	<u>MS</u>	<u>EB</u>	<u>N</u>	<u>P</u>
Control negativo	398	1140	363	80.2	79.8	80.1	38.3
NC + fitasa <sup>2</sup>	483	1070	457	80.1	78.1	80.2	49.9
NC + enzima <sup>3</sup>	393	1050	380	82.3	80.1	81.2	48.3
NC + F + En	479	1210	415	80.0	79.0	80.0	51.1
SEM	10.4	30	13.7	0.20	0.43	0.43	0.87

<sup>1</sup> Hubo 4 corrales de repeticiones de cerdos castrados y cerdas primerizas cada uno (1 cerdo/corral) en el estudio de 28 días.  
<sup>2</sup> La fitasa se añadió a una tasa de 500 unidades de fitasa/kg de dieta  
<sup>3</sup> El cóctel era de 400 U de xilanasa, 4,000 U de amilasa y 2,500 U de proteasa por kg de dieta.

También faltan y son inconstantes los resultados de experimentos que evaluaron el impacto de la fitasa, con o sin otras enzimas, sobre la digestibilidad de nutrientes (y energía) en las dietas que contenían DDGS. Mientras que la adición de 500 unidades de fitasa mejoró la digestibilidad de P en las dietas con 20% de DDGS en cerdos de iniciación o finalización, no se mejoró la digestibilidad de la MS (Xu et al., 2006a,b). En contraste, Lindemann et al. (2009) en cerdos de 64 a 123 kg alimentados con dietas que contenían 20% de DDGS suplementadas con 250 o 500 U/kg de fitasa mostraron una mayor digestibilidad de la MS, energía y N que los cerdos no suplementados, pero no hubo más mejoras en la digestibilidad fecal de MS, energía o N con la suplementación adicional de xilanasa.

## Energía y fibra en los coproductos de maíz

La energía bruta (EB) en los DDGS promedia 5,434 kcal/kg de MS y es mayor que la concentración de EB en el maíz (**cuadro 4**; Stein y Shurson, 2009). Sin embargo, la digestibilidad de energía medida como porcentaje de EB, es menor en los DDGS que en el maíz (Stein y Shurson, 2009). El contenido de ED y EM de los DDGS es 4,140 y 3,897 kcal/kg de MS, respectivamente (Pedersen et al., 2007). Estos valores son similares al contenido de ED y EM en maíz (**cuadro 4**). No se ha determinado el valor de energía neta de los DDGS, pero se están realizando actualmente investigaciones para ello.

**Cuadro 4. Concentración de energía en el maíz y 10 fuentes de granos secos de destilería de maíz con solubles (DDGS) alimentados a cerdos en crecimiento<sup>1</sup>.**

Variable	Maíz	DDGS			
		Promedio	Desv. Est.	Valor más bajo	Valor más alto
EB, kcal/kg de MS	4,496	5,434	108	5,272	5,592
DATT <sup>2</sup> de energía, %	90.4	76.8	2.73	73.9	82.8
DE, kcal/kg de MS	4,088	4,140	205	3,947	4,593
EM, kcal/kg de MS	3,989	3,897	210	3,674	4,336

<sup>1</sup> Datos de Pedersen et al. (2007) (Adaptado de Stein y Shurson, 2009).  
<sup>2</sup> DATT = digestibilidad aparente total del tubo digestivo.

Debido a que la mayoría del almidón en el maíz se convierte a etanol, los DDGS contienen aproximadamente 35% de fibra dietética insoluble y 6% de soluble (Stein y Shurson, 2009; **cuadro 5**). La DATT de la fibra dietética promedia 43.7%, pero varía del 23 al 55%. Esta variación en la digestibilidad de la fibra se cree que está influida por la digestibilidad de la energía en los DDGS. La digestibilidad ileal aparente y la digestibilidad del tubo digestivo total de la fibra dietética en los DDGS son más altas que en el maíz, y se supone que se mejoran como resultado del procesamiento y de los procesos de fermentación utilizados en las plantas de etanol (Urriola et al., 2010). Sin embargo, menos del 50% de la fibra dietética total se fermenta en todo el tubo digestivo, lo que indica que más del 50% pasa a lo largo del cerdo sin que se fermente (Urriola et al., 2010). Como resultado, hay una cantidad significativa de carbohidratos no fermentados en los DDGS que podrían utilizarse en un mayor grado, si se desarrollaran las enzimas exógenas adecuadas para mejorar la utilización de estos substratos.

**Cuadro 5. Concentración de carbohidratos y digestibilidad aparente del tubo digestivo total (DATT) de la fibra dietética en los granos secos de destilería de maíz con solubles<sup>1,2</sup>.**

Variable	Promedio	Valor bajo	Valor alto	Desv. Est.
Almidón, total %	7.3	3.8	11.4	1.4
Almidón soluble, %	2.6	0.5	5.0	1.2
Almidón insoluble, %	4.7	2.0	7.6	1.5
FAD %	9.9	7.2	17.3	1.2
FND, (%)	25.3	20.1	32.9	4.8

FTD insoluble, %	35.3	26.4	38.8	4.0
FTD soluble, %	6.0	2.36	8.54	2.1
FTD, %	42.1	31.2	46.3	4.9
DATT de FTD, %	43.7	23.4	55.0	10.2

<sup>1</sup> N = 46 para los datos de almidón, FAD y FND; n = 8 para los datos de fibra dietética insoluble, soluble y total.  
<sup>2</sup> Stein y Shurson, 2009.

En un proyecto de investigación reciente de colaboración entre el Agricultural Research Service y la University of Minnesota, se evaluó la concentración de EM de una gran variedad de coproductos de la molinería de maíz (Anderson, 2009). Aunque uno de las ecuaciones que mejor se ajustó incluía la FTD en la ecuación de predicción, [EM, kcal/kg de MS = -1358 + (1.26 × EB) – (30.91 × FTD) – (33.14 × grasa cruda) (R<sup>2</sup> = 0.85, SE = 273)], la sustitución de la FTD con FND tuvo muy poco impacto sobre la ecuación general: [EM, kcal/kg de MS = -2161 + (1.39 × EB) – (20.70 × FND) – (49.30 × grasa cruda) (R<sup>2</sup> = 0.77, SE = 337)], lo que implica que para la "fibra del maíz" hay bajas concentraciones de polisacáridos pectanos, gomas, β-glucanos o fructanos (como lo muestra la diferencia entre FTD y FND en la fig. 1). Esto se puede observar al comparar las concentraciones de FTD y FND relativamente similares en estos coproductos (**cuadro 6**). Además, la "fibra" del maíz tiene un componente grande de hemicelulosa, definido por la diferencia entre FND y FAD.

**Cuadro 6. Composición analizada de los coproductos de maíz, con base en MS<sup>1</sup>**

Variable	DDGS (WI)	DDGS (IA)	DDGS (SD)	RO-DDGS (SD)	DDGS (BPX)	DDGS - tambo r (MN)	DDGS-microonda s (MN)	Solubles secos	Harina de gluten >20% de proteína
Proteína cruda	29.62	29.65	31.94	34.74	29.49	32.69	34.12	23.75	24.29
Almidón	7.85	3.47	6.24	3.04	4.94	2.12	1.05	6.34	12.57
Fibra cruda	7.05	7.76	7.56	8.69	7.95	7.93	8.35	0.08	8.56
FTD	30.34	38.14	35.69	37.20	35.90	35.38	43.18	16.07	40.07
FND	34.61	40.13	40.12	50.96	33.41	44.87	49.12	2.33	42.66
FAD	11.25	10.55	14.42	15.82	8.62	13.16	14.66	0.49	9.90
Celulosa	10.64	10.12	11.72	12.72	8.21	11.95	13.37	0.79	9.17
Lignina	1.21	1.06	3.16	3.49	1.00	1.72	1.92	0.31	1.05

Variable	DHDG maíz	Germen de maíz deshidr.	Harina de germen de maíz	Salvado	Salvado + soluble s	Harina de gluten	HP-DDG (MOR)	HP-DDG (Poet)	HP-DDG (ICM)
Almidón	87.96	25.00	15.29	23.25	25.73	11.08	0.51	7.30	5.10

Fibra cruda	0.60	4.87	10.69	11.54	4.80	1.44	8.14	9.42	7.87
FTD	2.61	24.78	47.76	53.60	26.65	9.24	28.80	31.28	36.75
FND	4.27	27.37	61.05	56.86	25.21	12.25	43.52	32.00	51.09
FAD	0.49	6.13	12.49	13.14	5.35	7.57	25.42	12.61	15.11
Celulosa	0.77	5.21	11.71	12.78	5.38	5.95	22.55	12.05	14.25
Lignina	0.33	1.28	1.22	0.89	0.55	2.24	3.40	0.95	1.44

<sup>1</sup>Abreviaturas: FTD, fibra total dietética; FND, fibra neutrodetergente; FAD, fibra ácidodetergente; DDGS, granos secos de destilería con solubles; RO-DDGS, DDGS reducidos en aceite; DDGS secados en tambor o con microondas; DHDG, descascarillados y desgerminados; HP-DDG, granos secos de destilería altos en proteína. Las abreviaturas entre paréntesis se refieren al estado o compañía de donde se obtuvieron los productos.

Estos resultados son similares a aquellos notificados por Leathers (1998), en los que la composición de la fibra del maíz de seis estudios, que representaba diferentes zonas geográficas, mostraba que la hemicelulosa es el constituyente predominante, seguida de la xilosa (**cuadro 7**).

**Cuadro 7. Principales componentes de la fibra del maíz.**

Componente	Ubicación geográfica					
	A	B	C	D	E	F
Almidón	22	11	18	22	20	23
Hemicelulosa	40	53	32	47	29	39
Xilosa	24	25	20	28	18	19
Arabinosa	16	18	10	19	11	11
Celulosa	12	18	24	ND	14	ND
Proteína	12	11	ND	ND	11	12

En consecuencia, cuando se evalúa la efectividad de las enzimas exógenas, debe considerarse la composición de la "fibra" con el objeto de que se mejore posiblemente la digestibilidad de la energía y los nutrientes. Esto está demostrado con claridad por Li et al., (1996) quienes evaluaron la efectividad de la adición de  $\beta$ -glucanasa a una amplia gama de dietas que diferían principalmente en el contenido de  $\beta$ -glucano. Sus datos muestran que la suplementación de  $\beta$ -glucanasa no tuvo efectos sobre la digestibilidad de la energía en las dietas a base de trigo, maíz o centeno con harina de soya, pero sí mejoró la digestibilidad de la energía en las dietas de cebada y harina de soya (**cuadro 8**), lo que refleja las diferencias dietéticas en las concentraciones de  $\beta$ -glucano.

**Cuadro 8. Efecto de la suplementación de  $\beta$ -glucanasa sobre la digestibilidad de la energía.**

dieta	Composición de la dieta, %			Suplementación con $\beta$ -glucanasa, %			
	FND	FAD	$\beta$ -glucanos	0	0.05	0.10	0.20
Cebada-H. de soya	8.4	2.3	3.2	85.2 <sup>b</sup>	87.8 <sup>ab</sup>	86.4 <sup>ab</sup>	88.5 <sup>a</sup>
Trigo- H. de soya	7.9	2.5	0.8	86.8	88.1	88.4	88.4
Maíz-H. de soya	8.1	1.9	0.3	85.8	84.4	83.8	85.7
Centeno-H. de soya	7.4	2.1	0.7	87.2	88.0	88.1	87.1

## Comparación de la efectividad de los productos comerciales y aditivos enzimáticos en las dietas de lactantes y finalización de cerdos sobre la digestibilidad de nutrientes y el desempeño del crecimiento

### Procedimientos experimentales

Los aditivos alimenticios (**cuadro 9**) se seleccionaron con base en su potencial de afectar la digestión de la energía y la fibra, o su capacidad de modular la ecología bacteriana dentro del tubo gastrointestinal. Las dietas basales (**cuadro 10**) se formularon para que estuvieran adecuadas en todos los nutrientes relativos a las recomendaciones del NRC (1998) por cada categoría específica de peso de cerdo en un periodo de 5 semanas; incluían 30% de granos secos de destilería con solubles (DDGS) durante cada fase de tratamiento. Se añadió dióxido de titanio como un marcador indigestible a razón de 0.5% de la dieta para determinar la digestibilidad aparente de "nutrientes" mediante el método indirecto:  $[1 - ((T_{\text{alimento}} \times \text{Nutriente}_{\text{heces}}) / (T_{\text{heces}} \times \text{Nutriente}_{\text{alimento}})) \times 100]$ . Los aditivos alimenticios se añadieron a cada dieta de acuerdo con las tasas de recomendación del fabricante. De todos los aditivos evaluados en este estudio, se dio por sentado que contenían los principios activos y el nivel de actividad especificado en la etiqueta del producto (**cuadro 9**).

En el experimento de lactantes, se utilizaron un total de 192 cerdos que representaban 3 grupos de 64 animales (11.9 kg de peso corporal inicial promedio). Cada grupo de cerdos se distribuyó al azar en dos salas (32 corrales/sala) y después se colocaron en corrales individuales de acero inoxidable que medían 0.46 m x 1.22 m. Los cerdos se alimentaron de manera individual con sus respectivas dietas experimentales en un periodo de alimentación de 5 semanas. En el experimento de finalización, se utilizó un total de 96 cerdos que consistían de dos grupos de 48 animales (98.4 kg de peso corporal inicial promedio), que se distribuyeron al azar en dos salas (24 corrales/sala) y luego se colocaron en corrales de galvanizados individuales que medían 0.57 x 2.21 m. Los cerdos se alimentaron de manera individual con dietas experimentales en un periodo de alimentación de 5 semanas. En cada experimento, a los cerdos se les dio acceso *ad libitum* al alimento balanceado y al agua; cada sala se mantuvo

con 24 horas de iluminación, se ventiló mecánicamente y tenía un sistema de almacenamiento de heces de tapón. Los tratamientos de la dieta se asignaron al azar a los corrales y se mantuvieron tanto el sexo como el peso corporal lo más iguales posibles dentro y entre los grupos. Las dietas experimentales se alimentaron en harina. Las muestras fecales se recolectaron al final de las semanas 1, 3 y 5, mediante; la recolección se hizo de heces frescas en bolsas de plástico individuales e inmediatamente se almacenaron a 0° C hasta el final del tratamiento.

Al final del tratamiento, las dietas y las heces se secaron en un horno de aire forzado a 70° C, se pesaron, se molieron y se pasaron a través de una malla de 1 mm; de ahí se obtuvo una submuestra para el análisis de nutrientes. Las muestras de la dieta y fecales se analizaron por duplicado. Se determinó el carbono, N y S mediante termocombustión (VarioMax, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Alemania). Se analizó la fibra ácido y neutrodetergente mediante el método # 8 y # 9, respectivamente, con la tecnología de la bolsa de filtro (Ankom2000, Ankom Technology, Macedon, NY). El extracto etéreo se analizó con éter de petróleo, como lo describe Luthria et al. (2004) en un ASE 350 (Dionex Corporation, Sunnyvale, CA, EUA). La energía bruta se determinó mediante el calorímetro de bomba de isoperibol (Modelo 1281, Parr Instrument Co., Moline, IL, EUA), con ácido benzoico como estándar. El fósforo se digirió con ácido nítrico concentrado, según el método (II)A (AMC, 1960) en una solución 1N de HCl seguido de espectrometría ICP (Optima 5300DV, PerkinElmer, Shelton, CT, EUA).

Los datos se sometieron a un ANOVA (Proc GLM, SAS Inst. Inc., Cary, NC, EUA) en el que el grupo, sala, sexo, semana y dieta se incluyeron en el modelo. No hubo interacciones semana x dieta, por lo tanto, solamente se presentan los efectos principales de la dieta y la semana, con las medias como LSMEANS. Además, se presentan sólo las comparaciones previamente planificadas entre cerdos alimentados con cada aditivo alimenticio y los alimentados con la dieta que no contenía aditivos. En cada experimento se consideró al cerdo como la unidad experimental.



<b>Cuadro 9. Caracterización de aditivos exógenos de alimentos balanceados</b>				
Nombre comercial	Fabricación	Lote # Fecha	Identificación de la actividad	Actividad declarada
Allzyme SSF	Alltech, Lexington, KY	215612/460369 02/02/2008	No proporcionado (NP)	NP
Bactocell	Lallemand Animal Nutrition, Milwaukee, WI	8022202 03/03/2008	Pediococcus acidilactici	10 × 10 <sup>9</sup> UFC/g
BioPlus 2B	Chr. Hansen, Milwaukee, WI	2821721 31/01/2008	Bacillus licheniformis y Bacillus subtilis	2.2 × 10 <sup>9</sup> UFC/g
Econase XT25	AB Enzymes, Darmstadt, Alemania	7855 19/12/2007	Endo-1,4-β-xilanasas	160,000 U/g
Hemicel	ChemGen Corp., Gaithersburg, MD	NP NP	Hemicelulasa	1.4 × 10 <sup>6</sup> U/g
Porzyme 9302	Danisco Animal Nutrition, Marlborough, Reino Unido	4320849505 11/08/2008	Xilanasas	8,000 U/g
Releez-a-zyme 4M	Prince Agri Products Inc., Quincy, IL	31-2047 06/05/2008	β-glucanasa Proteasa	440 U/g 11 U/g
Rovabio AP10%	Adisseo, Antony, Francia	NP NP	Endo-1,4-β-xilanasas Endo-1,3(4)- β-glucanasa	2,200 U/g 200 U/g
Roxazyme G2 G	DSM Nutritional Products Inc., Parsippany, NJ	NP NP	Endo-1,4-β-glucanasa Endo-1,3(4)- β-glucanasa Endo-1,4-β-xilanasas	8,000 U/g 18,000 U/g 26,000 U/g
Levadura XPC	Diamond V Mills Inc., Cedar Rapids, IA	300308 NP	Cultivo de levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	NP

<b>Cuadro 10. Composición de las dietas experimentales, con base en como son.</b>		
<u>Ingrediente</u>	<u>Iniciador</u>	<u>Finalización</u>
Maíz	41.69	61.98
Harina de soya	16.94	4.85
Granos secos de destilería con solubles	30.00	30.00
Suero deshidratado	5.00	-
Harina de pescado	2.50	-
Aceite de soya	0.52	-
Fosfato dicálcico (21% P)	0.34	-
Carbonato de calcio	0.96	1.11
Cloruro de sodio	0.35	0.35
Premezcla de vitaminas <sup>1</sup>	0.30	0.25
Premezcla de minerales traza <sup>2</sup>	0.11	0.10
L-lisina·HCl	0.27	0.33
L-triptofano	0.02	0.03
Maíz descascarillado y desgerminado	0.45	0.475
Antibiótico <sup>3</sup>	0.05	0.025
Dióxido de titanio	0.50	0.50
TOTAL	100.00	100.00

<sup>1</sup> Proporcionó lo siguiente por kilogramo de dieta de iniciación y finalización, respectivamente: vitamina A, 6,614/5,512 UI; vitamina D<sub>3</sub>, 1,653/1,378 UI; vitamina E, 33/28 UI; vitamina B<sub>12</sub>, 0.033/0.028 mg; riboflavina, 10/8 mg; niacina, 50/41 mg; ácido pantoténico, 26/22 mg.

<sup>2</sup> Proporcionó lo siguiente por kilogramo de dieta de iniciación y finalización, respectivamente: Cu (óxido), 11/9 mg; Fe (sulfato), 105/88 mg; I (Cal), 1.2/1.0 mg; Mn (óxido) 36/30 mg; Zn (óxido), 90/75 mg; Se (Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>), 0.3 mg.

<sup>3</sup>Premezcla de tilosina.

## Resultados y discusión

### Cerdos lactantes

En el experimento de iniciación, la mayoría de los coeficientes de digestibilidad de los nutrientes no se vieron afectados por la adición de enzimas, levaduras o cultivos microbianos (**cuadro 11**). Al momento de escribir este capítulo, aún no se habían terminado las determinaciones de digestibilidad de fósforo. La digestibilidad de nitrógeno y S se mejoraron con la adición de Roxazyme, pero no se vieron afectados los otros nutrientes. De la misma manera, Rovabio y BactoCel mejoraron la digestibilidad del S, pero todos los otros nutrientes estuvieron sin verse afectados. No queda claro qué valor, si es que lo hay, dé una mejor digestibilidad del S que pudiera suministrarse en estas dietas. En contraste, Porzyme y Hemicel disminuyeron la digestibilidad de la FND, pero no afectaron otros coeficientes de digestibilidad de nutrientes. Esto fue un resultado inesperado, ya que las etiquetas de los productos de estos aditivos indican la presencia de enzimas que deben ser eficaces para mejorar la digestibilidad de la fibra del maíz. La suplementación de Econase, Allzyme y Relezyme disminuyó la digestibilidad de varios nutrientes. Sin embargo, a pesar de los impactos positivos o negativos que las enzimas, levaduras y cultivos microbianos tengan sobre la digestibilidad de varios nutrientes, no hubo impacto sobre el desempeño de los cerdos (**cuadro 13**). La digestibilidad de la EB, N, C, S, FAD, FND y extracto etéreo aumentaron de la semana 1 a la 5 ( $P < 0.01$ ). Estos resultados indican que el tubo gastrointestinal en el cerdo de 12 kg se adapta a la fibra dietética de los DDGS y que mejora la digestibilidad de nutrientes con una alimentación continua con el tiempo. Este hallazgo es constante con el incremento en la capacidad del sistema digestivo en los cerdos en crecimiento de digerir nutrientes (especialmente la fibra) conforme aumenta la edad.

### Cerdos en finalización

En el experimento de finalización, se hizo notar muy poco impacto de las enzimas, levaduras o cultivos microbianos sobre la mayoría de los coeficientes de digestibilidad de nutrientes (**cuadro 12**). Las mejoras en las digestibilidades se hicieron notar con la adición de Roxazyme (extracto etéreo), Allzyme (FAD y FND) y BioPlus2B (FAD), pero no se vieron afectadas las digestibilidades de los otros nutrientes. Sin embargo, el mejoramiento de la digestibilidad de la fibra de la adición de Allzyme y BioPlus2B no resultó en una mejor digestibilidad de la energía bruta. La suplementación de Porzyme, Hemicel, Relezyme, levadura XPC y BactoCel mostraron impactos negativos sobre la digestibilidad de varios nutrientes. A diferencia de las respuestas de la digestibilidad de nutrientes observadas en los cerdos en iniciación, la digestibilidad de nutrientes no mejoró de la semana 1 a la 5. Al momento de escribir este capítulo, aún no se habían terminado las determinaciones de digestibilidad de fósforo. De la misma forma que los resultados del estudio de iniciación, no hubo impacto de las enzimas, levaduras o cultivos microbianos sobre el desempeño de los cerdos (**cuadro 14**).

Muchos de los productos enzimáticos o aditivos evaluados en este estudio contenían ingredientes que debieron haber sido eficaces en mejorar la digestibilidad de la energía y de la fibra en las dietas con 30% de DDGS. Debido a que no confirmamos la actividad especificada

de enzimas y principios activos de estos aditivos, es posible que no contengan la suficiente actividad para brindar mejoras significativas en la digestibilidad de muchos de los nutrientes evaluados. Otra posible razón por la falta de desempeño del crecimiento y de respuestas notables en la digestibilidad de nutrientes se pudo haber debido a la fuente de DDGS incluidos en la dieta. Urriola et al. (2010) mostraron que la digestibilidad aparente total del tubo digestivo de la fibra dietética puede variar de 23 a 55% entre fuentes de DDGS. Tal vez, la fuente de DDGS utilizada en este estudio era baja en fibra digestible, y por lo tanto, no se pudo lograr la capacidad de los productos evaluados para afectar la digestibilidad de nutrientes. Finalmente, ya que estas dietas se formularon para cubrir las necesidades de nutrientes de los cerdos en cada fase de crecimiento evaluada, las mejoras o disminuciones en la digestibilidad de nutrientes que se dieron fueron muy pequeñas como para influir en el desempeño general.

**Cuadro 11. Digestibilidad aparente de nutrientes (%) de cerdos en iniciación alimentados con aditivos alimenticios exógenos<sup>1</sup>.**

Tratamiento <sup>2</sup>	EB	N	C	S	P	FAD	FND	EE
Control	79.2	79.9	79.9	78.5	ND	40.1	36.6	64.2
Roxazyme	79.6	81.1	80.3	79.9	ND	38.8	39.1	63.3
Valor P <sup>3</sup>	0.40	0.10	0.42	0.06	ND	0.58	0.16	0.61
Porzyme	79.0	79.4	79.7	78.8	ND	36.3	33.2	64.9
Valor P <sup>3</sup>	0.67	0.47	0.61	0.66	ND	0.13	0.07	0.67
Econase	78.3	78.7	79.1	77.0	ND	35.6	32.5	62.8
Valor P <sup>3</sup>	0.07	0.07	0.10	0.04	ND	0.06	0.03	0.45
Rovabio	80.0	80.7	80.7	79.9	ND	38.1	36.5	64.4
Valor P <sup>3</sup>	0.12	0.25	0.14	0.06	ND	0.39	0.97	0.88
Hemicel	78.9	79.0	79.6	79.0	ND	36.3	33.4	65.5
Valor P <sup>3</sup>	0.53	0.17	0.48	0.49	ND	0.12	0.09	0.45
Allzyme	76.5	77.6	77.4	77.5	ND	30.6	27.3	61.5
Valor P <sup>3</sup>	0.01	0.01	0.01	0.17	ND	0.01	0.01	0.14
Releezyme	76.9	77.4	77.7	77.3	ND	30.0	29.9	61.1
Valor P <sup>3</sup>	0.01	0.01	0.01	0.09	ND	0.01	0.01	0.08
Levadura	79.6	80.1	80.3	79.4	ND	39.0	36.4	65.9
XVC								
Valor P <sup>3</sup>	0.40	0.81	0.46	0.26	ND	0.63	0.95	0.33
BactoCel	80.0	80.4	80.3	80.1	ND	39.4	39.3	64.9
Valor P <sup>3</sup>	0.14	0.55	0.42	0.03	ND	0.76	0.15	0.66
BioPlus2B	79.5	80.3	80.0	79.6	ND	37.7	35.0	65.0
Valor P <sup>3</sup>	0.59	0.64	0.85	0.17	ND	0.31	0.39	0.64
Valor P <sup>4</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	ND	0.01	0.01	0.08
SE <sup>4</sup>	0.35	0.48	0.34	0.52	ND	1.714	1.318	1.221
Sem. 1 <sup>5</sup>	76.9	76.0	77.6	75.4	ND	31.4	28.5	70.6
Sem. 3	79.2	80.1	79.8	79.3	ND	36.2	35.8	61.9
Sem. 5	80.5	82.4	81.2	81.8	ND	42.0	39.1	59.4
Valor P <sup>6</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	ND	0.01	0.01	0.01
SE <sup>6</sup>	0.18	0.25	0.18	0.27	ND	0.93	0.69	0.64

<sup>1</sup> Digestibilidad aparente calculada mediante metodología de marcador indirecto. Hubo de 16 a 18 cerdos

alimentados individualmente por tratamiento de la dieta.

<sup>2</sup> Roxazyme G2, 200 g/T (DSM Nutritional Products Inc., Parsippany, NJ); Porzyme 9302, 227 g/T (Danisco Animal Nutrition, Marlborough, Reino Unido); Econase XT25, 136 g/T (AB Enzymes, Darmstadt, Alemania); Rovabio AP10, 454 g/T (Adisseo, Antony, Francia); Hemicel, 454 g/T (ChemGen Corp., Gaithersburg, MD); Allzyme SSF, 454 g/T (Alltech, Lexington, KY); Release, 454 g/T (Prince Agri Products Inc., Quincy, IL); XPC Yeast, 1,816 g/T (Diamond V Mills Inc., Cedar Rapids, IA); BactoCel, 100 g/T (Lallemand Animal Nutrition, Milwaukee, WI); BioPlus 2B, 454 g/t (Chr. Hansen, Milwaukee, WI).

<sup>3</sup> El 'valor P' representa la comparación del aditivo alimenticio con la dieta control.

<sup>4</sup> P modelo y valor SE del efecto general de la dieta.

<sup>5</sup> Peso corporal inicial, semana 1, 3 y 5 de 11.88, 13.96, 23.23 y 33.26 kg, respectivamente..

<sup>6</sup> P modelo y valor SE por semana.

**Cuadro 12. Digestibilidad aparente de nutrientes (%) de cerdos en finalización alimentados con aditivos alimenticios exógenos<sup>1</sup>.**

Tratamiento <sup>2</sup>	<u>EB</u>	<u>N</u>	<u>C</u>	<u>S</u>	<u>P</u>	<u>FAD</u>	<u>FND</u>	<u>EE</u>
Control	81.4	83.8	82.3	82.7	ND	52.9	42.1	46.5
Roxazyme	80.9	81.9	81.7	81.9	ND	49.8	38.1	49.9
Valor P <sup>3</sup>	0.45	0.12	0.35	0.27	ND	0.15	0.14	0.08
Porzyme	79.4	80.9	80.4	80.1	ND	43.8	34.0	44.4
Valor P <sup>3</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	ND	0.01	0.01	0.28
Econase	80.8	82.7	81.8	83.1	ND	50.8	42.0	46.7
Valor P <sup>3</sup>	0.40	0.15	0.45	0.55	ND	0.33	0.95	0.82
Rovabio	81.3	83.7	82.3	82.8	ND	52.7	43.5	45.5
Valor P <sup>3</sup>	0.98	0.92	0.96	0.88	ND	0.93	0.62	0.62
Hemicel	80.7	82.8	81.6	82.4	ND	48.3	37.4	44.3
Valor P <sup>3</sup>	0.30	0.20	0.27	0.74	ND	0.03	0.08	0.25
Allzyme	82.1	84.2	83.00	83.3	ND	56.6	46.9	48.1
Valor P <sup>3</sup>	0.27	0.61	0.29	0.38	ND	0.08	0.08	0.41
Relezyme	79.5	80.7	80.4	79.9	ND	50.0	35.4	38.1
Valor P <sup>3</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	ND	0.18	0.02	0.01
Levadura XVC	80.1	82.5	81.1	82.1	ND	50.1	38.4	43.1
Valor P <sup>3</sup>	0.05	0.10	0.05	0.36	ND	0.19	0.18	0.08
BactoCel	80.8	82.3	82.0	82.4	ND	50.1	39.5	49.6
Valor P <sup>3</sup>	0.40	0.05	0.57	0.73	ND	0.19	0.34	0.11
BioPlus2B	81.7	83.2	82.7	82.6	ND	56.3	45.4	38.6
Valor P <sup>3</sup>	0.58	0.46	0.49	0.91	ND	0.10	0.23	0.01
Valor P <sup>4</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	ND	0.01	0.01	0.01
SE <sup>4</sup>	0.45	0.55	0.45	0.47	ND	1.50	1.95	1.38
Sem. 1 <sup>5</sup>	80.6	82.3	81.5	81.7	ND	50.7	40.1	45.3
Sem. 3	80.8	82.5	81.8	82.3	ND	51.7	40.5	44.9
Sem. 5	81.0	83.0	82.0	82.3	ND	50.8	40.2	44.8
Valor P <sup>6</sup>	0.43	0.17	0.39	0.17	ND	0.62	0.96	0.89
SE <sup>6</sup>	0.24	0.30	0.24	0.25	ND	0.80	1.04	0.73

<sup>1</sup> Digestibilidad aparente calculada mediante metodología de marcador indirecto. Hubo 8 cerdos alimentados individualmente por tratamiento de dieta.

<sup>2</sup> Roxazyme G2, 200 g/T (DSM Nutritional Products Inc., Parsippany, NJ); Porzyme 9302, 227 g/T

(Danisco Animal Nutrition, Marlborough, Reino Unido); Econase XT25, 136 g/T (AB Enzymes, Darmstadt, Alemania); Rovabio AP10, 454 g/T (Adisseo, Antony, Francia); Hemicel, 454 g/T (ChemGen Corp., Gaithersburg, MD); Allzyme SSF, 454 g/T (Alltech, Lexington, KY); Release, 454 g/T (Prince Agri Products Inc., Quincy, IL); XPC Yeast, 908 g/T (Diamond V Mills Inc., Cedar Rapids, IA); BactoCel, 100 g/T (Lallemand Animal Nutrition, Milwaukee, WI); BioPlus 2B, 454 g/t (Chr. Hansen, Milwaukee, WI).

<sup>3</sup> El 'valor P' representa la comparación del aditivo alimenticio con la dieta control.

<sup>4</sup> P modelo y valor SE del efecto general de la dieta.

<sup>5</sup> Peso corporal inicial, semana 1, 3 y 5 de 98.40, 104.90, 119.52 y 132.20 kg, respectivamente..

<sup>6</sup> P modelo y valor SE por semana.

**Cuadro 13. Desempeño de cerdos alimentados con aditivos alimenticios exógenos<sup>1</sup>.**

Tratamiento <sup>2</sup>	Iniciador, 12 – 33 kg peso corp.			Finalizador, 12 – 132 kg peso corp.		
	GDP, kg	CPDA, kg	G:A	GDP, kg	CPDA, kg	G:A
Control	0.640	1.126	0.572	0.999	3.032	0.333
Roxazyme	0.638	1.100	0.583	0.975	3.084	0.321
Porzyme	0.642	1.131	0.570	0.979	3.077	0.318
Econase	0.653	1.133	0.578	1.051	3.240	0.325
Rovabio	0.648	1.148	0.565	0.906	2.985	0.302
Hemicel	0.629	1.149	0.551	0.933	3.239	0.292
Allzyme	0.651	1.140	0.574	0.961	3.118	0.311
Relezyme	0.639	1.109	0.579	0.983	3.115	0.311
Levadura XVC	0.653	1.157	0.568	0.862	2.930	0.294
BactoCel	0.615	1.083	0.568	1.007	3.084	0.328
BioPlus2B	0.645	1.162	0.559	0.988	3.179	0.315
<i>Valor P</i>	<i>0.87</i>	<i>0.70</i>	<i>0.72</i>	<i>0.60</i>	<i>0.90</i>	<i>0.56</i>
<i>SE</i>	<i>0.016</i>	<i>0.030</i>	<i>0.011</i>	<i>0.057</i>	<i>0.141</i>	<i>0.014</i>

<sup>1</sup> Rendimiento del periodo de 5 semanas. Hubo de 16 - 18 y 8 cerdos alimentados individualmente por tratamiento en la fase de iniciación y finalización, respectivamente.

<sup>2</sup> Roxazyme G2, 200 g/T (DSM Nutritional Products Inc., Parsippany, NJ); Porzyme 9302, 227 g/T (Danisco Animal Nutrition, Marlborough, Reino Unido); Econase XT25, 136 g/T (AB Enzymes, Darmstadt, Alemania); Rovabio AP10, 454 g/T (Adisseo, Antony, Francia); Hemicel, 454 g/T (ChemGen Corp., Gaithersburg, MD); Allzyme SSF, 454 g/T (Alltech, Lexington, KY); Release, 454 g/T (Prince Agri Products Inc., Quincy, IL); XVC Yeast, 1,816 g/T iniciador o 908 g/T finalizador (Diamond V Mills Inc., Cedar Rapids, IA); BactoCel, 100 g/T (Lallemand Animal Nutrition, Milwaukee, WI); BioPlus 2B, 454 g/t (Chr. Hansen, Milwaukee, WI).

## Conclusiones

Durante décadas se ha estudiado la aplicación de enzimas, en un esfuerzo por mejorar la digestibilidad de nutrientes de ingredientes de origen vegetal para alimentos balanceados porcinos y avícolas. Sin embargo, con una gran diversidad y concentración de características químicas que hay entre los ingredientes vegetales, las mejoras en la digestibilidad de nutrientes y desempeño de los cerdos de la adición de enzimas exógenas a las dietas de crecimiento depende del conocimiento de estas características con relación a la actividad enzimática. Básicamente, la enzima debe corresponder al sustrato objetivo, debe haber la necesidad de un "cóctel" de enzimas para descomponer de manera eficaz las matrices complejas de estructuras de carbohidratos fibrosos y debe haber algo de un papel negativo que estos sustratos tengan sobre la digestibilidad de nutrientes o el consumo voluntario de alimento. Con esta relación inversa entre el contenido de fibra y la digestibilidad de energía bien descritas de varios ingredientes de alimentos balanceados, es lógico que el desarrollo de enzimas que degraden la fibra, y por lo tanto mejoren la digestibilidad de la energía o el consumo voluntario de alimento, tengan una alta probabilidad de que sea benéfico, tanto metabólica como económicamente. Los resultados de nuestro estudio indican que algunos productos enzimáticos o aditivos

evaluados presentan efectos variables, pero pequeños, sobre la digestibilidad de nutrientes, pero ninguno de estos productos fue eficaz en mejorar el desempeño del crecimiento de los cerdos en la iniciación y finalización cuando se alimentaron dietas nutricionalmente adecuadas de maíz y soya con 30% de DDGS.

## Bibliografía

- Adeola, O., J. S. Sands, P. H. Simmins, and H. Schulze. 2004. The efficacy of an *Escherichia coli*-derived phytase preparation. *J Anim. Sci.* 82:2657-2666.
- Adeola, O., O. A. Olukosi, J. A. Jendza, R. N. Dilger, and M. R. Bedford. 2006. Response of growing pigs to *Peniophora lycii*- and *Escherichia coli*-derived phytases or varying ratios of calcium to total phosphorus. *Anim. Sci.* 82:637-644.
- Aimonen, E.M.J., and M. Nasi. 1991. Replacement of barley by oats and enzyme supplementation in diets for laying hens. 1. Performance and balance trial results. *Acta Agric. Scand.* 41: 179-192.
- Anderson, P. V. 2009. Energy determination of corn co-products in finishing pigs and the use of an *in vitro* organic matter digestibility assay to predict *in vivo* energy. Iowa State University.
- Annison, G., and M. Choct. 1991. Anti-nutritive activities of cereal non-starch polysaccharides in broiler diets and strategies minimizing their effects. *World's Poul. Sci. J.* 47: 232-242.
- Anugwa, F.O.I., V. H. Varel, J. S. Dickson, W. G. Pond, and L. P. Krook. 1989. Effects of dietary fiber and protein concentration on growth, feed efficiency, visceral organ weights and large intestine microbial populations of swine. *J. Nutr.* 119:879-886.
- Bach Knudsen, K.E. and I. Hansen. 1991. Gastrointestinal implications in pigs of wheat and oat fractions. 1. Digestibility and bulking properties of polysaccharides and other major constituents. *Br. J. Nutr.* 65:217-232.
- Bardon, T. and J. Fioramonti. 1983. Nature of the effects of bran on digestive transit time in pigs. *Br. J. Nutr.* 50:685-690.
- Beaulieu, A. D., M. R. Bedford, and J. F. Patience. 2007. Supplementing corn or corn-barley diets with an *E. coli* derived phytase decreases total and soluble P output by weanling and growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 87:353-364.
- Bedford, M. R. 2000. Exogenous enzymes in monogastric nutrition-their current value and future benefits. *Anim. Feed Sci. Tech.* 86: 1-13.
- Borel, P., D. Lairon, M. Senft, M. Chautan, and H. Lafont. 1989. Wheat bran and wheat germ: effect on digestion and intestinal absorption of dietary lipids in the rat. *Am. J. Clin. Nutr.* 49:1192-1202.
- Brady, S. M., J. J. Callan, D. Cowan, M. McGrane, and J. V. O'Doherty. 2002. Effect of phytase inclusion and calcium/phosphorus ratio on the performance and nutrient retention of grower-finisher pigs fed barley/wheat/soya bean meal-based diets. *J. Sci. Food Agric.* 82:1780-1790.
- Brenes, A., R. R. Marquardt, W. Guenter, and B. A. Rotter. 1993a. Effect of enzyme supplementation on the nutritional value of raw, autoclaved, and dehulled lupins (*Lupinus albus*) in chicken diets. *Poult. Sci.* 72: 2281.
- Brenes, A, B. A. Rotter, R. R. Marquardt, and W. Guenter. 1993b. The nutritional value of raw, autoclaved and dehulled peas (*Pisum sativum* L.) in chicken diets as affected by enzyme supplementation. *Can. J. Anim. Sci.* 73: 605-614.
- Chesson, A. 1987. Supplementary enzymes to improve the utilization of pig and poultry diets. In: *Recent Advances in Animal Nutrition* (Eds W. Haresign and D.J.A. Cole), Butterworths, London, pp. 71-89.
- Cowan, W. D. 1993. Understanding the manufacturing, distribution, application, and overall quality of enzymes in poultry feeds. *J. Appl. Poult. Res.* 2: 93-99.
- Fadel, J. G., R. K. Newman, C. W. Newman, and H. Graham. 1989. Effects of baking hullless barley on the digestibility of dietary components as measured at the ileum and in the feces in pigs. *J. Nutr.* 119:722-726.
- Farrell, D. J. and K. A. Johnson. 1970. Utilization of cellulose by pigs and its effects on caecal function. *Anim. Prod.* 14:209-217.



- Giusi-Perier, A., M. Fiszlewicz, and A. Rérat. 1989. Influence of diet composition on intestinal volatile fatty acid and nutrient absorption in unanesthetized pigs. *J. Anim. Sci.* 67:386-402.
- Goodlad, J. S. and J. C. Mathers. 1991. Digestion by pigs of non-starch polysaccharides in wheat and raw peas (*Pisum sativum*) fed in mixed diets. *Br. J. Nutr.* 65:259-270.
- Graham, H., J. G. Fadel, C. W. Newman, and R. K. Newman. 1989. Effect of pelleting and  $\beta$ -glucanase supplementation on the ileal and fecal digestibility of a barley-based diet in the pig. *J. Anim. Sci.* 67: 1293-1298.
- Grieshop, C.M., D.E. Reece, G. C. Fahey. 2001. Nonstarch polysaccharides and oligosaccharides in swine nutrition. Pages 107-130 in: *Swine Nutrition*. 2nd eds. A.J. Lewis and L.L. Southern, eds. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Howard, M. D., D. T. Gordon, L. W. Pace, K. A. Garleb, and M. S. Kerley. 1995. Effect of dietary supplementation of fructooligosaccharides on colonic microbiota populations and epithelial cell proliferation in neonatal pigs. *J. Pediatr. Gastroenterol. Nutr.* 21:297-303.
- Hubener, K., W. Vahjen, and O. Simon. 2002. Bacterial responses to different dietary cereal types and xylanase supplementation in the intestine of broiler chicken. *Arch. Anim. Nutr.* 56: 167-187.
- Imoto, S. and S. Namioka. 1978. VFA production in the pig large intestine. *J. Anim. Sci.* 47:467-478.
- Inbarr, J., M. Schmitz, and F. Ahrens. 1993. Effect of adding fibre and starch degrading enzymes to a barley/wheat based diet on performance and nutrient digestibility in different segments of the small intestine of early weaned pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.* 44: 113-127.
- Jendza, J. A., R. N. Dilger, S. A. Adedokun, J. S. Sands, and O. Adeola. 2005. *Escherichia coli* phytase improves growth performance of starter, grower, and finisher pigs fed phosphorus-deficient diets. *J. Anim. Sci.* 83:1882-1889.
- Jendza, J. A., R. N. Dilger, J. S. Sands, and O. Adeola. 2006. Efficacy and equivalency of an *Escherichia coli*-derived phytase for replacing inorganic phosphorus in the diets of broiler chickens and young pigs. *J. Anim. Sci.* 84:3364-3374.
- Ji, F., D.P. Casper, P. K. Brown, D. A. Spangler, K. D. Haydon, and J. E. Pettigres. 2008. Effects of dietary supplementation of an enzyme blend on the ileal and fecal digestibility of nutrients in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 86:1533-1543.
- Jin, L., L. P. Reynolds, D. A. Redmer, J. S. Caton, and J. D. Crenshaw. 1994. Effects of dietary fiber on intestinal growth, cell proliferation, and morphology in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72:2270-2278.
- Johansen, H. N., K. E. Bach Knudsen, B. Sandström, and F. Skjøth. 1996. Effects of varying content of soluble dietary fiber from wheat flour and oat milling fractions on gastric emptying in pigs. *Br. J. Nutr.* 75:339-351.
- Jørgensen, H., X. Q. Zhao, and B. O. Eggum. 1996. The influence of dietary fiber and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs. *Br. J. Nutr.* 75:365-378.
- Kass, M. L. P. J. Van Soest, W. G. Pond, B. Lewis, and R. E. McDowell. 1980. Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. I. Apparent digestibility of diet components in specific segments of the gastrointestinal tract. *J. Anim. Sci.* 50:175-191.
- Kerr, B. J., T. E. Weber, P. S. Miller, and L. L. Southern. 2010. Effect of phytase on apparent total tract digestibility of phosphorus in corn-soybean meal diets fed to finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:238-247.
- Kim, S. W., D. A. Knabe, K. J. Hong, and R. A. Easter. 2003. Use of carbohydrases in corn-soybean meal-based nursery diets. *J. Anim. Sci.* 81:2496-2504.
- Kornegay, E. T. and R. J. Moore. 1986. Dietary fiber sources may affect mineral use in swine. *Feedstuffs.* 58:36-49.

- Latymer, E. A. and A. G. Low. 1987. Tissue incorporation and excretion of  $^{14}\text{C}$  in pigs after injection of  $[1-^{14}\text{C}]$  or  $[2-^{14}\text{C}]$  propionic acid into the caecum. *Proc. Nutr. Soc.* 43:12A.
- Leathers, T.O. 1998. Upgrading fuel ethanol coproducts. *Soc. Ind. Microbial News* 48:210-217.
- Li, S., W. C. Sauer, R. Mosenthin, and B. Kerr. 1996. Effect of  $\beta$ -glucanase supplementation of cereal-based diets for starter pigs on the apparent digestibilities of dry matter, crude protein and energy. *Anim. Feed Sci. Tech.* 59:223-231.
- Liao, S. F., A. K. Kies, W. C. Sauer, Y. C. Zhang, M. Cervantes, and J. M. He. 2005. Effect of phytase supplementation to a low- and a high-phytate diet for growing pigs on the digestibilities of crude protein, amino acids, and energy. *J. Anim. Sci.* 83:2130-2136.
- Lindemann, M. D., G. A. Apgar, G. L. Cromwell, P. H. Simmins, and A. Owusu-Asiedu. 2009. Supplementation with phytase and xylanase can increase energy availability in swine diets containing corn distillers dried grains with solubles (DDGS). *J. Anim. Sci.* 87(E-Suppl. 2): 69. (Abstr.)
- Mooser, A. J., and T.A.T.G. van Kempen. 2002. Dietary fibre level and enzyme inclusion affects nutrient digestibility and excreta characteristics in grower pigs. *J. Sci. Food Agric.* 82: 1606-1613.
- Muley, N. S., E. van Heugten, A. J. Mooser, K. D. Rausch, and T.A.T.G. van Kempen. 2007. Nutritional value for swine of extruded corn and corn fractions obtained after dry milling. *J. Anim. Sci.* 85: 1695-1701.
- Noblet, J., H. Fortune, X. S. Shi, and S. Dubois. 1994. Prediction of net energy value of feeds for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 72:344-354.
- Nonn, H., H. Kluge, H. Jeroch, and J. Broz. 1999. Effects of carbohydrate-hydrolysing enzymes in weaned piglets fed diets based on peas and wheat. *Agribiol.Res.* 52: 137-144.
- NRC. 2007. Page 206 in *Nutrient Requirements of Horses*. 6th rev. ed. Natl. Acad. Press. Washington, D.C.
- NRC. 1998. Pages 3-15 in *Nutrient Requirements of Swine*. 9th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, D.C.
- Nyachoti, C. M., S. D. Arntfield, W. Guenter, S. Cenkowski, and F. O. Opapeju. 2006. Effect of micronized pea and enzyme supplementation on nutrient utilization and manure output in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 84: 2150-2156.
- Olukosi, O. A., J. S. Sands, and O. Adeola. 2007. Supplementation of carbohydrases or phytase individually or in combination to diets for weanling and growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 85:1702-1711.
- Omogbenigun, F. O., C. M. Nyachoti, and B. A. Slominski. 2004. Dietary supplementation with multienzyme preparations improved nutrient utilization and growth performance in weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 82: 1053-1061.
- Pedersen, C., M. G. Boersma, and H. H. Stein. 2007. Digestibility of energy and phosphorus in ten samples of distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85: 1168-1176.
- Petty, L. A., S. D. Carter, B. W. Senne, and J. A. Shriver. Effects of beta-mannanase addition to corn-soybean meal diets on growth performance, carcass traits, and nutrient digestibility of weanling and growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 80:1012-1019.
- Poel, A.F.B.van der, S. Gravendeel, D. J. van Kleef, A.J.M. Jansman, and B. Kemp. 1992. Tannin-containing fava beans (*Vicia faba* L.): effects of methods of processing on ileal digestibility of protein and starch for growing pigs. *Anim. Feed Sci. Tech.* 36: 205-214.
- Potkins, Z. V., T.L.J. Lawrence, and J. R. Thomlinson. 1991. Effects of structural and non-structural polysaccharides in the diet of the growing pig on gastric emptying rate and rate of passage of digesta to the terminal ileum and through the total gastrointestinal tract. *Br. J. Nutr.* 65:391-413.
- Rainbird, A.L. 1986. Effect of guar gum on gastric emptying of test meals of varying energy content in growing pigs. *Br. J. Nutr.* 55:99-109.

- Rainbird, A. L. and A. G. Low. 1986. Effect of various types of dietary fiber on gastric emptying in growing pigs. *Br. J. Nutr.* 55:111-121.
- Rérat, A., M. Fiszlewicz, A. Giusi, and P. Vaugelade. 1987. Influence of meal frequency on postprandial variations in the production and absorption of volatile fatty acids in the digestive tract of conscious pigs. *J. Anim. Sci.* 64:448-456.
- Rijnen, M. M., J. W. Heetkamp, M. W. Verstegen, and J. W. Schrama. 1999. Effects of dietary fermentable carbohydrates on physical activity and energy metabolism in group-housed sows. *J. Anim. Sci.* 77(Suppl. 1):182. (Abstr.)
- Saleh, F., M. Tahir, A. Ohtsuka, and K. Hayashi. 2005. A mixture of pure cellulose, hemicellulase and pectinase improved broiler performance. *Br. Poult. Sci.* 46: 602-606.
- Schulze, H., P. van Leeuwen, M.W.A. Verstegen, and J.W.O. van den Berg. 1995. Dietary level and source of neutral detergent fiber and ileal endogenous nitrogen flow in pigs. *J. Anim. Sci.* 73:441-448.
- Selvendran, R.R. and J.A. Robertson. 1990. The chemistry of dietary fibre: a holistic view of the cell wall matrix. Pages 27-43 in *Dietary Fibre: Chemical and Biological Aspects*. D.A.T. Southgate, K. Waldron, I.T. Johnson, and G.R. Fenwick, eds. Royal Society of Chemistry Special Publication No 83. Royal Society of Chemistry, Cambridge.
- Shelton, J. L., L. L. Southern, T. D. Bidner, M. A. Persica, J. Braun, B. Cousins and F. McKnight. 2003. Effect of microbial phytase on energy availability and lipid and protein deposition in growing swine. *J. Anim. Sci.* 81:2503-2062.
- Slominski, B. A. 1991. Carbohydrates in feedstuffs in relation to dietary enzyme use. *Proc. 12<sup>th</sup> Western Nutr. Conf.*, Sept 11, Winnipeg, pp. 140-162.
- Spiehs, M. J., M. H. Whitney, and G. C. Shurson. 2002. Nutrient database for distiller's dried grains with solubles produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. *J. Anim. Sci.* 80: 2639-2645.
- Spencer, J. D., G. I. Petersen, A. M. Gaines, and N. R. Augspurger. 2007. Evaluation of different strategies for supplementing distiller's dried grains with solubles (DDGS) to nursery pig diets. *J. Anim. Sci.* 85 (Suppl. 2): 169.
- Stanogias G. and G.R. Pearce. 1985. The digestion of fibre by pigs. 3. Effects of the amount and type of fibre on physical characteristics of segments of the gastrointestinal tract. *Br. J. Nutr.* 53:537-548.
- Stein, H. H., and G. C. Shurson. 2009. The use and application of distillers dried grains with solubles in swine diets. *J. Anim. Sci.* 87:1292-1303.
- Teitge, D. A., G. L. Campbell, H. L. Classen, and P. A. Thacker. 1991. Heat pretreatment as a means of improving the response to dietary pentosanase in chicks fed rye. *Can. J. Anim. Sci.* 71: 507-513.
- Thacker, P. A., and G. L. Campbell. 1999. Performance of growing/finishing pigs fed untreated or micronized hullless barley-based diets with or without  $\beta$ -glucanase. *J. Anim. Feed Sci.* 8: 157-170.
- Thacker, P. A., G. L. Campbell, and J.W.D. GrootWassink. 1992. Effect of salinomycin and enzyme supplementation on nutrient digestibility and the performance of pigs fed barley- or rye-based diets. *Can. J. Anim. Sci.* 72: 117-125.
- Urriola, P.E., G.C. Shurson, and H.H. Stein. Digestibility of dietary fiber in distillers coproducts fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88:2373-2381.
- Veum, T. L., D. W. Dollinger, C. E. Buff, and M. R. Bedford. 2006. A genetically engineered *Escherichia coli* phytase improved nutrient utilization, growth performance, and bone strength of young swine fed diets deficient in available phosphorus. *J. Anim. Sci.* 84:1147-1158.
- Viveros, A., A. Brenes, M. Pizarro, and M. Castano. 1994. Effect of enzyme supplementation of a diet based on barley, and autoclave treatment, on apparent digestibility, growth performance and gut morphology of broilers. *Anim. Feed Sci. Tech.* 48: 237-251.

- Weber, T. E., C. J. Ziemer, and B. J. Kerr. 2008. Effects of adding fibrous feedstuffs to the diet of young pigs on growth performance, intestinal cytokines, and circulating acute-phase proteins. *J. Anim. Sci.* 86:871-881.
- Wenk, C. 2001. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Anim. Feed Sci. Tech.* 90:21-33.
- Whitney, M. H., and G. C. Shurson. 2004. Growth performance of nursery pigs fed diets containing increasing levels of corn distiller's dried grains with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant. *J. Anim. Sci.* 82: 122-128.
- Whitney, M. H., G. C. Shurson, L. J. Johnston, D. M. Wulf, and B. C. Shanks. 2006. Growth performance and carcass characteristics of grower-finisher pigs fed high-quality corn distillers dried grain with solubles originating from a modern Midwestern ethanol plant. *J. Anim. Sci.* 84: 3356-3363.
- Xu, G., G. He, K. Baidoo, and G. C. Shurson. 2006a. Effect of feeding diets containing corn distillers dried grains with solubles (DDGS), with or without phytase, on nutrient digestibility and excretion in nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 84(Suppl. 2): 122. (Abstr.)
- Xu, G., M. H. Whitney, and G. C. Shurson. 2006b. Effects of feeding diets containing corn distillers dried grains with solubles (DDGS), with or without phytase, on nutrient digestibility and excretion in grow-finish pigs. *J. Anim. Sci.* 84(Suppl. 2): 123. (Abstr.)
- Yen, J. T., D. H. Baker, B. G. Harmon, and A. H. Jensen. 1971. Corn gluten feed in swine diets and effect of pelleting on tryptophan availability to pigs and rats. *J. Anim. Sci.* 33: 987-991.
- Yen, J. T. 1997. Oxygen consumption and energy flux of porcine splanchnic tissues. Pages 260-269 in *Digestive Physiology in Pigs, Proc. of the VII International Symposium on Digestive Physiology in Pigs.* EAAP Publ. 88.
- Yin, Y. L., J.D.G. McEvoy, H. Schulze, U. Henning, W. B. Souffrant, and K. J. McCracken. 2000. Apparent digestibility (ileal and overall) of nutrients and endogenous nitrogen losses in growing pigs fed wheat (var. Soissons) or its by-products without or with xylanase supplementation. *Livest. Prod. Sci.* 62: 119-132.
- Zebrowska, T. 1982. Nitrogen digestion in the large intestine. Pages 225-236 in *Digestive Physiology in the Pig.* J.P. Laplace, T. Corring, and A. Rerat, eds. Institut National de la Recherche Agronomique. Paris, France, p. 225-236.