

Fitasa y enzimas fibrolíticas en dietas para cerdos con diferentes sustratos

Fitasa y enzimas fibrolíticas en dietas para cerdos con diferentes sustratos

Mario Alberto Ávalos Castro^a, Sergio Gómez Rosales^{ab}, María de Lourdes Angeles^a, Diego Braña Varela^a, Gerardo Mariscal Landín^{ab}, José A. Cuarón Ibarquengoytia^{ab}

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar la adición de fitasa (F) y actividades de pectinasa, glucanasa y hemicelulasa (PGH) en dietas sorgo-soya-canola, y xilanasa (X) en dietas con grano seco de destilería con solubles (GSDS) sobre la digestibilidad ileal y fecal de nutrientes (Exp 1) y el comportamiento productivo (Exp 2) en cerdos en crecimiento-finalización. En el Exp 1 se formularon dos dietas basales (B1: sorgo-soya-canola y B2: sorgo-soya-canola + GSDS) y los tratamientos fueron: 1) B1+F, 2) B1+F+PGH, 3) B2+F, 4) B2+F+PGH, 5) B2+F+X, y 6) B2+F+PGH+X. El Exp 2 incluyó cuatro tratamientos: 1) Testigo positivo (sorgo-soya-canola) con energía normal; 2) Igual que 1, pero bajo en energía; 3) Igual que 2 +F+PGH, 4) Igual que 3 +GSDS +X. En el Exp 1, la digestibilidad de la energía a nivel ileal se mejoró ($P<0.05$) con +F+PGH, +F+X y +F+PGH+X, y a nivel fecal se mejoró ($P<0.05$) con +F+X. La PGH liberó 122 kcal a nivel ileal y la X liberó 147 y 132 kcal de ED/kg de alimento a nivel ileal y fecal. En el Exp 2, la eficiencia alimenticia fue mayor ($P<0.01$) en el testigo positivo y el tratamiento bajo en energía +F+PGH, pero este último tuvo mayor ($P<0.05$) eficiencia energética. El valor energético de los GSDS se mejoró por la adición de F, PGH y X, pero la respuesta en crecimiento observada en el presente trabajo no fue consistente.

PALABRAS CLAVE: Cerdos, Fitasa, Enzimas fibrolíticas, Digestibilidad ileal, Digestibilidad fecal, Producción.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the addition of phytase (P) and pectinase, glucanase and hemicellulose (PGH) activities on sorghum-soybean-canola based diets, and a xylanase (X) on diets with dry distillers grain with solubles (DDGS) on the ileal and fecal digestibility of nutrients (Exp 1) and the growth performance (Exp 2) of growing-finishing pigs. In Exp 1, two Basal diets were formulated (B1: sorghum-soybean-canola and B2: sorghum-soybean-canola + DDGS) and the treatments were: 1) B1+P, 2) B1+P+PGH, 3) B2+P, 4) B2+P+PGH, 5) B2+P+X, and 6) B2+P+PGH+X. Exp 2 included four treatments: 1) Positive control (sorghum-soybean-canola) with normal energy; 2) Same as 1, but low in energy; 3) Same as 2 +F+PGH, 4) Same as 3 +GSDS +X. In Exp. 1, the ileal energy digestibility was improved ($P<0.05$) with +P+PGH, +P+X and +P+PGH+X and the fecal energy digestibility was improved ($P<0.05$) with +P+X. The PGH released 122 kcal at the ileal level and the X released 147 and 132 kcal of DE/kg of feed at the ileal and fecal level. In Exp 2, the feed efficiency between the Positive control and the Low-energy +P+PGH Treatment was similar ($P<0.01$), but the Low-energy +P+PGH Treatment had higher ($P<0.01$) energetic efficiency. The energetic value of DDGS was improved with the addition of P, PGH and X, but the growth response observed in this trial was not consistent.

KEY WORDS: Pigs, Phytase, Fibrolytic enzymes, Ileal digestibility, Fecal digestibility, Production.

INTRODUCCIÓN

La fibra y los fitatos son componentes de los ingredientes de origen vegetal, que en programas

INTRODUCTION

In intensive feeding programs, fiber and phytates in vegetal-origin ingredients are important

Recibido el 21 de octubre de 2010. Aceptado el 6 de diciembre de 2010.

^a Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal, INIFAP. Km 1 Carretera a Colón, 76280, Ajuchitlán, Colón, Oro. Tel 01 (419) 2920033. gomez.sergio@inifap.gob.mx. Correspondencia al segundo autor:

^b Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán – UNAM.

Trabajo financiado por el Fondo Sectorial CONACYT-SAGARPA-COFUPRO. Clave del Proy., 12134.

intensivos de alimentación se juzgan como factores anti-nutricionales. Estos compuestos están formados por polisacáridos no amiláceos y por unidades de inositol hexafosfato, para los cuales no se tienen en el intestino las enzimas necesarias para su hidrólisis. Sin embargo, la microbiota intestinal tiene la capacidad de hidrolizar estos sustratos^(1,2,3). A pesar de esto, la digestión de estos compuestos es muy baja, por lo que el uso de enzimas exógenas con actividad fibrolítica y fítica ha resultado en un incremento en el desempeño de los animales^(4,5).

La fibra puede físicamente impedir la acción de las enzimas en el tracto digestivo, puede acelerar el tránsito de la digesta, y puede afectar la digestión de otros nutrientes, por lo que se puede disminuir su digestibilidad y su aprovechamiento en cerdos^(2,6). Los fitatos son el principal almacén de fósforo de los ingredientes vegetales, no son completamente hidrolizados y pueden alterar la digestión de minerales como el Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{2+} , Zn^{2+} , proteínas y almidones, por lo que en consecuencia también afectan negativamente la digestibilidad y asimilación de los nutrientes⁽⁷⁾.

La oferta en la industria de los granos secos de destilería con solubles (GSDS) en la generación de combustibles renovables, hacen que estos sean una fuente de nutrientes. Estos GSDS resultan en una concentración de la proteína (24.6 %), fibra cruda (7.3 %) y del P (0.83 %)⁽⁸⁾ respecto al maíz. La concentración de nutrientes totales y de algunas formas de grasa de los GSDS es más alta a consecuencia de haber extraído los almidones. La composición de los hidratos de carbono en los GSDS en el caso del maíz es: glucanos 21 %, celulosa 16 %, xilanos más del 8 %, arabinosa hasta el 6 % y el almidón sólo representa el 5 %^(8,9,10). Por lo tanto la digestibilidad de los carbohidratos es mucho menor a lo que se tiene en el grano entero. En cambio la disponibilidad del P es relativamente alta⁽¹¹⁾.

Tanto por el contenido de fibra, como por la baja disponibilidad de nutrientes, el uso de los GSDS se puede ver limitado en dietas para cerdos. Resultados de investigación⁽¹²⁾ muestran que la tasa de crecimiento de cerdos en crecimiento se reduce

antinutritional factors. These compounds consist of non-amylaceous polysaccharides and inositol hexaphosphate units, for which the intestine does not produce enzymes capable of hydrolysis although the intestinal microbiota can hydrolyze them to some extent, nutritional merit is of lesser value because the small intestine is overpassed^(1,2,3). Even so, digestibility of these compounds and of the affixed nutrients is very low, requiring addition of exogenous enzymes with fibrolitic and phytic activity to pull through animal productive performance^(4,5).

Fiber in pigs' diets can block digestive tract enzyme action, accelerate digesta rate of transit, and affect digestion of other nutrients, consequently diminishing their digestibility and nutrient assimilation^(2,6). Phytates, the main phosphorous store in vegetal ingredients, can also negatively affect digestibility and assimilation because they cannot be completely hydrolyzed and can thus alter digestion of proteins, starches and minerals such as Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{2+} and Zn^{2+} ⁽⁷⁾.

Growth of the biofuels industry has led to a growing availability of dry distillers grains with solubles (DDGS), a by-product of ethanol production is increasingly used as a livestock feed ingredient. Compared to maize grain, DDGS (from corn) contains a mean value of 24.6 % protein, 7.3 % crude fiber and 0.83 % P⁽⁸⁾. Because most of the starch has been extracted, depending upon the efficiency of the process, concentrations of total non-starch nutrients are normally higher. For the same reason, starch content in corn DDGS is 5 % or lower, with higher levels of other carbohydrates: 21 % glucans, 16 % cellulose, > 8 % xylanes, and up to 6 % arabinose^(8,9,10). In contrast, P availability is relatively high⁽¹¹⁾. Both, the high fiber content and their lower nutrient availability of DDGS limit their use in pigs' diets. Thus, growth rate in pigs is reduced using dietary DDGS levels above 8 %, even digestible or available nutrient values are considered in feed formulation⁽¹²⁾.

Enzyme pretreatments are commonly used to increase yields in distillation of corn and other cereals to methanol, although this results in lower by-product availability and quality, similar exogenous

en un 8 %, aun cuando la formulación haya ponderado el valor nutritivo de este ingrediente.

En el proceso de obtención del alcohol de maíz así como de otros cereales, para aumentar el rendimiento, los procesos incluyen el pre-tratamiento con enzimas, lo cual redundo en una menor disponibilidad del subproducto. En el pasado se han usado con éxito enzimas exógenas⁽¹³⁻¹⁶⁾ para mejorar la utilización de los alimentos, y es claro que antes de usar las enzimas es necesario el análisis de la composición de la materia prima de los alimentos, para decidir los principios activos para los que se estarían usando. Pero cuando se han usado enzimas en dietas incluyendo GSDS la respuesta en digestibilidad no es detectada. Lo anterior puede ser debido a que en la concentración de los GSDS (20 %) en dietas de cerdos en crecimiento, el aporte de los sustratos digeribles es una porción muy pequeña⁽¹⁷⁾. Si se agregan los principios activos de los sustratos y estos son susceptibles a la acción de las enzimas, la digestibilidad de los nutrientes se estaría incrementando y esto se estaría usando en la prueba de comportamiento. Por lo que este trabajo se condujo para corroborar los beneficios de la adición de fitasa y enzimas con actividad de pectinasa, gluconasa y hemicelulasa (PGH) en dietas sorgo, pasta de soya y canola, así como para indagar si la inclusión de estas enzimas y una xilanaso (X) pueden disminuir las pérdidas en productividad de los cerdos cuando se incluyen niveles relativamente altos de GSDS en la dieta.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología Animal (CENIDFA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Ajuchitlán, Querétaro. Las enzimas que se usaron fueron una fitasa proveniente de *Peniophora lycii* (*Ronozyme P5000*, DSM Nutritional Products México), que actúa en un rango de pH de 3.5 a 5.5, y contiene una actividad de 5,000 unidades de fitasa (FTU) por gramo de producto. Un complejo multienzimático (PGH: *Ronozyme VP*, DSM Nutritional Products México)

enzymes have been used successfully to improve feed utilization⁽¹³⁻¹⁶⁾, but the later requires a thorough analysis of feed raw material composition, to identify the active principles for which the enzymes are to be used. However, when enzymes have been used in pig diets containing DDGS, no detectable improvement in digestibility occurs. This is probably because the DDGS concentration (20 %) in diets for growing pigs provides only a very small proportion of susceptible nutrients for digestion⁽¹⁷⁾ and (or) an intestine still not fit for complete digestion of these compounds.

In theory, if the substrates' active principles are added and the substrates are susceptible to the enzymatic action, nutrient availability would increase. The present study objective was to evaluate if addition of phytase, a pectinase-gluconase-hemicellulase complex and xylanase to a sorghum, soya meal and canola meal diet, containing relatively high proportions of DGSS, can regain productivity in growing-finishing pigs.

MATERIALS AND METHODS

The trials were carried out at the National Animal Physiology Disciplinary Research Center (Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología Animal - CENIDFA) of the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - INIFAP) in Ajuchitlán, Querétaro State, Mexico. Two trials were done, the first testing ileal nutrient digestibility and fecal nutrient digestibility (Exp 1), and the second growth performance, to validate previous results (Exp 2). The phytase (F) used was from *Peniophora lycii* (*Ronozyme P5000*, DSM Nutritional Products Mexico), which acts in a pH range of 3.5 to 5.5 and has an activity of 5,000 phytase units (FTU) per gram of product. The pectinase-gluconase-hemicellulase multi-enzymatic complex (PGH: *Ronozyme VP*, DSM Nutritional Products Mexico) acts within a pH range of 3 to 6 and has a primary activity of 50 β -glucanase units (from *Aspergillus aculeatus*) per gram; it also has remnant activity on pectins and hemicelluloses, but these enzymatic activities were not quantified. Xylanase (X)

que actúa en un rango de pH de 3 a 6 y contiene principalmente una actividad de 50 unidades de β -glucanasa de origen fúngico por gramo proveniente de *Aspergillus aculeatus*. También contiene actividad remanente sobre pectinas y hemicelulosa, pero la actividad de estas enzimas no ha sido cuantificada; y una xilanasas (*Ronozyme WX*, DSM Nutritional Products México) con una actividad de 1,000 unidades de xilanasas de origen fúngico $\text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$. La dosificación de las actividades enzimáticas fue como sigue: fitasa, 150 ppm; PGH, 300 ppm; y xilanasas, 150 ppm.

Experimento 1

Se usaron 30 cerdos machos castrados productos de un cruzamiento PIC337 \times (Landrace \times Duroc) con un peso inicial de 50 kg, aproximadamente. Se formularon dos dietas basales: la dieta B1 se formuló con sorgo, pasta de soya, pasta de canola, y F (750 FTU/kg) y la dieta B2 incluyó además de los ingredientes anteriores GSDS (Cuadro 1). Quedando las dietas experimentales (Tratamientos) conformados de la siguiente manera: 1) B1+F, 2) B1+F+PGH, 3) B2+F, 4) B2+F+PGH, 5) B2+F+X, y 6) B2+F+PGH+X.

Las dietas se formularon a partir de la composición analizada de la materia prima, para cubrir los requerimientos al inicio de la etapa de producción, asegurando con esto un aporte suficiente de nutrientes; el aporte de aminoácidos se estimó en función de su digestibilidad ileal verdadera⁽¹⁸⁾. Las dietas se formularon usando el modelo del NRC⁽¹⁹⁾ con un supuesto de ganancia de tejido magro libre de grasa (GTMLG) promedio de 360 g/d para una población con igual proporción de machos castrados y hembras y usando las curvas de GTMLG propias de la población y en la esperanza de consumo voluntario de EM por día, considerando un mínimo de EM de 3.10 Mcal/kg (180 Kcal de EM menos del nivel recomendado por el NRC). Con relación a los aminoácidos, el contenido de Lys ileal digestible verdadera fue de 0.80 %, con relaciones mínimas de: Thr:Lys, 67 %; Trp:Lys, 18 %; Met:Lys, 30 %, considerando que la relación entre Lys total y la proteína cruda se mantuvo entre 5.5 y 5.9 % (i.e., un máximo de proteína cruda cercano al 18 % de la dieta).

(*Ronozyme WX*, DSM Nutritional Products Mexico) has an activity of 1,000 units of fungal origin xylanase $\text{min}^{-1} \text{g}^{-1}$. Dosages for each enzymatic activity were 150 ppm F, 300 ppm PGH and 150 ppm X.

Experiment 1

Animals were 30 PIC337 \times (Landrace \times Duroc) cross barrows (approx. 50 kg initial weight). Two basal diets were used: B1 formulated from sorghum, soy bean meal, canola meal and phytase (750 FTU/kg); and B2 formulated as B1, but DDGS were added (Table 1). These resulted in five experimental

Cuadro 1. Composición de las dietas experimentales, Experimento 1

Table 1. Diet composition. Experiment 1

Ingredients	Basal Diet	
	B1	B2
Sorghum, grain (8.7%)	76.615	58.510
Soy bean meal (46%)	4.400	6.500
Canola meal (38%)	17.000	10.500
DDGS	0.000	22.000
Tallow	0.000	0.500
Calcium carbonate	0.820	0.900
Salt, Vit-Min premix ^a	0.680	0.680
L-Lysine·HCl	0.375	0.365
L-Threonine	0.110	0.045
Total	100.000	100.000
Calculated analysis		
ME, Mcal/kg	3.108	3.098
Crude protein, %	15.522	18.212
Digestible Lys, %	0.800	0.802
Digestible Thr, %	0.541	0.541
Digestible Trp, %	0.145	0.145
Calcium, %	0.400	0.426
Phosphorus, %	0.357	0.423
Available P, %	0.081	0.200

DDGS = dry distillery grain with solubles; ME = metabolizable energy; P = phosphorus.

^a Vitamins 2.20 kg: A= 8.80 UI/g; D= 1.76 UI/g; E= 0.04 UI/g; K=1.65 ppm; B2= 6.60 ppm; B12= 0.04 ppm; choline= 484.00 ppm; niacin= 37.40 ppm; pantothenic acid= 45.85 ppm; B1= 1.32 ppm; B6= 1.65 ppm; biotin= 0.11 ppm; folic acid= 1.10 ppm. Minerals 0.80 kg: Co= 0.48 ppm; Cu= 9.60 ppm; Fe= 80.00 ppm; Mn= 24.00 ppm; Se= 0.20 ppm; I= 0.64 ppm; Zn= 96.00 ppm. Salt: 3.8 kg.

Antes de iniciar la prueba, los cerdos fueron canulados a nivel ileal, de acuerdo a la técnica descrita por Reis de Souza⁽²⁰⁾, los animales se alojaron en jaulas metabólicas provistas con un comedero semi-automático, bebedero de chupón y charolas para la colección de heces. Durante 14 días antes del inicio de la colección de heces, los cerdos recibieron su alimento dos veces al día (0730 y 1730), a libertad, por un período de 2 h, para adaptarlos al régimen de consumo que se seguiría durante el periodo de colección. El agua se ofreció hasta por seis veces al día (2 L/toma) en intervalos regulares. Los cerdos se pesaron al ingreso y a la salida de las jaulas. Cada periodo experimental tuvo una duración de 11 días. Los cinco primeros días fueron de adaptación a las dietas experimentales. Las heces se colectaron los siguientes cuatro días; la colecta fue parcial, tres veces al día (0730, 1230 y 1730) usando óxido de cromo (al 0.25 %) como marcador interno en el alimento. Durante el periodo de colección se ofreció a los cerdos el 90 % del consumo observado durante el periodo de adaptación, buscando minimizar el desperdicio. Transcurridos 90 min, se retiró el alimento sobrante, el cual se secó en una estufa de aire forzado a 50 °C para estimar el consumo de materia seca. Los últimos dos días de cada periodo, se realizó la colección de contenido ileal, durante periodos de colección de 12 h por día, con intervalos de colección de 2 h.

Inmediatamente después de cada colecta, el contenido ileal y las heces se liofilizaron, se pesaron y se molieron en un equipo Thomas Wiley utilizando una criba de 1 mm. En las muestras se determinó el contenido de materia seca (MS), cenizas (Cen) y N, de acuerdo a los métodos descritos en la AOAC⁽²¹⁾, energía bruta (EB) con una bomba calorimétrica (PARR instruments, modelo 1266) y cromo⁽²²⁾ en las heces, contenido ileal y dietas. Se calculó la digestibilidad ileal aparente (DIA) y digestibilidad fecal aparente (DFA) de MS (DIAMS y DFAMS), Cen (DIACen y DFACen), N (DIAN y DFAN) y E (DIAE y DFAE) usando la siguiente fórmula:

$$\text{Digestibilidad, \%} = 100 - [100 \times ((\text{CMA} \times \text{CNO}) / (\text{CMO} \times \text{CNA}))]$$

diets: 1) B1+F; 2) B1+F+PGH; 3) B2+F; 4) B2+F+PGH; 5) B2+F+X; and 6) B2+F+PGH+X. The experimental diets were formulated based on analyzed raw material composition to ensure they covered initial production stage requirements and provided sufficient nutrients. Amino acid contribution was estimated as a function of true or standardized ileal digestibility⁽¹⁸⁾. Diets were formulated following the NRC Model assuming an average daily lean tissue gain (DLTG) of 360 g/d for a population with equal proportions of barrows and gilts, using the population's DLTG curves and with the expectation that daily metabolizable energy (ME) intake would be met voluntarily, considering a minimum ME of 3.10 Mcal/kg (180 Kcal ME below the NRC-recommended level). True ileal digestible Lys content was 0.80 % with minimum Thr:Lys (67 %), Trp:Lys (18 %) and Met:Lys (30 %) ratios, and crude protein to total Lys between 5.5 and 5.9 % (i.e. maximum crude protein content near 18 % of diet). Chromic oxide (0.25 %) was added as a marker.

Before the start of the experiment barrows were canulated in the ileum according to Reis de Souza⁽²⁰⁾. The animals were housed in metabolic pens with a self-feeder, a nipple watering device and feces collection trays. During 14 d before feces collection began, the animals were fed *ad libitum* twice daily (0730 and 1730) for 2 h to adapt them to the feeding regime to be followed during the collection period. Water flow was provided six times a day (at a maximum of 2 L/watering occasion) at regular intervals. The animals were weighed upon entering and exiting the pens. The experimental period length was 11 d; during the first five days (d 1-5) the animals were allowed to adapt to the experimental diets; feces were collected on d 6 to 9, three times daily (0730, 1230 and 1730). In an effort to minimize waste, during the feces collection period feed was offered at 90 % of intake observed during the adaptation period. Remaining feed was removed after 90 min, and dried at 50 °C in a forced-air oven for later analysis of estimated dry matter intake. Ileal content collection was done on d 10 and 11, with collections taken every 2 h during the 12 h collection period.

Donde: CMA= concentración del marcador en el alimento; CNO= concentración del nutriente en digesta o heces; CMO= concentración del marcador en digesta o heces; CNA= concentración del nutriente en el alimento.

Los resultados se analizaron según un diseño en bloques al azar usando los procedimientos de los Modelos Lineales Generales del paquete estadístico SAS⁽²³⁾. Se realizaron contrastes ortogonales para evaluar los efectos principales de las enzimas como sigue: Contraste 1= Basal 1 *vs* Basal 2 (efecto de dieta); Contraste 2= B1+F *vs* B1+F+PGH (efecto de PGH); Contraste 3= B2+F y B2+X *vs* B2+F+PGH y B2+F+PGH+X (efecto de PGH); Contraste 4= B2+F y B2+F+PGH *vs* B2+F+X y B2+F+PGH+X (efecto de xilanasas); Contraste 5= B2+F y B2+F+PGH+X *vs* B2+F+PGH y B2+F+X (interacción PGH y X).

Experimento 2

Se usaron 56 cerdos machos castrados y hembras en crecimiento con un peso inicial de 44.4 ± 0.55 kg, alojados en corraletas individuales (1.2 m²) con piso parcialmente de rejilla de acero (25 % de la superficie), un comedero de tolva y un bebedero de chupón. Los cerdos provinieron de la misma granja experimental, todos de un mismo grupo de producción y prole de PIC337 \times (Landrace \times Duroc), habiéndose adaptado al alojamiento y manejo de la alimentación por 14 días antes del inicio del experimento. Los tratamientos se establecieron desde los 94 ± 4 días de vida, se formularon dos fases de alimentación, la primera por 28 días y la segunda por 35 días (Cuadro 2): 1) testigo positivo, que fue una dieta sorgo pasta de soya y canola con 3.3 Mcal de EM/kg en ambas fases de alimentación con niveles apropiados de aminoácidos, Ca y P; 2) testigo negativo, con los mismos ingredientes que en 1, se formuló a 3.15 y 3.10 Mcal de EM/kg (para la primera y segunda fase de alimentación del experimento); los niveles de otros nutrientes fueron similares a los usados en 1; 3) Como el testigo negativo (2), pero +F+PGH y, por lo que se redujeron Ca y P disponible en 0.13 y 0.10 unidades porcentuales (para mantener una relación similar Ca:P de 1.20); la concentración del resto de los nutrientes fue similar a 1 y 2; 4)

Immediately after collection, ileal content and feces samples were lyophilized, weighed and ground until passing through a 1 mm pore-size sieve (Thomas Wiley mill). Feces, ileal content and diet samples were analyzed to determine contents for dry matter (DM), ash (A) and nitrogen (N), following the standard AOAC methods⁽²¹⁾; gross energy (E) (with an adiabatic bomb calorimeter, PARR Instruments, Model 1266); and chromium⁽²²⁾ based apparent ileal digestibility (AID) and apparent fecal digestibility (AFD) were calculated for DM (AIDDM and AFDDM), ash (AIDA and AFDA), N (AIDN and AFDN) and E (AIDE and AFDE) using the formula:

$$\text{Digestibility, \%} = 100 - [100 \times ((\text{FMC} \times \text{NCO}) / (\text{MCO} \times \text{FNC}))]$$

where: FMC= feed marker concentration; NCO= feces or digesta nutrient concentration; MCO= feces or digesta marker concentration; FNC= feed nutrient concentration.

Results were analyzed under a complete random block design using the General Linear Models procedures in the SAS statistics package⁽²³⁾. Orthogonal contrasts were generated to evaluate the enzymes' principal effects, as follows: Contrast 1= B1 *vs* B2 (diet effect); Contrast 2= B1+F *vs* B1+F+PGH (PGH effect); Contrast 3= B2+F and B2+X *vs* B2+F+PGH and B2+F+PGH+X (PGH effect); Contrast 4= B2+F and B2+F+PGH *vs* B2+F+X and B2+F+PGH+X (xylanase effect); Contrast 5= B2+F and B2+F+PGH+X *vs* B2+F+PGH and B2+F+X (PGH and X interaction).

Experiment 2

Animals were 56 growing barrows and gilts (initial weight 44.4 ± 0.55 kg) housed in individual pens (1.2 m²) with a partial (25 %) steel mesh flooring, a hopper feeder and a nipple drinker. All animals were the progeny of PIC337 \times (Landrace \times Duroc) crosses, came from the same experimental farm and the same production group. They were allowed to adapt to housing and the feeding regime for 14 d before the experiment began. The four feeding treatments were begun at 94 ± 4 d of age and consisted of two feeding phases: the first for 28 d

Con los mismos ingrediente que en las tres dietas anteriores y con los niveles de energía de las dietas 2 y 3, pero se incluyó GSDS al 13.6 % en la dieta de la primera fase de alimentación y al 22 % en la segunda. La corrección de Ca y P disponible fue similar a la dieta anterior pero, por la riqueza en P de canola y de los GSDS, la relación Ca:P se tuvo que alterar para llegar a ser cercana a 1. El contenido de proteína también tuvo que aumentarse (en la segunda fase de alimentación) por la densidad de N y pobreza de Trp digestible en el GSDS. Los otros nutrientes se mantuvieron similares al resto de las dietas.

Los cerdos se pesaron inicialmente y después cada semana, hasta el día 63 en el ensayo, cuando se dio

(1/28d) and the second for 35 d (2/35d)(Table 2). Treatment 1 (T1) was a positive control diet of sorghum, soy bean meal and canola meal, with appropriate (similar to Exp 1) amino acids, Ca and P levels, and a 3.3 Mcal ME/kg content in both phases. Treatment 2 (T2) was a negative control with the same ingredients and nutrient levels as in T1, but with 3.15 Mcal ME/kg in the 1/28d phase and 3.10 Mcal ME/kg in the 2/35d phase. Treatment 3 (T3) had the same ingredients, nutrient levels and ME contents as in T2, but with added F+PGH; Ca was reduced by 0.13 percentage units and P by 0.10 units to maintain the Ca:P ratio near 1.2. Treatment 4 (T4) had the same ingredients, nutrient levels and ME contents as in T2, but with added

Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales. Experimento 2

Table 2. Diet composition. Experiment 2

Phase / days:	Treatment 1 Positive control		Treatment 2 Negative control		Treatment 3 +F+PGH		Treatment 4 DDGS +F+PGH+X	
	1/28d	2/35d	1/28d	2/35d	1/28d	2/35d	1/28d	2/35d
Sorghum, grain (8.7%)	63.865	71.235	68.050	76.560	69.480	76.615	63.010	58.510
Soy bean meal (46%)	14.600	11.200	14.300	7.900	14.170	4.400	10.900	6.500
Canola meal (38%)	14.300	11.200	13.700	13.000	13.500	17.000	9.200	10.500
DDGS	0	0	0	0	0	0	13.600	22.000
Tallow	4.500	3.900	1.200	0	0.700	0	1.100	0.500
Calcium carbonate	0.940	0.890	0.950	0.900	0.840	0.820	1.020	0.900
Mono-dicalcic phosphate	0.810	0.530	0.800	0.520	0.300	0	0	0
Salt, Vit-Min premix ^a	0.680	0.680	0.680	0.680	0.680	0.680	0.680	0.680
L-Lysine-HCl	0.250	0.280	0.260	0.340	0.270	0.375	0.405	0.365
L-Threonine	0.055	0.085	0.060	0.100	0.060	0.110	0.085	0.045
Sum	100	100	100	100	100	100	100	100
Calculated analysis								
ME, Mcal/kg	3.300	3.300	3.150	3.110	3.148	3.108	3.150	3.098
Crude Protein, %	17.990	15.920	18.000	15.590	17.997	15.522	17.986	18.212
Digestible Lys,%	0.900	0.800	0.900	0.800	0.900	0.800	0.900	0.802
Digestible Thr, %	0.586	0.540	0.588	0.537	0.586	0.541	0.585	0.541
Digestible Trp, %	0.180	0.156	0.180	0.149	0.179	0.145	0.157	0.145
Calcium, %	0.600	0.521	0.600	0.521	0.475	0.400	0.475	0.426
P, %	0.510	0.425	0.510	0.441	0.406	0.357	0.375	0.423
Available P, %	0.241	0.180	0.240	0.181	0.140	0.081	0.151	0.200

F= Phytase; PGH= pectinase-glucanase-hemicellulase; X= xylanase; DDGS= dry distillery grain with solubles; P= phosphorus.

aVitamins 2.20 kg; A= 8.80 U/g; D= 1.76 U/g; E= 0.04 U/g; K=1.65 ppm; B2= 6.60 ppm; B12= 0.04 ppm; choline= 484.00 ppm; niacin= 37.40 ppm; pantothenic acid= 45.85 ppm; B1= 1.32 ppm; B6= 1.65 ppm; biotin= 0.11 ppm; folic acid= 1.10 ppm. Minerals 0.80 kg: Co= 0.48 ppm; Cu= 9.60 ppm; Fe= 80.00 ppm; Mn= 24.00 ppm; Se= 0.20 ppm; I= 0.64 ppm; Zn= 96.00 ppm. Salt: 3.8 kg.

por terminado el experimento (a los 157 días de edad). El alimento se ofreció a libertad en dos comidas diarias (0800 y 1800), para calcular el consumo de alimento al final de cada semana se pesaron los remanentes en los comederos; la eficiencia alimenticia se expresó como una función entre la ganancia de peso y el consumo de alimento. La eficiencia energética se obtuvo al dividir la ganancia diaria de peso entre la EM consumida. La liberación de EM por efecto de las enzimas se calculó por la diferencia entre la eficiencia energética en los tratamientos con y sin enzimas (solamente las dietas bajas en energía), multiplicada por la eficiencia energética en la dieta con enzimas.

Cuando los cerdos alcanzaron un peso promedio aproximado de 100 kg (al día 52), se escanearon con un equipo de ultrasonido en tiempo real, usando un transductor de 17.5 mm y 3.5 MHz, registrándose las profundidades de grasa dorsal y del músculo largo dorsal, en el punto P2 y a la altura de la 10^a y última costilla. Con estas variables y con el peso corporal (al día 49), se estimó el tejido magro libre de grasa. Veinticuatro horas después de terminado el experimento, y luego de un ayuno de 12 h, los cerdos se embarcaron para ser transportados por 157 km a su sacrificio comercial en un rastro TIF; las canales se despiezaron después de 24 h a 4 °C.

Los datos se analizaron como un diseño completamente al azar, en donde los tratamientos (dietas) y el sexo se usaron como factores en el modelo, distinguiéndose los efectos mayores de tratamiento, sexo y su interacción. Entre tratamientos, se realizaron las siguientes comparaciones planeadas: entre controles (Trt 1 vs Trt 2), entre tratamientos con enzimas y control positivo vs el resto, empleando el procedimiento GLM de SAS⁽²³⁾.

RESULTADOS

Experimento 1. No hubo diferencias estadísticas en la DIAMS, DFAMS, DIACen, DFACen y DIAE entre B1 y B2, pero la DIAN y la DFAN fueron mayores en B2 ($P < 0.05$; Cuadro 3). También la EFD fue mayor ($P < 0.05$) en la dieta B2 comparada

F+PGH+X, 13.6 % added DDGS during the 1/28d phase and 22 % DDGS in the 2/35d phase. Correction for available Ca and P in this treatment was similar to in T3, although the high P content in the canola meal and DDGS required that the Ca:P ratio be modified to near 1. In the 2/35d phase of T4, protein content also had to be increased to compensate for the high N density and low digestible Trp in the DDGS. All other nutrients remained similar to the other treatments.

Animals were weighed at the beginning of the experiment and weekly thereafter for the duration of the 63-d experimental period (animal age at end of experiment = 157 d). Feed was offered *ad libitum* twice daily (0800 and 1800) and feed intake calculated at the end of each week by weighing feed remnants in the feeders. Feed efficiency was expressed as a function between weight gain and feed intake. Energy efficiency was calculated by dividing daily weight gain by ME intake. Metabolizable energy (ME) release due to the enzymes was calculated using the difference between energy efficiency in the low-energy treatments with and without enzymes (i.e. T2, T3 and T4) multiplied by energy efficiency in the diet containing enzymes.

When the animals reached approximately 100 kg average weight (d 52), they were scanned with a real-time ultrasound device using a 17.5 mm and 3.5 MHz transducer. Scans were done for backfat and longissimus dorsi depth at P₂, on the 10th and last ribs. Lean tissue was estimated using these variables and body weight on d 49. Twenty-four hours after the end of the experimental period, and after 12 h feed withdrawal, animals were transported 157 km to a certified (TIF) commercial abattoir where they were slaughtered and stored at 4 °C for 24 h prior carcasses fabrication.

Data were analyzed using a completely randomized design with treatments (i.e. diets) and sex as model factors, and identifying the principal effects of treatment, sex and their interaction. The GLM procedures of SAS⁽²³⁾ were used for planned comparisons: T1 vs T2, between treatments containing enzymes and between T1 and the remaining treatments.

con B1. La misma tendencia se puede observar respecto a la DIAE ($P > 0.13$). En B1 (sorgo-soya-canola), la presencia de +F+PGH no afectó la digestibilidad ileal o fecal de nutrientes.

En B2 la adición de +PGH incrementó ($P < 0.05$) la DIAMS, DIAN y DIAE, pero no se detectó diferencia estadística ($P > 0.14$) en la DIACen y en la digestibilidad de nutrientes a nivel fecal. La adición de +X incrementó ($P < 0.05$) la DIAMS, DIAE y DFAE; se observó tendencia ($P = 0.11$) en la DFAN, sin observar diferencia estadística ($P > 0.14$) en los otros nutrientes tanto a nivel ileal como fecal. No se observó interacción ($P > 0.29$)

RESULTS

Experiment 1. No statistical differences were observed between B1 and B2 for AIDDM, AFDDM, AIDA, AFDA and AIDE (Table 3). However, AIDN, AFDN, and AFDE were higher ($P < 0.05$) in B2 than in B1; AIDE also increased in B2 but not significantly ($P > 0.13$). Addition of F+PGH to B1 (sorghum-soya-canola) did not affect nutrient ileal or fecal digestibility. In B2, addition of PGH increased ($P < 0.05$) AIDDM, AIDN and AIDE, but had no effect ($P > 0.14$) on AIDA or fecal nutrient digestibility. Addition of +X increased ($P < 0.05$) AIDDM, AIDE and ADDE, with a not

Cuadro 3. Digestibilidad ileal y fecal aparente de nutrientes en cerdos de crecimiento alimentados con diferentes ingredientes y enzimas exógenas. Experimento 1

Table 3. Apparent nutrient ileal and fecal digestibility in growing pigs fed diets with and without added distillery dry grain with solubles and exogenous enzymes. Experiment 1

	Treatments ^a						SEM ^b
	B1+F	B1+F+PGH	B2+F	B2+F+PGH	B2+F+X	B2+F+PGH+X	
Ileal Digestibility, %							
Dry matter ^{cd}	72.6	74	68.8	70.9	71.5	74.7	1.28
Ash	33.1	37.2	32.4	37.9	37.1	38.5	3.84
Nitrogen ^{ef}	75.9	76.5	76.9	80	79.1	81.2	1.29
Energy ^{gh}	73.5	74.9	70.3	72.7	73.3	76.7	1.25
Fecal Digestibility, %							
Dry matter	82.6	82.8	79.7	82.2	82.9	83.4	1.4
Ash	45	48.2	45.3	53.3	56.5	54.4	4.67
Nitrogen ⁱ	76.7	77.2	78.2	81.6	81.7	83.4	1.6
Energy ^j	81.1	81.7	78.2	81.8	82.9	83.4	1.45

F = Phytase; PGH = pectinase-glucanase-hemicellulase; X = xylanase.

a Contrasts: Contrast 1 = Basal 1 vs. Basal 2 (effect of diet); Contrast 2 = B1+F vs. B1+F+PGH (effect of PGH); Contrast 3 = B2+F and B2+X vs. B2+F+PGH and B2+F+PGH+X (effect of PGH); Contrast 4 = B2+F and B2+F+PGH vs. B2+F+X and B2+F+PGH+X (effect of xylanase); Contrast 5: B2+F and B2+F+PGH+X vs. B2+F+PGH and B2+F+X (PGH and X interaction).

b Standard error of the mean.

c Addition of PGH raised ($P < 0.05$) AIDDM (70.15 vs 72.80 %).

d Addition of X raised ($P < 0.05$) AIDDM (69.85 vs 73.10 %).

e AIDN was higher ($P < 0.05$) in B2 than in B1 (76.20 vs 79.30 %).

f Addition of PGH raised ($P < 0.05$) AIDN (78.00 vs 80.60 %).

g Addition of PGH raised ($P < 0.05$) AIDE (71.80 vs 74.70 %).

h Addition of X raised ($P < 0.05$) AIDE (71.50 vs 75.00 %).

i AFDN was higher ($P < 0.05$) in B2 than in B1 (76.95 vs 81.23 %).

j Addition of X raised ($P < 0.05$) AFDE (80.00 vs 83.15 %).

por la adición de +PGH+X en ninguna de las variables de respuesta.

Experimento 2. Los resultados de este experimento se muestran en los Cuadros 4, 5 y 6. En el Cuadro 4 se observan los resultados del comportamiento productivo, a 63 días en el peso inicial, no se observó un efecto del sexo ($P > 0.06$), mientras que el peso final de los machos fue mayor al de las hembras ($P < 0.01$; 105.5, hembras vs 113.6 kg, machos castrados). Durante los primeros 28 días (dietas 1/28d), no se notaron efectos del tratamiento ($P > 0.11$), pero si los del sexo: las hembras comieron y ganaron menos ($P < 0.01$), pero fueron tan eficientes ($P > 0.87$) como los machos castrados. No se notó ninguna interacción entre tratamiento y sexo ($P > 0.47$).

Desde el día 28 del experimento, coincidiendo con el uso de las dietas de la serie 2/35d los efectos del sexo fueron evidentes ($P < 0.01$), incluso en la eficiencia alimenticia y los efectos de tratamiento se manifestaron ($P < 0.01$), particularmente en la eficiencia alimenticia y en el uso de la energía (EM calculada) para la ganancia diaria de peso (kg). Los resultados por efecto del sexo, acumulados al día 63 del experimento se presentan al pie del Cuadro 4. Al final del ensayo, el consumo diario

significante aumento ($P < 0.11$) en ADFN. No diferencias ($P > 0.14$) fueron observadas para otros nutrientes a either the ileal or fecal levels. No interaction in any of the response variables was observed for addition of PGH+X.

Experiment 2. At 63 d, after the beginning of the experiment, barrows were heavier ($P < 0.01$, 113.63 kg) than gilts (105.5 kg), data in Table 4. During the first 28d phase, treatment had no effect ($P > 0.11$), the gilts consumed and gained less ($P < 0.01$), but were as efficient ($P > 0.87$) as barrows. No interaction was observed between treatment and sex ($P > 0.47$).

In the second 35d phase, sex had a clear effect ($P < 0.01$) on many variables (Table 4, notes), including feed efficiency. Treatment effects ($P < 0.01$) were evident, particularly in feed efficiency and energy use (calculated ME) for daily weight gain (kg). At the end of the 63-d experiment, daily feed intake was numerically different ($P > 0.10$) in response to T2 (negative control), consuming more than those fed T1 (positive control). The treatments had no effect ($P > 0.18$) on daily weight gain, but did affect ($P < 0.01$) feed efficiency (weight gain/energy intake) in that T1 and T3 (low energy + F + PGH) had higher ($P < 0.01$) values than

Cuadro 4. Comportamiento productivo, acumulado a 63 días en el ensayo (medias de mínimos cuadrados). Experimento 2
Table 4. Overall growth performance during experimental period (63 d)(least squares means). Experiment 2

	T1 Positive control	T2 Negative control	T3 +F+PGH	T4 DDGS +F+PGH+X	SEM ^a
N	14	14	14	14	
Initial weight, kg	44.36	43.96	45.07	44.39	0.6201
Intake, kg/d ^b	2.70	2.89	2.71	2.80	0.0290
Weight gain, kg/d ^c	1.06	1.03	1.05	0.99	0.0114
Gain/intake, kg ^d	0.39	0.36	0.39	0.36	0.0036
Gain/ME intake, kg·Mcal ⁻¹ ·d ^{-1e}	0.12	0.12	0.13	0.12	0.0010

F = Phytase; PGH = pectinase-glucanase-hemicellulase; X = xylanase; DDGS = dry distillery grain with solubles.

a SEM = standard error of the mean.

b The barrows consumed more ($P < 0.01$) than the gilts: 2.99 vs 2.56 kg/d.

c The barrows gained more weight ($P < 0.01$) than the gilts: 1.08 vs 0.99 kg/d.

d The T2 and T4 had the lowest values ($P < 0.01$). The gilts were more ($P < 0.01$) efficient than the barrows: 0.39 vs 0.36 kg.

e Based on calculated energy, apparent energy efficiency was highest ($P < 0.01$) in T3. The gilts required less ($P < 0.01$) energy than the barrows per gain/ME unit: 0.122 vs 0.115 Mcal ME/kg weight gain.

Cuadro 5. Composición corporal medida por ultrasonido (medias de mínimos cuadrados). Experimento 2

Table 5. Body composition as measured by ultrasound (least squares means). Experiment 2

	T1 Positive control	T2 Negative control	T3+F+PGH	T4DDGS +F+PGH+X	SEM
N	56	56	56	56	
Average P2 backfat, cm ^a	2.20	2.01	1.90	2.09	0.045
Average longissimus dorsi depth, cm ^b	4.76	4.85	5.01	4.61	0.059
Total lean tissue, kg	38.06	38.75	39.67	37.16	0.361

F= Phytase; PGH= pectinase-glucanase-hemicellulase; X= xylanase; DDGS= dry distillery grain with solubles; SEM= standard error of the mean.

^a Gilts, 1.83 vs Barrows, 2.27 cm ($P<0.01$); Treatment ($P>0.14$).

^b Gilts, 4.97 vs Barrows, 4.65 cm ($P<0.01$); Treatment ($P>0.14$).

de alimento fue numéricamente diferente ($P>0.10$) en respuesta a los tratamientos; los cerdos del testigo negativo consumieron más que los del testigo positivo. En la ganancia diaria de peso, no se notaron efectos de tratamiento ($P>0.18$). Al día 63 los tratamientos mostraron un claro efecto ($P<0.01$) en la eficiencia alimenticia (ganancia/consumo): el testigo positivo y el tratamiento bajo en energía +F+PGH fueron superiores ($P<0.01$) al testigo negativo y la dieta con GSDS más enzimas. Al calcular la eficiencia energética, la ganancia de peso (kg) en función del consumo de EM (Mcal/d), fue clara la ventaja ($P<0.01$) del tratamiento bajo en energía +F+PGH (3) y es que por la acción de las enzimas, se estimó una liberación promedio de 93 ± 6.68 Kcal de EM.

El Cuadro 5 presenta los resultados de la composición corporal como se midió con el equipo de ultrasonido al día 52 del ensayo (peso corporal de 97.05 ± 8.28 kg). En general, se confirmó que, con una producción similar de masa muscular (tejido magro libre de grasa, las hembras produjeron canales más magras. Tanto en la composición corporal medida con el equipo de ultrasonido, como al despiece de las canales, no se encontraron efectos de tratamiento, ni la interacción tratamiento \times sexo ($P>0.14$).

En el presente trabajo, el rendimiento en canal fue una unidad porcentual menor cuando se usó GSDS. El peso al sacrificio y peso de la canal caliente, la

T2 and T4 (low energy + DDGS). Calculation of feed efficiency (i.e. weight gain as a function of ME intake) showed T3 to have a clear ($P<0.01$) advantage, most probably due to enzyme action, which was estimated to release a calculated ME equal to 93 ± 6.68 Kcal/kg.

Ultrasound analysis of body composition at d 52 of the experiment (body weight = 97.05 ± 8.28 kg) confirmed that even though muscle mass production (lean tissue gain) was similar between sexes the gilts were producing leaner carcasses (Table 5). Neither the treatments nor the treatment/sex interaction affected ($P>0.14$) carcass composition at 52 d or at the end of the experiment (63 d), depicted in Tables 5 and 6. Carcass yield was one percentage unit lower in animals in T4, but slaughter weight, warm carcass weight, backfat depth, trimmed fat, lean cuts percentage and DLTG were unaffected by the presence of DDGS in the diet (Table 6).

A number of carcass traits exhibited differences by sex. Gilts weighed less than the barrows ($P<0.01$), which was also true for warm carcass with head and feet ($P<0.01$) and thoracic-abdominal fat ($P<0.01$). Cut weight was similar ($P>0.72$) between sexes, although fat trimmed from the primary cuts was greater ($P<0.01$) in the barrows and the cut percentage was higher ($P<0.01$) in gilts (33 %) than in barrows (30.8 %). Finally, the percentage ratio between fat trimmed and the sum

Cuadro 6. Composición corporal medida al despiece de las canales (medias de mínimos cuadrados). Experimento 2

Table 6. Body composition at slaughter (least square means). Experiment 2

	T1 Positive control	T2 Negative control	T3+F+PGH	T4DDGS +F+PGH+X	SEM
Na	13	13	13	12	
Slaughter weight, kg ^b	107.43	107.72	108.20	107.36	1.246
Warm carcass weight, kg ^c	89.96	90.03	89.95	88.46	0.995
Leaf fat, kg ^d	1.27	1.23	1.12	1.18	0.039
Trimmed fat, kg ^e	6.46	6.68	6.17	6.61	0.212
Trimmed fat, % carcasse	7.17	7.34	6.85	7.44	0.210
Sum, 5 lean cuts, kg ^f	28.31	29.00	29.02	27.87	0.410
Sum, 5 lean cuts, % carcass ^f	31.45	32.27	32.31	31.68	0.257
Fat/lean cuts, % ^g	24.59	22.95	21.48	23.73	0.668

F= Phytase; PGH= pectinase-glucanase-hemicellulase; X= xylanase; DDGS= dry distillery grain with solubles; SEM= standard error of the mean.

^a N = 51; 28 barrows / 23 gilts. Data not available for one gilt in T1, T2 and T3, and for two gilts in T4.

^b The gilts (102.6 kg) weighed less ($P<0.002$) than the barrows (112.8 kg).

^c Head and feet on gilts carcasses were lighter ($P<0.01$).

^d Leaf fat = thoracic-abdominal fat. Gilts, 1.06 vs barrows, 1.35 kg ($P<0.01$).

^e Trimmed fat from primary cuts was greater ($P<0.01$) in barrows (7.4 and 7.9 %) than in the gilts (5.6 and 6.5 %).

^f Sum of 5 trimmed and deboned cuts: loin, boston butt, picnic, ham and tender loin. Cut-out weight was not different ($P>0.72$) between sexes. Cut percentage was higher ($P<0.01$) in the gilts than the barrows: 33.0 vs 30.8 %.

^g Percent ratio between fat trimmings and sum of lean cuts. Gilts had a lower ($P<0.01$) value than barrows: 19.8 vs 26.6 %.

profundidad del lomo, los recortes de grasa, el porcentaje de cortes magros y la GTMLG no fueron afectados por la inclusión de GSDDS (Cuadro 6). Sólo se encontraron diferencias por sexo: las hembras pesaron menos ($P<0.01$) que los machos castrados, la canal caliente con cabeza y patas fue más ligera ($P<0.01$) en hembras que en machos castrados, la grasa torácica-abdominal fue más ligera ($P<0.01$) en hembras que en machos castrados, la grasa separada de los cortes primarios fue mayor ($P<0.01$) en machos castrados. El peso de los cortes fue similar ($P>0.72$) entre sexos, pero diferente ($P<0.01$) en el porcentaje: hembras, 33 vs machos castrados, 30.8 %. La relación porcentual entre los recortes de grasa y la suma de cortes magros, en las hembras fue menor ($P<0.01$) que en los machos castrados: 19.8 vs 26.6 %.

DISCUSIÓN

En el Exp 1, las diferencias entre la dieta B1 y B2 en la DIAN y DFAN se debieron principalmente a

of lean cuts was lower ($P<0.01$) in the gilts (19.8 %) than in the barrows (26.6 %).

DISCUSSION

Differences observed between B1 and B2 in terms of AIDN and AFDN in Exp 1 were largely due to the addition of the enzymes to these diets and was type of substrate dependant. Addition of PGH to B1 (sorghum, bean meal, canola meal +F+PGH) had no effect, whereas in B2 (sorghum, soy bean meal, canola meal, DDGS +F+PGH) AIDN increased. The difference in ileal digestibility was probably the result of the DDGS substrates being more susceptible to the PGH in B2. No difference in fecal digestibility was observed, probably due to the greater susceptibility of the B1 substrates to large intestine fermentation compared to those in B2.

The PGH multi-enzyme complex exhibits activity mainly as α -glucanase, but also has pectinase and hemicellulase activities. As a result, it acts mainly

la adición de enzimas en las dietas dependiendo del tipo de sustrato. En la dieta B1 la cual tenía sorgo, pasta de soya y de canola más +F+PGH, no se encontró efecto por la adición de la PGH. La dieta basal 2 la cual contenía sorgo, pasta de soya, pasta de canola y GSDS más +F+PGH+X, se encontró un incremento en la DIAN por la adición de PGH, más no se observaron diferencias en la digestibilidad fecal. Por lo tanto la diferencia en la digestibilidad ileal en las dietas puede ser debido al efecto positivo por la adición de PGH, por lo que se pudiera pensar que el tipo de sustrato presente en la dieta con GSDS es más susceptible a la acción de PGH. La no diferencia en la digestibilidad a nivel fecal puede ser explicada por la mayor cantidad de sustratos en la dieta B1 que son susceptibles a la acción de los microorganismos del intestino grueso que equipara a la acción de los mismos en la dieta B2.

La PGH tiene actividad enzimática principalmente como β -glucanasa, pero también tiene actividad como pectinasa y hemicelulasa, por lo que actúa principalmente sobre unidades de α -glucanos o sobre la celulosa (β -glucosa), pero también sobre galacturonanos y arabinosilanos; los GSDS tienen en promedio 35 % de β -glucanos más celulosa, y alrededor de 6 % de xilanos y arabinosa⁽¹⁰⁾, por lo tanto la PGH tiene una mayor cantidad de sustrato en donde actuar, y se puede deducir que los polisacáridos no amiláceos de los GSDS están protegiendo a cuerpos de proteína cruda, ya que la enzima al actuar sobre su sustrato está liberando estos cuerpos de proteína y permitiendo el acceso de las enzimas proteicas, y como consecuencia, el incremento en la digestibilidad del N.

PGH y X incrementaron la DIAE en la dieta a base de GSDS en 2.9 y 3.5 %, respectivamente, lo que representa una liberación de energía de 121 y 146 Kcal/kg de alimento, respectivamente. A nivel fecal sólo se encontró un incremento en la DFAE en las dietas adicionadas con +X (3.15 %), lo que representa una energía liberada de 131 Kcal/kg. Diferencias numéricas pueden observarse por el efecto de la PGH (2.05 %) lo cual representa una energía liberada de 85 Kcal/kg de alimento. Esto se explica por la energía que podría ser liberada

on β -glucans or cellulose (β -glucose) units, but can also act on galacturonanes and arabinosylanes. On the average, DDGS contains 35 % β -glucans plus cellulose and about 6 % xylanes and arabinose⁽¹⁰⁾, providing the PGH with more substrate on which to act. Based on this, it can be deduced that the non-amylose polysaccharides in the DDGS are protecting crude protein bodies because when the enzyme acts on its substrate it releases these protein bodies, exposing them to protein enzymes and thus increasing N digestibility.

Addition of PGH to B2 increased AIDN by 2.9 %, equivalent to 121 Kcal/kg energy released, while addition of X increased AIDN by 3.5 %, equivalent to 146 Kcal/kg energy released. In feces, the only observed increase was a 3.5 % (131 Kcal/kg energy released) rise in ADFE with addition of X. Presence of PGH produced numerical differences (2.05 %; 85 Kcal/kg energy released) which can be explained by energy release from glucose sources (e.g. β -glucans and cellulose), crude protein and probably ether extract. Finally, the positive effect of the enzymes on AIDN and AIDE is corroborated by a concomitant increase in AIDDM. These observations on addition of PGH coincide with previous reports^(13,24,25).

Raw material composition is clearly fundamental to the effectiveness of any given enzyme, but so is substrate susceptibility to hydrolysis. In the present case, the DDGS may have been the by-product of ethanol production involving xylanases (or other enzymes with cellulolytic activity), which are used to increase alcohol yield. The resulting by-product would therefore already be partially hydrolyzed, making it more susceptible to subsequent action by xylanases. The lack of an effect on N digestibility from presence of F+X coincides with previous reports^(13,24,25).

Ileal digestibility represents the animal's capacity to enzymatically extract energy from feed, and fecal digestibility includes the fermentation of indigested substrates by microbes, mostly in colon. This explains why addition of PGH in B1 and PGH and X in B2 slightly increased energy digestion in the small intestine. Change in the site of energy

por las fuentes de glucosa (β -glucanos y la celulosa), de proteína cruda y probablemente extracto etéreo. Por último, el efecto positivo de las enzimas sobre la DIAN y DIAE es corroborado con el incremento en la DIAMS por la acción de las enzimas.

Los efectos encontrados con la adición de PGH coinciden con reportes previos^(13,24,25). Aunque es evidente que la composición de la materia prima resulta elemental para la efectividad de una u otra actividad enzimática, es también relevante la susceptibilidad del sustrato para ser hidrolizado. Quizá se debe considerar la posibilidad de que en el proceso de producción de etanol se hayan usado xilanasas (u otras enzimas con actividad celulolítica) para aumentar el rendimiento de alcohol, por lo tanto el subproducto debe haber quedado parcialmente hidrolizado con una mayor susceptibilidad a la acción ulterior de estas enzimas. La falta de efecto de la presencia de +F+X sobre la digestibilidad del N coincide con los autores mencionados previamente.

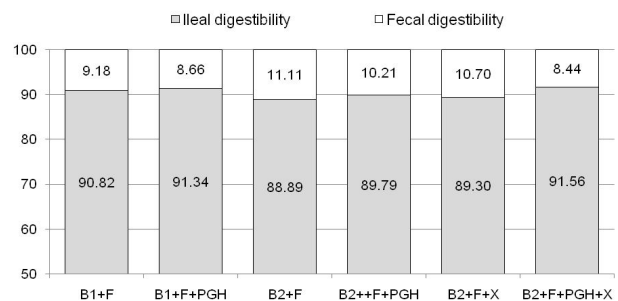
Considerando que la digestibilidad ileal representa la capacidad del animal para extraer la energía de los alimentos por medio de los procesos enzimáticos, y la digestibilidad fecal incluye además la fermentación de los sustratos no digeridos por medio de la flora microbiana presente en el ciego, es evidente que la adición de PGH a la dieta B1 y la adición de +PGH y +X a la dieta B2 incrementó ligeramente la digestión de la energía en intestino delgado. El cambio en el sitio de digestión de la energía fue más evidente con la adición de +PGH y +X a la dieta B2 ya que hubo un incremento de 2.7 puntos porcentuales en la liberación de energía en el intestino delgado (Figura 1).

La magnitud del cambio del sitio de digestión de la energía entre dietas se explica por la mayor cantidad de sustratos (fibra) susceptibles a las enzimas presentes en la dieta B2 (12.1 vs 4.0 % de fibra cruda) comparada con B1, lo que presumiblemente causó una mayor digestibilidad de otros nutrientes. Por ejemplo, las mejoras en la DIAN aumentó la DIAE en 45, 32 y 63 Kcal por la acción de +PGH, +X y +PGH+X (considerando que por cada gramo de PC se liberan alrededor de

digestion was most evident when PGH and X were added to B2, as shown by the 2.7 % rise in energy release in the small intestine (Figure 1). Such a large change in energy digestion site between diets can be explained by the greater amount of substrates (12.1 % crude fiber) susceptible to the enzymes added to B2 when compared to B1 (4.0 % crude fiber), which would apparently lead to greater digestibility of other nutrients. For example, improvements in AIDN increased AIDE by 45 Kcal (PGH), 32 Kcal (X) and 63 Kcal (PGH+X), considering release of about 5.6 Kcal of energy per gram of crude protein. The same effect also probably occurred for starch and fats. The change in digestion site observed in the present study in response to addition of enzymes coincides with the results of Taverner and Campbell⁽²⁶⁾. In their study of nutrient disappearance in the small and large intestine in pigs fed barley-based diets with added glucanase, they found that in the small intestine this enzyme increased energy digestibility by 27 % and N digestibility by 21 %.

In Exp 2, treatment had no effect on daily weight gain, suggesting that animals effectively used intake to compensate for differences in the diets' calculated energy density. In contrast, at the end of the experiment (63 d) treatment had a clear effect on feed efficiency (gain/intake) in that T1 (positive control) and T3 (low energy +F+PGH) had higher values than T2 (negative control) and T4 (low energy +F+PGH+DDGS). Feed efficiency (i.e.

Figura 1. Contribución porcentual del intestino delgado y del intestino grueso a la digestibilidad total de la energía
Figure 1. Percentage contribution of ileal and fecal digestibility to total energy digestibility



5.6 Kcal de energía). Probablemente el mismo efecto se presentó para el almidón y la grasa. El cambio en el sitio de digestión observado en el presente estudio por la inclusión de las enzimas, coincide con el reporte de Taverner y Campbell⁽²⁶⁾ en donde se midió la desaparición de nutrientes en el intestino delgado y grueso de cerdos alimentados con dietas basadas en cebada adicionadas con una glucanasa. En el estudio mencionado, la adición de la glucanasa aumentó la digestibilidad de la energía en 27 % y la del N en 21 % en el intestino delgado.

En el Exp 2, no se observaron efectos de tratamiento en la ganancia diaria de peso, lo que sugiere que los cerdos pudieron compensar efectivamente con el consumo las diferencias en la densidad energética calculada de las dietas. En cambio, al día 63 los tratamientos mostraron un claro efecto en la eficiencia alimenticia (ganancia/consumo): el testigo positivo y el tratamiento bajo en energía más la adición de +F+PGH fueron superiores al testigo negativo y la dieta con GSDS más enzimas. Al calcular la eficiencia energética, la ganancia de peso (kg) en función del consumo de EM (Mcal/d), fue clara la ventaja del tratamiento bajo en energía más la adición de fitasa y PGH, y es que por la acción de las enzimas, se estimó una liberación promedio de 93 ± 6.68 Kcal de EM. Esta inferencia resulta válida en la medida que se acepte el principio en el que los cerdos, sin impedimentos por la densidad física del alimento o en la oferta del mismo, tenderán a consumir la misma cantidad de energía (modificando el consumo) y que a una misma disponibilidad de energía la síntesis de proteína muscular y de la ganancia diaria de peso, será similar. Entonces, a un mismo consumo de energía y un gasto energético similar para el crecimiento de la masa muscular, una mayor disponibilidad de la energía podría resultar en una mayor deposición de grasa.

En la composición corporal se confirmó que, con una producción similar de masa muscular (tejido magro libre de grasa), las hembras produjeron canales más magras. Tanto en la composición corporal medida con el equipo de ultrasonido, como al despiece de las canales. Por lo tanto, la capacidad de los cerdos para compensar la dilución energética con el consumo explica la igualdad de la respuesta

weight gain [kg] / ME [Mcal/d] intake) showed T3 to release an estimated average of 93 ± 6.68 Kcal ME, a result of the added enzymes. This inference is valid as long as the principle is accepted that in the absence of impediments such as physical density of feed or feed offered, pigs will tend to consume the same amount of energy and that when energy availability is the same muscle protein synthesis and daily weight gain will be similar. Therefore, if energy intake and energy use for muscle growth are similar, greater energy availability could produce greater fat deposition.

Based on both the ultrasound analysis and carcass data, body composition results confirmed that even though muscle mass production was similar between the sexes, the gilts produced leaner carcasses. The animals' ability to compensate for energy dilution through increased intake explains the similar responses to the treatments, and even though energy release through enzyme activity was detected (by the energy efficiency calculation), net energy content was similar in the end. Comparison of growth response in the two enzyme-containing diets showed that addition of enzymes in the DDGS diets had no notable effect, despite a slight increase in AFDE observed in Exp 1.

Recent research on the use of DDGS in pig diets has shown that inclusion levels of up to 20 % during the growing-finishing phases have no negative effects on weight gain, feed intake and feed efficiency as long as diets are formulated based on digestible amino acid content⁽²⁷⁻³⁰⁾. Indeed, up to 30 % inclusion levels have been used in growing-finishing pigs with satisfactory yields^(31,32). This agrees with the absence of any effect on feed intake and weight gain during growing and finishing with the 13.6 and 22.0 % DDGS inclusion levels in the present study; however, feed efficiency was reduced. Reductions in feed efficiency have been reported elsewhere at 30 % DDGS inclusion levels^(33,34).

Reports on the effect of DDGS inclusion on carcass yield are contradictory. A recent review of the use of corn DDGS in pig diets stated that ten studies reported no effect on carcass yield, while another eight studies reported reductions in carcass yield and backfat thickness; lean tissue gain was not

a los tratamientos y, aún cuando la actividad de las enzimas para liberar energía fue detectada (por el método de cálculo de la eficiencia energética), es evidente que finalmente la energía neta fue similar. Entonces, comparando la respuesta en crecimiento a las dos dietas con enzimas, la efectividad de las enzimas en las dietas con GSDS tendrá que negarse, a pesar que en el Exp 1 hubo un ligero aumento en la DFAE.

Respecto al uso de GSDS, estudios recientes demuestran que se puede incluir hasta un 20 % en las dietas ofrecidas durante las fases de crecimiento-finalización sin que se observen efectos negativos sobre la ganancia de peso, consumo de alimento y eficiencia alimenticia, siempre y cuando las dietas sean formuladas en base al contenido de aminoácidos digestibles (27-30). En otros trabajos se logró incluir hasta 30 % de GSDS en las dietas de cerdos en crecimiento-finalización obteniéndose rendimientos productivos satisfactorios(31,32). Estas observaciones concuerdan con el consumo de alimento y la ganancia de peso obtenidos en el presente trabajo, ya que la inclusión de 13.6 y 22.0 % de GSDS en las etapas de crecimiento y finalización no afectó estas variables; sin embargo, se redujo la eficiencia alimenticia. En otros estudios se han observado reducciones en la eficiencia alimenticia con niveles de 30 % de inclusión de GSDS(33,34).

En cuanto al efecto de los GSDS sobre el rendimiento de la canal, los resultados son contradictorios. En una revisión reciente sobre el uso de GSDS de maíz en cerdos, se encontró que en 10 estudios no se afectó el rendimiento de la canal, pero en otros ocho reportes se encontraron reducciones en esta variable, así como reducciones en la profundidad del lomo; pero el porcentaje de tejido magro no fue afectado en la mayoría de estos reportes(10). Se ha sugerido que la inclusión de ingredientes ricos en fibra en la dieta de cerdos puede reducir el rendimiento de la canal porque el aumento en el llenado del intestino incrementa la masa intestinal(35). Esto podría explicar la reducción del rendimiento de la canal en algunos experimentos donde se incluyeron GSDS en la dieta. La reducción de la profundidad del lomo por el uso de GSDS en algunos experimentos pudo ser consecuencia de la

afectado en most reports(10). Inclusion of fiber-rich ingredients in pig diets may reduce carcass yield since greater filling of the intestine increases intestinal mass(35). This could explain the lower carcass yields reported in some experiments including DDGS in pig diets. Reductions in back fat thickness with DDGS use reported in some studies could be caused by lower weight gain in pigs consuming DDGS, which would cause them to have a lower slaughter weight(12,34,36).

Energy digestibility of the DDGS (specifically the carbohydrates) in Exp 1 improved with addition of PGH and X. Presence of the DDGS decreased the amount of substrate susceptible to phytase and PGH, which consequently lowered potential energy release (121 Kcal DE/kg due to PGH; 146 Kcal DE/kg due to X). The amount of xylanes added to the diets in the present study was relatively high (especially in the 2/35d phase), but these non-amylaceous polysaccharides contributed only modestly to the energy released when compared to diets containing other grains such as wheat.

In Exp 1, addition of PGH and X increased energy release, but in Exp 2 improvements in feed and energy efficiency were only observed with PGH, meaning the effect of xylanase was inconsistent. Consequently, the unique composition of DDGS limits its use even though it has a promising nutritional profile. For instance, there was no evidence in the present study that the fiber in the DDGS limited the animals' ability to compensate for lower energy density by increasing feed intake. However, in the DDGS diets, particularly during the 2/35d phase, the lack of response in efficiency may have been caused by lower energy availability, with two possible causes. First, the increased fiber intake and concomitant expansion of the visceral mass may have raised energy demands to maintain tissue deposition(37,38). Second, these diets required excess protein to meet Trp demands which altered the Lys:protein ratio and could have increased N and energy digestibility. This excess of absorbed N may have reduced energy use efficiency since elimination of these excesses as urea is an energy-intensive process(39,40). The weight gain results support these possibilities. Although not statistically

menor ganancia de peso mostrada en los cerdos que consumieron GSDS, por lo que fueron sacrificados a un peso menor^(12,34,36).

En el Exp 1 se comprobó que la digestibilidad de la energía de los GSDS (particularmente referida a los hidratos de carbono) se mejoró por la inclusión de +PGH y +X. Los sustratos susceptibles a la fitasa y las enzimas PGH fueron relativamente menores por la inclusión de los GSDS, por lo tanto el potencial de liberación de energía fue menor (121 y 146 Kcal de EID/kg por efecto de +PGH y +X, respectivamente); en el caso de los xilanos, aún cuando la proporción del ingrediente fue relativamente alta en la dieta (particularmente de la segunda fase), el aporte de estos polisacáridos no amiláceos no fue finalmente tan alto (por ejemplo, en comparación con lo que sucede con dietas basadas en trigo).

En el Exp 1 se aumentó la liberación de energía por efecto de +PGH y +X, pero en el Exp 2, las mejoras en la eficiencia alimenticia y energética solamente se observaron con PGH, lo que sugiere un efecto poco consistente de la xilanasa. En consecuencia, aún cuando el perfil nutricional de los GSDS resulta atractivo, estará limitado por su peculiar composición: con los ingredientes usados, no hay evidencia de que el aporte de fibra haya limitado la capacidad de los cerdos para compensar la menor densidad energética con el consumo. Sin embargo, en las dietas con GSDS, particularmente en la segunda fase de alimentación, quizás la no respuesta en la eficiencia fue por la menor disponibilidad de energía como consecuencia de dos mecanismos: a) un aumento en el consumo de fibra con un aumento concomitante en la masa visceral, lo que incrementó la demanda de energía para sostener la proliferación de los tejidos^(37,38), y b) al formular la dieta se tuvo que permitir un exceso de proteína (alterando la relación Lys:proteína) para alcanzar a cubrir las demandas de Trp, lo que podría afectar positivamente la digestibilidad de N y energía, pero a nivel metabólico, el exceso de N absorbido redujo la eficiencia de uso de la energía, puesto que la eliminación de estos excesos en forma de urea es un proceso energéticamente muy demandante^(39,40).

significant, weight gain in the pigs fed T4 (containing DDGS) was 6.6 % lower than in T1 (positive control), 3.9 % lower than in T2 (negative control) and 5.7 % lower than in T3 (T2+PGH).

Reductions in pig production variables with some DDGS sources may result from use of low quality sources, that is, ones with lower than expected energy and amino acids contents and availability. These conditions can be exacerbated by DDGS's high fiber content, which may explain the lack of response in the present study with addition of X in the DDGS diet. This highlights the need to go beyond determining substrate amount and control the quality of the chemical components in the ingredient providing the substrate. Next generation ethanol plants now include measures to minimize quality variation problems in the DDGS by-product.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

The moderate reduction in energy content (up to 150 Kcal ME/kg) caused by use of DDGS in the present study did not prevent the animals from compensating through feed intake, which led to negative effects on feed efficiency. As a potential feed ingredient, DDGS of lower value than the original maize, growth responses are inconsistent to the addition of phytase, glucanase, hemicellulose, pectinase and xylanase enzymatic activities. The fiber concentration and low Lys:protein ratio compared to other feed inputs are the two primary reasons. Moreover, use of phytases, glucanases and xylanases to improve the performance of DDGS in pig feed requires a complete knowledge of their activities, what substrates are present in the diet and their susceptibility to hydrolysis. When formulating feeds using DDGS produced in modern ethanol plants, particular care should be taken to avoid energy value overestimations and maintain the nitrogen / amino acids balance.

End of english version

Estos señalamientos pueden ser soportados por los resultados de ganancia de peso, que si bien no

fueron estadísticamente diferentes entre tratamientos, la ganancia de peso de los cerdos alimentados con GSDS fue menor en 6.6, 3.9 y 5.7 % comparada con el testigo positivo, testigo negativo y testigo negativo más la adición de PGH, respectivamente.

Se ha sugerido que las reducciones de las variables productivas de los cerdos observadas con algunas fuentes de GSDS se deben al uso de fuentes de menor calidad, específicamente, cuando el contenido y disponibilidad de la energía y aminoácidos es menor a lo esperado. Presumiblemente estas condiciones se agravan por el alto contenido de fibra presente en los GSDS. Esto podría explicar la falta de respuesta de la adición de +X a la dieta con GSDS en el presente trabajo, lo que sugiere que además de la cantidad del sustrato se debe considerar la calidad de todos los componentes químicos inherentes al ingrediente portador del sustrato. Actualmente, los problemas de variación en la calidad de los GSDS se están tratando de minimizar en plantas productoras de etanol de nueva generación.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

Con la materia prima usada, una reducción moderada de la energía (hasta 150 Kcal de EM/kg) no impide que los cerdos compensen con el consumo la diferencia; en consecuencia, se estará afectando negativamente la eficiencia alimenticia. El mejor uso de las enzimas fitasas, glucanasas y xilanasas exige el conocimiento de su actividad, la presencia de los sustratos en la dieta y su susceptibilidad a la hidrólisis. El maíz seco de destilería con solubles es un buen ingrediente, pero aunque su valor energético se mejore por el uso de las actividades enzimáticas de fitasa, glucanasa, hemicelulasa, pectinasa y xilanasas, la respuesta en crecimiento no es consistente. Esto como consecuencia de factores inherentes como la concentración de fibra y la baja relación Lys:proteína respecto a otros insumos alimenticios. Por lo que, en la formulación con granos secos de destilería con solubles de plantas modernas para la producción de etanol se tendrán que cuidar sobreestimaciones de su valor energético y se debe vigilar el balance de nitrógeno y aminoácidos.

LITERATURA CITADA

1. Bindelle J, Leterme ABP. Nutritional and environmental consequences of dietary fibre in pig nutrition: a review. *BASE* 2008;(12):69-80.
2. Metzler BU, Mosenthin R. A review of interactions between dietary fiber and the gastrointestinal microbiota and their consequences on intestinal phosphorus metabolism in growing pigs. *Asian-Aust J Anim Sci* 2008;(21):603-615.
3. Angel R, Tamim NM, Applegate TJ, Dhandu AS, Ellestad LE. Phytic acid chemistry: Influence on Phytin-phosphorus availability and phytase efficacy. *J Appl Poult Res* 2002;(11):471-480.
4. Bedford MR, Schulze H. Exogenous enzymes for pigs and poultry. *Nutr Res Rev* 1998;11:91-114.
5. Khattak FM, Pasha TN, Hayat Z, Mahmud A. Enzymes in poultry nutrition. *J Anim PI Sci* 2006;16(1-2):1-7.
6. Le Goff G, van Milgen J, Noblet J. Influence of dietary fiber on digestive utilization and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows. *Anim Sci* 2002;74:503-515.
7. Cheryan M. Phytic acid interactions in food systems. *CRC Critical Rev Food Sci Nutr* 1980;13:297-335.
8. Rausch KD, Belyea RL. The future of coproducts from corn processing. *Appl Biochem Biotech* 2006;128:47-86.
9. Spiels MJ, Whitney MH, Shurson GC. Nutrient database for distiller's dried grains with soluble produced from new ethanol plants in Minnesota and South Dakota. *J Anim Sci* 2002;80:2639-2645.
10. Stein HH, Shurson GC. Invited review: The use and application of distillers dried grains with soluble (DDGS) in swine diets. *J Anim Sci* 2009;87:1292-1303.
11. Pedersen C, Boersma MG, Stein HH. Digestibility of energy and phosphorus in ten samples of distillers dried grains with soluble fed to growing pigs. *J Anim Sci* 2007;85:1168-1176.
12. Whitney MH, Shurson GC, Johnston LJ, Wulf DM, Shanks BC. Growth performance and carcass characteristics of growing-finisher pigs fed high-quality corn distillers dried grain with soluble originating from a modern Midwestern ethanol plant. *J Anim Sci* 2006;84:3356-3363.
13. Soria FAI, Mariscal LG, Gómez RS, Cuarón IJA. Efecto de la adición de enzimas fibrolíticas y una fitasa para cerdos en crecimiento sobre la digestibilidad de nutrientes. *Tec Pecu Méx* 2009;47(1):1-14.
14. Adeola O, Sands JS, Simmins PH, Schulze H. The efficacy of an *Escherichia coli*-derived phytase preparation. *J Anim Sci* 2004;(82):2657-2666.
15. Nortey TN, Patience JF, Simmins PH, Trottier NL, Zijlstra RT. Effects of individual or combined xylanase and phytase supplementation on energy, amino acid, and phosphorus digestibility and growth performance of grower pigs fed wheat-based diets containing wheat millrun. *J Anim Sci* 2007;(85):1432-1443.
16. Nortey TN, Patience JF, Sands JS, Trottier NL, Zijlstra RT. Effects of xylanase supplementation on the apparent digestibility and digestible content of energy, amino acids, phosphorus, and calcium in wheat and wheat by-products from dry milling fed to growers pigs. *J Anim Sci* 2008;86:3450-3464.
17. Ravindran V, Cabahug S, Ravindran G, Selle PH, Bryden WL. Response of broiler chickens to microbial phytase supplementation as influenced by dietary phytic acid and non-phytate phosphorus levels. II. Effects on apparent metabolizable

FITASA Y ENZIMAS FIBROLÍTICAS EN DIETAS PARA CERDOS CON DIFERENTES SUSTRATOS

- energy, nutrient digestibility and nutrient retention. *Br Pult Sci* 2000;41:193-200.
18. Mariscal G, Ávila E, Tejada I, Cuarón J, Vásquez C. Tablas del contenido de aminoácidos totales y de los coeficientes de digestibilidad verdadera para aves y cerdos. Querétaro, México. INIFAP; 2002.
 19. NRC. National Research Council. Nutrient Requirements of Swine. 10th Ed. Washington, DC, USA: Natl. Acad. Press; 1998.
 20. Reis de Souza TC, Mar BB, Mariscal LG. Canulación de cerdos posdestete para pruebas de digestibilidad ileal: desarrollo de una metodología. *Tec Pecu Mex* 2000;38(2):143-150.
 21. AOAC. Official methods of analysis. 17th ed. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists. 2000.
 22. Fenton TW, Fenton M. An improved procedure for determination of chromic oxide in feed and feces. *Canadian J Anim Sci* 1979;59:631-634.
 23. SAS User's Guide: Statistics (version 6 ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 1989.
 24. Juanpere J, Pérez-Vendrell AM, Angulo E, Brufau J. Assessment of potential interaction between phytase and glycosidase enzyme supplementation on nutrient digestibility in broilers. *Poultry Sci* 2005;84:571-580.
 25. Yáñez JL, Beltranena E, Cervantes M, Zijlstra RT. Effect of phytase and xylanase supplementation or particle size on nutrient digestibility of diets containing distillers dried grains with solubles (DDGS) co-fermented from wheat and corn in ileal-cannulated grower pigs. *J Anim Sci* 2011;(89):113-123.
 26. Taverner MR, Campbell RG. The effects of protected dietary enzymes on nutrient absorption in pigs [resumen]. In: Buraczewska L, Buraczewski S, Pastuszewska B, Zebrowska T editors. Proceed, 4th Intern Seminar on Digestive Physiology in the Pig. Polish Academy of Science, Jablonna, Warsaw, Poland. 1988;337.
 27. Augspurger NR, Petersen GI, Spencer JD, Parr EN. Alternating dietary inclusion of corn distillers dried grains with soluble (DDGS) did not impact growth performance of finishing pigs [abstract]. *J Anim Sci* 2008;86(Suppl 1):523.
 28. Drescher AJ, Johnston LJ, Shurson GC, Goihl J. Use of 20 per cent dried distillers grains with soluble (DDGS) and high amounts of synthetic amino acids to replace soybean meal in grower-finisher swine diets [abstract]. *J Anim Sci* 2008;86(Suppl 2):28.
 29. Duttlinger AW, Tokach MD, Dritz SS, DeRouchy JM, Goodband JL, Goodband RD, Prusa HJ. Effects of increasing dietary glycerol and dried distillers grains with soluble on growth performance of finishing pigs [abstract]. *J Anim Sci* 2008;86 (Suppl 1):607.
 30. Widmer MR, McGinnis LM, Wulf DM, Stein HH. Effects of feeding distillers dried grains with soluble, high-protein distillers dried grains, and corn germ to growing-finishing pigs on pig performance, carcass quality, and the palatability of pork. *J Anim Sci* 2008;86:1819-1831.
 31. Cook D, Paton N, Gibson M. Effect of dietary level of distillers dried grains with soluble (DDGS) on growth performance, mortality, and carcass characteristics of grow finish barrows and gilts [abstract]. *J Anim Sci* 2005;83(Suppl 1):335.
 32. DeDecker JM, Ellis M, Wolter BF, Spencer J, Webel DM, Bertelsen CR, Peterson BA. Effects of dietary level of distillers dried grains with soluble and fat on the growth performance of growing pigs [abstract]. *J Anim Sci* 2005;83(Suppl 2):96.
 33. Gaines AM, Petersen GI, Spencer JD, Augspurger NR. Use of corn distillers dried grains with soluble (DDGS) in finishing pigs [abstract]. *J Anim Sci* 2007;85(Suppl 2):96.
 34. Gaines AM, Petersen GI, Spencer JD, Augspurger NR, Kitt SJ. Effect of corn distillers dried grains with soluble (DDGS) withdrawal program on growth performance and carcass yield in grow-finish pig [abstract]. *J Anim Sci* 2007;85(Suppl 1):438.
 35. Kass ML, van Soest PJ, Pond WG. Utilization of dietary fiber from alfalfa by growing swine. I. Apparent digestibility of diet components in specific segments of gastrointestinal tract. *J Anim Sci* 1980;50:175-191.
 36. Thacker PA. Nutrient digestibility, performance and carcass traits of growing-finishing pigs fed diets containing dried wheat distillers grains with soluble. *Can J Anim Sci* 2006;86:527-529.
 37. Brunsgaard G. Effects of cereal type and feed particle size on morphological characteristics, epithelial cell proliferation, and lectin binding patterns in the large intestine of pigs. *J Anim Sci* 1998;76:2787-2798.
 38. Serena A, Hedemann MS, Knudsen BKE. Influence of dietary fiber on luminal environment and morphology in the small and large intestine of sows. *J Anim Sci* 2008;86:2217-2227.
 39. Gómez RS, Lewis AJ, Miller PS, Chen HY, Diedrichsen RM. Body composition and tissue accretion rates of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding level. *J Anim Sci* 2002;80:654-662.
 40. Sauvant D, Perez JM, Tran G. Tables of composition and nutritional value of feed material: pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish. Versailles: Wageningen Academic Publishers, Wageningen and INRA Editions; 2004.