

Efecto de la adición de enzimas fibrolíticas y una fitasa para cerdos en crecimiento sobre la digestibilidad de nutrientes

Effect of fibrolytic enzymes and phytase on nutrient digestibility in sorghum-canola based feeds for growing pigs

Arlette Irina Soria Flores^a, Gerardo Mariscal Landín^b, Sergio Gómez Rosales^b,
José Antonio Cuarón Ibargüengoytia^b

RESUMEN

En tres experimentos se evaluó la digestibilidad y productividad en cerdos alimentados con dietas que contenían un complejo multienzimático de pectinasas, b-glucanasas y hemicelulasas (PGH), y su interacción con una fitasa (FYT). En el Exp 1 se usaron 16 cerdos de 43 kg, en un diseño completamente al azar en arreglo factorial 2 (FYT: 0 y 0.3 kg/t) x 2 (PGH: 0 y 0.3 kg/t). En el Exp 2 se usaron 36 cerdos de 40 kg, en un diseño de bloques completos al azar, con arreglo factorial: dos formas físicas (harina o pelet) y tres tipos de formulación (3.08 Mcal de EM/kg, reducción Ca y P, con o sin las enzimas; y un control positivo: 3.25 Mcal de EM/kg y niveles adecuados de Ca y P). En el Exp 3 se usaron los mismos tratamientos que en el Exp 2, pero sólo en pelet, y se evaluó la respuesta productiva. En el Exp 1, la combinación de FTY y PGH aumentaron la energía digestible (ED) y energía metabolizable (EM) ($P<0.05$) en 130 y 146 kcal/kg, y mejoraron la digestibilidad de Ca y P ($P<0.05$). En el Exp 2, las enzimas mejoraron la digestibilidad de Ca, P y energía ($P<0.05$) liberándose 108 kcal extras de EM. En el Exp 3, las enzimas mejoraron la eficiencia alimenticia y energética ($P<0.01$), y por este efecto se calculó una liberación de energía de 129 Kcal de EM/kg. Se concluye que la adición de FYT y PGH a dietas sorgo-canola incrementa la EM entre 108 y 146 kcal/kg.

PALABRAS CLAVE: Cerdos, Enzimas fibrolíticas, Fitasa, Fósforo, Energía.

ABSTRACT

Nutrient digestibility and productive performance in pigs fed sorghum-canola based diets containing a multi-enzymatic complex (pectinases, b-glucanases and hemicellulases - PGH) or phytase (FYT) or their combination were evaluated in three experiments. Exp 1 involved 16 barrows (43 kg) in a completely randomized design with a 2 (FYT: 0 and 0.3 kg/t) x 2 (PGH: 0 and 0.3 kg/t) factorial arrangement. Exp 2 included 36 barrows (40 kg), in a completely randomized block design with a factorial arrangement of two physical forms (powder or pellet) and three formulations (1. 3.08 Mcal ME/kg, reduced Ca and P, with or without enzymes; 2 positive control; and 3. 3.25 Mcal ME/kg and adequate levels Ca and P levels) to measure digestibility. Exp 3, used the same treatments as in Exp 2, but only in pellet form, to evaluate productive performance. In Exp 1, the combination of FYT and PGH increased digestible energy (DE) and metabolized energy (ME) ($P<0.05$) between 130 and 146 kcal/kg, and improved Ca and P digestibility ($P<0.05$). In Exp 2, the enzymes improved Ca, P, and energy digestibility ($P<0.05$), releasing 108 extra kcal of ME. In Exp 3, use of the enzymes improved feed and energy efficiency ($P<0.01$), with 129 Kcal ME/kg released as a result. Addition of FYT and PGH to the sorghum-canola based diets increased ME between 108 and 146 kcal ME/kg.

KEY WORDS: Pigs, Fibrolytic enzymes, Phytase, Phosphorus, Energy.

INTRODUCCIÓN

En la alimentación de cerdos hay una gran presión económica para el uso de ingredientes nutritivamente

INTRODUCTION

There is strong financial pressure to use nutrient-rich ingredients such as cereal grains and soy paste

Recibido el 2 de abril de 2007. Aceptado para su publicación el 22 de mayo de 2008.

^a Programa de Maestría en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal, Universidad Nacional Autónoma de México.

^b Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal, INIFAP. Km 1 Carretera a Colón, 76280, Ajuchitán, Colón, Qro. Tel 01 (419) 2920033. cuaron.jose@inifap.gob.mx. Correspondencia al cuarto autor

densos (los granos de cereales y pasta de soya). Los alimentos de origen vegetal que se han identificado como alternativos, son generalmente más ricos en paredes celulares o hidratos de carbono estructurales⁽¹⁾, lo que disminuye su digestibilidad⁽²⁾. El aparato digestivo de los cerdos es incapaz de digerir los polisacáridos no amiláceos o los fitatos, cuya degradación depende de la actividad bacteriana en el colon, donde los nutrientes liberados no son del todo aprovechados por el animal^(3,4).

Probablemente, la mayor consecuencia de la menor digestibilidad de los polisacáridos no amiláceos (PNA) y de los efectos negativos de los fitatos, sea la menor disponibilidad de la energía, que, en combinación con su bajo contenido de energía, puede impedir la compensación de la dilución energética con el consumo^(5,6). La pasta de canola es un ingrediente proteico que, por sus características de composición química, es un buen ejemplo de ingrediente alternativo: la pasta de canola es relativamente más rica en polisacáridos no amiláceos que la pasta de soya, particularmente en lignina y compuestos polifenólicos⁽⁷⁾; además, tiene un alto contenido de fósforo (1.01 g/100 g MS), pero su disponibilidad es baja (21 %), porque el 70 % o más está en forma de fósforo fítico^(8,9,10).

La mayor parte de los PNA de la canola se encuentran en la cascarilla, misma que en el proceso de extracción del aceite permanece en la pasta, representando 30 % de ésta⁽¹¹⁻¹⁴⁾. Así, la pasta de canola normalmente aporta de fibra detergente neutro (FDN) 21 % y de fibra detergente ácido (FDA) 17 %⁽¹²⁾. En contraste, el grano de sorgo contiene 18 % de FDN y 8.3 % de FDA; tiene, además, una matriz proteica compleja y almidones ramificados que complican su digestión^(2,15). Los componentes de la fibra del sorgo hacen que su degradación sea más lenta que la del arroz, cebada, maíz o trigo^(4,16), por lo que una buena proporción de la digestión del sorgo depende de la actividad fermentativa⁽²⁾. Igual sucede con la pasta de canola, cuando se compara con la pasta de soya.

Se esperaría que las dietas que incluyeran estos ingredientes respondieran muy positivamente a la adición de enzimas exógenas que actúan sobre los

in pig feeding. Vegetal source feeds are alternatives, but are rich in cell walls or structural carbohydrates⁽¹⁾, which decrease digestibility⁽²⁾. The pig digestive apparatus is unable to digest non-amylaceous polysaccharides or phytates and so their degradation depends on bacterial activity in the colon, where the nutrients released are not completely utilized by the animal^(3,4).

The principal consequence of the lower digestibility of non-amylaceous polysaccharides and negative effects of phytates is probably lower energy availability. In combination with low energy content, this can prevent compensation for energy dilution through intake^(5,6). Canola paste is a good example of an alternative ingredient. It is relatively richer in non-amylaceous polysaccharides (NAP) than soy paste, particularly in lignin and polyphenolic compounds⁽⁷⁾, and has high phosphorous content (1.01 g/100 g DM), but with low availability (21 %) since 70 % of it takes the form of phytic phosphorous^(8,9,10).

Most of the NAP in canola is found in the husk, which represents 30 % of the paste after oil extraction⁽¹¹⁻¹⁴⁾. Canola paste normally provides 21 % neutral detergent fiber (NDF) and 17 % acid detergent fiber (ADF)⁽¹²⁾. In contrast, sorghum grain contains 18 % NDF and 8.3 % ADF, and has a complex protein matrix and branched starches that complicate its digestion^(2,15). The components of sorghum fiber make its degradation slower than rice, barley, corn or wheat fibers^(4,16), meaning digestion of sorghum is largely fermentative⁽²⁾. This also occurs with canola paste in comparison to soy paste.

It is expected that diets containing these ingredients would respond positively to the addition of exogenous enzymes that act on the indigestible substrates, especially if this favors digestion in the more proximal portions of the intestine⁽⁶⁾. Given the high NAP content of sorghum grain/canola paste mixtures, addition of enzymes with polygalacturonase and hemicellulotic activity could improve their digestion, and added phytase could increase energy release⁽¹⁷⁾.

sustratos indigestibles, particularmente si se favoreciera la digestión en las primeras porciones del intestino⁽⁶⁾. Considerando el perfil de PNA en mezclas de grano de sorgo y pasta de canola, la adición de enzimas con actividad poli-galacturonasa y hemicelulolítica podría mejorar el proceso de digestión, pero también, con dietas ricas en PNA, la adición de una fitasa podría aumentar la liberación de energía⁽¹⁷⁾.

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la adición de una fitasa (FYT) y un complejo enzimático, compuesto de pectinasas, α -glucanasas y hemicelulasas (PGH), en dietas basadas en sorgo y pasta de canola, sobre la digestibilidad fecal aparente de nutrientes y en la respuesta productiva de cerdos en crecimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la granja experimental del Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal (CENIDFA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicada en Ajuchitlán, Querétaro.

Constó de tres experimentos, y en los Exp 1 y 2 y se midió la digestibilidad fecal aparente de nutrientes. Los tratamientos se asignaron desde el ingreso de los animales a las jaulas metabólicas. Durante 14 días antes del inicio de la colección de las excretas, los cerdos recibieron 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 período 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.

El periodo de colección tuvo una duración de 7 días, de los cuales 4 fueron los de muestreo, se asignó 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 que se secó en una estufa de aire forzado para estimar finalmente el consumo de materia seca.

The study objective was to determine the effect of addition of an enzymatic complex containing pectinases, α -glucanases and hemicellulases (PGH), and a phytase (FYT) to diets based on sorghum grain/canola paste on apparent fecal nutrient digestibility and productive response in growing pigs.

MATERIALS AND METHODS

The study consisted of three experiments done at the experimental farm of the National Research Center in Animal Physiology (Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal - CENIDFA) of the National Institute for Forestry, Agricultural and Livestock Research (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias - INIFAP) in Ajuchitlán, Querétaro state, Mexico.

Exp 1 and 2 were designed to measure the apparent fecal digestibility of nutrients. Treatments were assigned from the moment the animals were placed in metabolic corrals. For 14 d, before feces collection began, the animals were fed ad libitum twice daily (0730 and 1730) for a 2-h period to adapt them to the feeding regime to be followed during the collection period. Water was provided six times daily (2 L each time) at regular intervals. Pigs were weighed when placed in the corrals and when removed.

The collection period lasted 7 d, during which the animals were provided 90 % of the intake observed during the adaptation period to minimize feed waste. The animals were allowed to eat the offered ration for 90 min after which any uneaten feed was removed and dried in a forced air oven to estimate dry matter intake. Ferric oxide (0.2 %) was used as a marker. For four consecutive days during the collection period, all feces were collected three times daily (0730, 1230 and 1730 h). Immediately after collection the feces were dried in a forced air oven at 56 °C, weighed, and milled (Thomas Wiley) until passing through a 1 mm mesh. Samples were stored in plastic bags, and 250 g subsamples were taken and stored in plastic containers in a cool, dark place.

Con el uso de óxido férrico (al 0.2 %) como marcador, las heces se colectaron por cuatro días consecutivos; la colecta fue total, tres veces al día (0730, 1230 y 1730). Inmediatamente después de cada colecta, las heces se deshidrataron en una estufa de aire forzado (56 °C); y una vez secas, se pesaron y se molieron en un equipo Thomas Wiley hasta pasar por una criba de 1 mm. Las muestras se almacenaron en bolsas de plástico, se tomó una submuestra de 250 g y se almacenó en frascos de plástico en un sitio fresco y oscuro.

La orina se colectó en cubetas de plástico, que contenían 50 ml de una solución 6N de HCl. Se midió en una probeta el total de orina, de la cual se tomó una alícuota de 5 % del volumen total registrado, manteniéndose en congelación (-20 °C) en frascos de vidrio color ámbar hasta su análisis.

A las muestras se les determinó materia seca (MS), cenizas y nitrógeno (N)⁽¹⁸⁾. El calor de combustión de las muestras se obtuvo con una bomba calorimétrica (PARR instruments, modelo 1266). El contenido de calcio (Ca) y fósforo (P) se obtuvo por el método de inyección de flujo (Foss Tecator 5012) previa digestión en un horno microondas. Los valores de FDA y FDN se obtuvieron por medio del método de van Soest⁽¹⁹⁾, con el aparato ANKOM 200/220 Fiber Analyzer.

Los coeficientes de digestibilidad aparente se calcularon y se estimó la energía digestible (ED), energía metabolizable (EM) y el balance de N. En el Exp 1, las fórmulas usadas para la determinación de la digestibilidad de la energía, ED y EM fueron las siguientes:

Digestibilidad de la energía = (energía bruta consumida - energía excretada en heces) ÷ energía bruta consumida x 100.

ED= energía bruta de la dieta - energía excretada en heces.

EM= eEnergía bruta de la dieta - (energía excretada en heces + energía excretada en orina).

En el Exp 2 solamente se determinó la digestibilidad de la energía, y a partir de ésta se estimó la ED y la EM usando las siguientes fórmulas:

Urine was collected in plastic buckets containing 50 ml of a 6N HCl solution. Total urine volume was measured in a graduated flask. An aliquot was taken equal to 5 % of the total volume, placed in an amber glass container and frozen (-20 °C) until analysis.

Dry matter (DM), ash and nitrogen (N) were determined for the feces samples⁽¹⁸⁾, and their combustion heat measured with a calorimetric pump (PARR instruments, model 1266). Calcium (Ca) and phosphorous (P) content were determined with the flow injection method (Foss Tecator 5012) after digestion in a microwave oven. The NDF and ADF were measured following the method of van Soest⁽¹⁹⁾, with an ANKOM 200/220 Fiber Analyzer.

The apparent digestibility coefficients were calculated and then the digestible energy (DE), metabolizable energy (ME) and N balance were estimated. In Exp 1, the formulas used to determine energy digestibility, DE and ME were:

Energy digestibility = ((gross energy intake - energy excreted in feces) ÷ gross energy intake) x 100.

DE= gross energy in diet - energy excreted in feces.

ME= gross energy in diet - (energy excreted in feces + energy excreted in urine).

In Exp 2, only energy digestibility was determined, and based on this, the DE and ME were estimated using the next formulas:

DE= energy digestibility x gross energy in diet.

ME= DE x 0.95 (according to NRC⁽¹¹⁾ recommendations).

Experiment 1

A total of 16 barrows (alternating Landrace x Duroc crosses; 43 ± 0.5 kg) were used to measure the effect of addition of phytase (FYT) and the enzymatic complex (PGH) on the digestibility of a sorghum grain/canola paste diet. The phytase used is from *Peniophora lycii*, acts within a pH range of 3.5 to 5.5 and has an activity of 5000 units/g

ED= digestibilidad de la energía x energía bruta de la dieta.

EM= ED x .95 (de acuerdo a las recomendaciones del NRC⁽¹¹⁾).

Experimento 1

Se midió el efecto de la adición o no de una fitasa (FYT) y complejo enzimático (PGH) sobre la digestibilidad de dietas sorgo y pasta de canola en cerdos de 43 ± 0.5 kg. Se usaron 16 cerdos machos castrados, producto de cruzamientos alternos de Landrace y Duroc. Las enzimas que se usaron fueron una fitasa proveniente de *Peniophora lycci*, que actúa en un rango de pH de 3.5 a 5.5, y contiene una actividad de 5,000 unidades/g de producto. El complejo multienzimático actúa en un rango de pH de 3 a 6 y contiene principalmente una actividad de 50 unidades de α -glucanasa de origen fungal/gramo proveniente de *Aspergillus aculeatus*; también contiene actividad remanente sobre pectinas y hemicelulosa, pero la actividad de estas enzimas no ha sido cuantificada (DSM Nutritional Products México; Ronozyme P5000® y VP®, respectivamente).

La composición de las dietas se presenta en el Cuadro 1. Las dietas se calcularon a 3.16 Mcal/kg, para favorecer un mayor uso de canola. El aporte de aminoácidos digestibles cubrió los requerimientos, calculados con el modelo de predicción del NRC⁽¹¹⁾, para esta población. La FYT se incluyó corrigiendo los niveles de Ca y P, con la esperanza de una respuesta por la hidrólisis de los fitatos (equivalente a una reducción del 0.1 % del aporte en la dieta).

Los resultados se analizaron según un modelo completamente al azar en un arreglo factorial⁽²⁰⁾ con dos niveles de inclusión de FYT (0 y 0.3 kg/t) x 2 niveles de PGH (0 y 0.3 kg/t). Cada tratamiento contó con cuatro repeticiones en la interacción y ocho repeticiones para el efecto mayor de las enzimas (FYT y PGH). El análisis de datos se realizó con el paquete estadístico SAS⁽²¹⁾ usando los Modelos Lineales Generales y las comparaciones planeadas del arreglo factorial, efecto mayor de

product. The multienzymatic complex (PGH) acts within a pH range of 3 to 6 and its main constituent is 50 units fungal α -glucanase / g from *Aspergillus aculeatus*. It also contains remanent activity on pectins and hemicellulose, although this has not been quantified (DSM Nutritional Products México; Ronozyme P5000® and VP®, respectively).

To favor greater use of the canola, the diets were formulated to contain 3.16 Mcal/kg (Table 1). Digestible amino acid contents covered requirements as calculated using the NRC⁽¹¹⁾ prediction model for this population. The Ca and P levels were corrected with inclusion of the FYT, with the expectation of a response due to phytate hydrolysis (equivalent to a 0.1 % reduction in diet contribution).

Results analysis was done using a completely random model with a factorial arrangement⁽²⁰⁾ of

Cuadro 1. Dietas experimentales. Experimento 1

Table 1. Experimental diets. Experiment 1

Ingredients	Diet 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4
FYT, kg/t	0.00	0.30	0.00	0.30
PGH, kg/t	0.00	0.00	0.30	0.30
Sorghum, grain, kg	737.30	734.90	737.00	734.60
Soya, paste, kg	115.00	89.00	115.00	89.00
Canola, paste, kg	114.00	148.00	114.00	148.00
Ca Carbonate, kg	9.20	8.24	9.20	8.24
L-Lysine HCl, kg	2.00	2.20	2.00	2.20
Ca Orthophosphate, kg	6.85	1.70	6.85	1.70
Premix, kg ^a	15.65	15.66	15.65	15.66
Estimated Composition				
ME, Mcal/kg	3.15	3.15	3.15	3.15
Crude protein, %	16.25	16.26	16.25	16.26
Total Ca, %	0.60	0.49	0.60	0.49
Phosphorous, %	0.22	0.12	0.22	0.12

FYT= phytase; PGH= pectinases, β -glucanases and hemicellulases.

^a Tallow, 8.00 kg; Salt, 3.60 kg; Threonine, 0.25 kg. Vitamins: 3.00 kg: A= 9.90 IU/g; D= 1.95 IU/g; E= 0.053 IU/g; K= 1.80 ppm; B₂= 7.20 ppm; B₁₂= 0.04 ppm; choline= 660.00 ppm; niacin= 40.80 ppm; pantothenic acid= 50.01 ppm; B₁= 1.59 ppm; B₆= 1.95 ppm; biotin= 0.16 ppm; folic acid= 1.57 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.

FYT, efecto mayor de PGH, y efecto de la interacción de FYT y PGH.

Experimento 2

Se midió el efecto de la adición de FYT y PGH sobre la digestibilidad de dietas sorgo-canola en harina o empastilladas (pelet de 4 mm de diámetro y 8-10 mm de largo) en cerdos en crecimiento. Se usaron 36 cerdos machos híbridos (Landrace y Duroc) con 40 ± 5 kg de peso.

Las condiciones de formulación de los alimentos fueron similares a las del Exp 1 (dietas 1 y 2), incluyendo una tercera dieta a la que se adicionó pasta de canola en menor proporción y que, sin la adición de la enzimas, resultara en una mayor densidad de nutrientes (Cuadro 2).

Los tratamientos fueron el producto de un arreglo factorial de dos formas físicas del alimento (harina o pelet) y tres tipos de formulación: reducción de energía, Ca y P más enzimas; un control negativo (similar al anterior, sin enzimas) y un control positivo (dieta más densa en nutrientes, sin enzimas) contando con seis repeticiones por tratamiento, en un modelo completamente al azar⁽²⁰⁾. El análisis de datos se realizó empleando el paquete estadístico SAS⁽²¹⁾ usando el procedimiento de los Modelos Lineales Generales y las comparaciones planeadas del arreglo factorial; el efecto del tratamiento, el efecto de forma física, el efecto de la interacción del tratamiento y la forma física.

Experimento 3

Se evaluó la respuesta productiva de cerdos en etapa de crecimiento a dietas con base en sorgo y pasta de canola peletizadas, adicionadas con FYT y PGH. Los animales se alojaron, 14 días previos al periodo experimental, en corrales de 4.0 m² con un comedero frontal, un bebedero de chupón y piso de concreto.

Se usaron 120 cerdos de ambos sexos, con un peso inicial de 24.7 ± 3.52 kg. La unidad experimental fue el corral con cinco cerdos (tres machos castrados y dos hembras o viceversa, por bloque). Los cerdos se pesaron individualmente al inicio y en intervalos

two FYT levels (0 and 0.3 kg/t) and two PGH levels (0 and 0.3 kg/t). Each treatment had eight repetitions for the effect of each enzyme (FYT and PGH) and four repetitions for the interaction between them. Data analysis was done with the SAS statistical package⁽²¹⁾ using the General Linear Models, the planned comparison of the factorial model, the FYT effect, the PGH effect and the FYT/PGH interaction effect.

Experiment 2

Thirty-six hybrid (Landrace x Duroc) barrows (40 ± 5 kg) were used to measure the effect of addition of FYT and PGH on the digestibility of sorghum grain/canola paste diets in meal or pellet (4 mm diam x 8-10 long) form in growing pigs. The formulation of diets 1 and 2 was similar to that used in Exp 1. A third diet was formulated with a lower canola paste inclusion level and which with no added enzymes resulted in higher nutrient density (Table 2).

The factorial arrangement of the treatments was two feed forms (meal and pellet) and three formulations (reduced energy; Ca and P plus enzymes; negative control - Ca and P no enzymes; and positive control - nutrient rich, no enzymes). Six replicates were used for each treatment and the model was completely random⁽²⁰⁾. Data analysis was done with the SAS statistical package⁽²¹⁾ using the General Linear Models, the planned comparison of the factorial model, the effect of treatment, the effect of feed form, and the effect of treatment and form interaction.

Experiment 3

Productive response was evaluated in grower-stage pigs fed pelleted sorghum grain/canola paste diets with added FYT and PGH. For 14 d before the experimental period, the animals were housed in 4.0 m² corrals with a front feeder, nipple drinker and a concrete floor. A total of 120 animals of both sexes (24.7 ± 3.52 kg initial weight) were used, and the experimental unit was a corral containing five pigs (three barrows and two females, or vice versa). Animals were individually weighed at the beginning of the experiment and every 7 d

de siete días, mientras que el consumo voluntario de alimento se registró diariamente. Se ofrecieron dos comidas diarias (0800 y 1800) para asegurar el máximo consumo a libertad y minimizar el desperdicio de alimento. Las dietas experimentales se presentan en el Cuadro 2; fueron las mismas del Exp 2, pero en este caso se peletizaron. Se contó con un total de ocho repeticiones por tratamiento, en dos bloques; el diseño experimental empleado fue de bloques completos al azar⁽²⁰⁾.

Las variables de estudio fueron ganancia diaria de peso, consumo diario de alimento, eficiencia alimenticia, consumo de energía metabolizable, producto de la EM en función del consumo diario de alimento, y eficiencia energética, producto de la ganancia diaria de peso en función del consumo de EM. 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. El análisis de datos se realizó con el paquete estadístico SAS⁽²¹⁾ usando los Modelos Lineales Generales.

Los ingredientes usados para la formulación se analizaron químicamente para determinar MS y N⁽¹⁸⁾, y el aporte de aminoácidos totales y digestibles se calculó con las ecuaciones que originaron los datos en el cuadro de contenido de los aminoácidos totales y digestibles verdaderos para cerdos de los principales ingredientes utilizados en Latinoamérica⁽²²⁾. El calor de combustión se midió con una bomba calorimétrica (PARR instruments, modelo 1266).

RESULTADOS

Experimento 1

La respuesta en digestibilidad de las dietas usadas se presenta en el Cuadro 3. Los coeficientes de digestibilidad de MS, cenizas, FDA y FDN no fueron diferentes ($P > 0.60$) entre tratamientos. El coeficiente de digestibilidad del Ca por efecto de la adición de FYT o PGH se incrementó en aproximadamente 23.8 %, con respecto al control ($P < 0.05$), pero la acción de ambas enzimas incrementó la digestibilidad en 47.5 %. De igual

thereafter. Two feedings (0800 and 1800) were given daily to ensure maximum ad libitum intake and minimize feed waste. Voluntary feed intake was recorded daily. The diets were the same used in Exp 2 (Table 2) but only in pellet form. Eight

Cuadro 2. Dietas experimentales. Experimento 2^a

Table 2. Experimental diets. Experiment 2^a

Ingredients	Diet 1	Diet 2	Diet 3
FYT, kg/t ^b	0.30	0.00	0.00
PGH, kg/t ^b	0.30	0.00	0.00
Sorghum, grain, kg	640.20	640.80	696.55
Soya, paste, kg	150.00	150.00	102.00
Canola, paste, kg	145.00	145.00	70.00
Meat, meal, kg	0.00	0.00	50.00
Sesame, paste, kg	0.00	0.00	40.00
Cane molasses, kg	40.00	40.00	0.00
Ca carbonate, kg	8.00	8.00	2.30
Ca Orthophosphate, kg	2.50	2.50	3.50
Salt, kg	3.60	3.60	3.60
Tallow, kg	3.00	3.00	23.00
L-Lysine HCl, kg	1.50	1.50	2.90
L-Threonine, kg	0.30	0.30	0.75
Premix, kg	^c 5.30	^c 5.30	^d 5.40
Estimated Composition			
ME, Mcal/kg	3.08	3.08	3.25
Crude protein, %	18.00	18.00	17.70
Total Ca, %	0.54	0.54	0.65
Available P, %	0.13	0.13	0.29

^a Two feed forms: meal and pellet.

^b FYT(phytase); PGH (Pectinases, b-Glucanases and Hemicellulases)

^c Vitamins: 2.20 kg: A= 8.80 IU/g; D= 1.76 IU/g; E= 0.04 IU/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 0.70 kg: Co= 0.42 ppm; Cu= 8.40 ppm; Fe= 70.00 ppm; Mn= 21.00 ppm; Se= 0.18 ppm; I= 0.56 ppm; Zn= 84.00 ppm. Antibiotics: Chlortetracycline 2.00 kg; BMD (bacitracin methylene disalicylate), 0.40 kg.

^d Vitamins 2.20 kg: A= 8.80 IU/g; D= 1.76 IU/g; E= 0.04 IU/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. Antibiotics: tylosin phosphate, 0.40 kg. Probiotics: yeast, 2.00 kg.

Cuadro 3. Coeficientes de digestibilidad, energía digestible (DE) y energía metabolizable (ME). Experimento 1

Table 3. Digestibility coefficients, digestible energy (DE) and metabolizable energy (ME). Experiment 1

	DIETS				SEM
	1	2	3	4	
FYT, kg/t	0	0.3	0	0.3	
PGH, kg/t	0	0	0.3	0.3	
Digestibility (%)					
Dry matter	74.21	75.44	75.22	74.83	0.2335
Ash	28.47	32.86	33.84	36.78	1.5881
Calcium ^{ab}	41.18	50.73	51.38	60.76	1.9534
Phosphorous ^c	15.45	38.06	38.15	40.31	2.3478
NDF	64.05	64.76	64.91	69.21	0.7057
ADF	56.03	55.11	56.33	55.16	0.9571
Energy ^{ab}	82.57	83.42	84.34	83.20	0.2635
DE, Mcal/kg ^c	3.302	3.362	3.374	3.431	0.0234
ME, Mcal/kg ^d	3.127	3.194	3.178	3.273	0.0157

SEM = Standard error of the mean; FYT = phytase; PGH = pectinases, β -glucanases and hemicellulases.

^a Effect of FYT, $P < 0.05$.

^b Effect of PGH, $P < 0.05$.

^c FYT/PGH Interaction, $P < 0.05$.

^d FYT/PGH Interaction, $P < 0.01$.

manera, los coeficientes de digestibilidad de fósforo se mejoraron por la adición de FYT o PGH hasta en 146 %, mientras que ambas enzimas mejoraron la digestibilidad en 160 % (interacción FYT y PGH, $P < 0.05$).

La digestibilidad de la energía mejoró ($P < 0.05$) con relación al control, en las dietas que fueron adicionadas con FYT o PGH. La ED también mejoró ($P < 0.05$) por la inclusión de FYT o PGH (3.36 y 3.37 Mcal/kg, respectivamente), con respecto al control (3.31 Mcal/kg), siendo la dieta que contenía ambas enzimas (FYT y PGH) la que resultó con la mayor diferencia (3.43 Mcal/kg) cuando se comparó con el control ($P < 0.05$), ventaja que se mantuvo hasta el cálculo de EM (Control, 3.13 vs FYT y PGH, 3.27 Mcal/kg; Interacción FYT y PGH, $P < 0.01$). Esto significó un incremento de 130 y 146 kcal/kg en la ED y EM de las dietas, respectivamente.

replicates were used per treatment in two blocks with a completely random block experimental design⁽²⁰⁾. Variables were daily weight gain, daily feed intake, feed efficiency, metabolizable energy intake (based on ME as a function of daily feed intake) and energy efficiency (based on daily weight gain as a function of ME intake). Metabolizable energy (ME) released by the enzymes was calculated as the difference between energy efficiency in those treatments with and without enzymes (only in low-energy diets) multiplied by the energy efficiency of the diet with enzymes. Data analysis was done with the SAS statistical package⁽²¹⁾ using the General Linear Models.

Chemical analyses were done of diet ingredients to determine DM and N⁽¹⁸⁾. Total and digestible amino acids were calculated with the equations used to determine true total and digestible amino acids content for the main ingredients used in Latin America for pigs⁽²²⁾. Combustion heat was measured with a calorimetric pump (PARR instruments, model 1266).

RESULTS

Experiment 1

The DM, ash, ADF and NDF digestibility coefficients did not differ ($P > 0.60$) between treatments (Table 3). In response to addition of FYT or PGH, the Ca digestibility coefficient increased approximately 23.8 % versus the control ($P < 0.05$), but the combined action of both enzymes increased Ca digestibility by 47.5 %. The phosphorous digestibility coefficients improved by up to 146 % with addition of FYT or PGH, and by up to 160 % with both enzymes (FYT and PGH interaction, $P < 0.05$).

Energy digestibility improved ($P < 0.05$) versus the control in the diets containing FYT or PGH. Addition of FYT or PGH also improved ($P < 0.05$) DE (3.36 and 3.37 Mcal/kg, respectively) vs the control (3.31 Mcal/kg), while the combination of both produced the highest ($P < 0.05$) overall DE (3.43 Mcal/kg). This was also the case for ME (FYT and PGH, 3.27 Mcal/kg vs Control, 3.13; FYT / PGH interaction, $P < 0.01$). These differences

ENZIMAS FIBROLÍTICAS Y UNA FITASA SOBRE LA DIGESTIBILIDAD

El balance de N (Cuadro 4) muestra que el consumo de N fue mayor con FYT o PGH, con respecto al control y la combinación FYT y PGH ($P < 0.05$). El N fecal disminuyó y el coeficiente de digestibilidad se incrementó con la presencia de FYT, PGH o la combinación de ambas ($P < 0.05$), siendo similar entre enzimas. Aunque el cálculo de la retención de N tampoco fue diferente ($P > 0.52$) entre tratamientos.

Experimento 2

Los coeficientes de digestibilidad analizados se muestran en el Cuadro 5. El peletizado no influyó ($P > 0.25$) en la digestión de los grupos de nutrientes analizados; además, no se encontraron interacciones ($P > 0.54$). La adición de enzimas mejoró la digestibilidad de las cenizas ($P < 0.01$), llevando el coeficiente de digestibilidad de 56.5 a 60.5 %, lo anterior probablemente como consecuencia de que los coeficientes de digestibilidad de Ca y P en las dietas con enzimas mejoraron ($P < 0.05$), aumentando para Ca aproximadamente 4.7 % y para P, 14.12 %. En contraste, los coeficientes de digestibilidad de MS, FDA y FDN no mostraron diferencias ($P < 0.31$). La adición de enzimas a dietas con un menor nivel de EM de 3.08 Mcal/

are equivalent to a 130 kcal/kg increase in DE and a 146 kcal/kg increase in ME.

The N balance results demonstrate that N intake was higher ($P < 0.05$) than the control in the diets containing FYT, PGH or FYT/PGH (Table 4).

Cuadro 4. Balance de nitrógeno, Experimento 1

Table 4. Nitrogen balance, Experiment 1

	DIETS				SEM
	1	2	3	4	
FYT, kg/t	0	0.3	0	0.3	
PGH, kg/t	0	0	0.3	0.3	
Nitrogen:					
Intake, g/d ^a	30.14	36.37	36.99	30.18	0.138
In feces, g/d ^a	5.28 ^a	4.67 ^b	4.47 ^b	4.05 ^b	0.007
In urine, g/d	9.95	11.83	12.68	9.33	0.088
Digestibility, % ^a	82.14 ^b	87.11 ^a	87.49 ^a	86.40 ^a	0.559
Retained, g/d	14.92	19.87	19.83	16.81	0.135
Retained/intake, %	48.10	54.77	53.29	55.49	2.481
Retained/digested, %	58.36	62.88	60.92	64.17	2.723

SEM= Standard error of the mean; FYT= phytase; PGH= pectinases, β -glucanases and hemicelullases.

^a FYT/PGH interaction, $P < 0.05$.

Cuadro 5. Coeficientes de digestibilidad aparente (%). Experimento 2

Table 5. Apparent digestibility coefficients (%). Experiment 2

Physical Form	Meal		Pellet		Meal		Pellet		SEM
	Meal	Pellet	Meal	Pellet	Meal	Pellet	Meal	Pellet	
ME, Mcal/kg	3.08	3.08	3.08	3.08	3.25	3.25			
FYT, kg/t	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0			
PGH, kg/t	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0			
Dry matter	88.35	88.24	90.18	89.12	88.13	87.89			0.445
Ash ^a	61.26	59.84	58.45	60.57	51.33	55.81			0.552
Calcium ^b	80.54	78.37	75.56	76.23	70.42	69.45			1.122
Phosphorous ^b	51.67	53.68	45.92	46.39	35.19	38.97			1.039
NDF	72.85	73.15	69.74	70.93	69.69	70.45			0.619
ADF	62.90	63.12	59.77	57.15	58.85	63.89			0.767
Energy ^b	87.71	88.44	85.93	84.19	88.05	88.16			1.103
Nitrogen	82.51	84.10	85.30	82.27	82.40	81.52			0.640

SEM = Standard error of the mean; FYT = phytase; PGH = pectinases, β -glucanases and hemicelullases.

^a Effect of FYT and PGH, $P < 0.01$.

^b Effect of FYT and PGH, $P < 0.05$.

kg, aumentó la digestibilidad (3.5 %) de la energía lo que representó un aumento en la EM de 3.19 Mcal/kg ($P < 0.05$), calculándose que la actividad de las enzimas liberó 108 kcal/kg. En cambio, ni el peletizado ($P > 0.40$), ni la adición de enzimas ($P > 0.90$), mostraron beneficio alguno en el balance de N, como en el experimento anterior.

Experimento 3

La respuesta en el comportamiento productivo de los cerdos se muestra en el Cuadro 6. No se detectaron diferencias ($P > 0.10$) en el consumo de alimento o en la ganancia de peso. Sin embargo, se observó una mejor eficiencia alimenticia (0.43 vs 0.39 kg; $P < 0.01$) cuando se usó el alimento con enzimas. Con relación a esto, el control positivo (dieta rica en energía) no fue diferente de la dieta adicionada con las enzimas. Cabe subrayar que la eficiencia energética por efecto de las enzimas pasó de 0.119 a 0.140 kg/Mcal de EM ($P < 0.01$), lo que se traduce en 10.0 % de mejora en la disponibilidad de la energía, y que coincide con lo encontrado en los coeficientes de digestibilidad. Debido a la mejora en la eficiencia energética, se calculó una liberación de EM de 129 kcal/kg.

DISCUSIÓN

La adición de enzimas como la fitasa y las enzimas fibrolíticas en dietas para cerdos ha mostrado aumentar la digestibilidad de nutrientes, particularmente de los sustratos que son susceptibles a la acción de las enzimas, lo que mejora el aprovechamiento de los mismos y disminuye la excreción de agentes contaminantes al ambiente⁽⁸⁾, y los resultados en este trabajo no son diferentes.

Sin embargo, el mejor aprovechamiento de las enzimas exige entender en detalle los efectos que tienen los fitatos y los polisacáridos no amiláceos sobre la fisiología de la digestión y sobre el consumo voluntario de alimento; esto es importante para poder explicar las ventajas del uso de estas enzimas en la formulación de alimentos para cerdos, además de los efectos directos sobre el sustrato, las consecuencias en digestibilidad. En los resultados de este trabajo, los efectos en la digestibilidad

Presence of FYT, PGH or the combination of both significantly ($P < 0.05$) reduced fecal N and increased the digestibility coefficient, with no difference between enzyme treatments. Nitrogen retention, was similar ($P > 0.52$) between treatments.

Experiment 2

Pelletization did not affect ($P > 0.25$) digestion of the analyzed nutrients and no interactions were observed ($P > 0.54$) (Table 5). Addition of the enzymes improved ($P < 0.01$) ash digestibility (digestibility coefficient = 56.5 – 60.5 %). This was probably caused by the increased ($P < 0.05$) Ca and P digestibility coefficients (Ca = 4.7 %; P = 14.12 %). The DM, ADF and NDF digestibility coefficients did not differ ($P < 0.31$) between treatments. Addition of the enzymes to the diets containing 3.08 Mcal/kg ME increased energy digestibility 3.5 %, which represents an increase ($P < 0.05$) in ME to 3.19 Mcal/kg and indicates the enzyme activity released 108 kcal/kg of energy. As occurred in Exp 1, the N balance was not improved, either by pelletizing ($P > 0.40$) or addition of enzymes ($P > 0.90$).

Experiment 3

No differences ($P > 0.10$) in feed intake or weight gain were observed between treatments (Table 6).

Cuadro 6. Comportamiento productivo, respuesta a la liberación de energía por las enzimas. Experimento 3

Table 6. Productive performance, response to energy release by enzymes. Experiment 3

	FYT, kg/t	0	0	
	PGH, kg/t	0	0	SEM
Feed intake, kg/d	1.890	2.000	1.850	0.1283
Daily weight gain, kg/d	0.810	0.740	0.730	0.0453
Gain/intake, kg ^a	0.430	0.380	0.400	0.0112
ME intake, Mcal/d	6.234	6.330	6.000	0.4172
Energy efficiency, kg/Mcal ^a	0.140	0.119	0.122	0.0009

SEM= Standard error of the mean; FYT= phytase; PGH= pectinases, β -glucanases and hemicellulases.

^a Effect of FYT and PGH, $P < 0.01$.

fueron evidentes, como por ejemplo, por la energía que liberaron la FYT y PGH. Aun cuando no se notaron diferencias en la digestibilidad de las fracciones de fibra por la acción de las enzimas, se propone que la liberación de energía haya estado asociada a la digestión de PNA y almidón (comprometidos por el anillo mio-inositol), y que sugiere que las enzimas permitieron que algunas porciones de la fibra (soluble y dietética) se desdoblaran, dejando que las enzimas digestivas actuaran sobre los nutrientes cuya digestión se ve normalmente comprometida por las paredes celulares en los ingredientes de origen vegetal. Cuando se han realizado estudios con dietas que contenían fibra soluble se notó una reducción en la ED en aproximadamente 392 kcal/kg de MS, pero cuando se usó fibra insoluble (celulosa), la digestibilidad de energía se redujo hasta en 927 kcal/kg de MS⁽²³⁾. Se sugirió la posibilidad de la hidrólisis de la fibra insoluble, efecto que se esperaba por la PGH y que sugerimos, que en respuesta a la FYT, se haya debido a la liberación de almidones o fracciones susceptibles a la acción de la PGH y FYT. Así, la energía metabolizable incrementó en 180 kcal/kg. Al respecto, estudios *in vitro* han mostrado que a la FYT tiene la capacidad de actuar sobre el 100 % de los fitatos⁽²⁴⁾.

La pasta de canola es un ingrediente interesante como sustrato para la actividad de las enzimas usadas en este trabajo, en primer lugar por su elevado contenido de P fítico, y por la menor digestibilidad relativa de esta pasta, lo que puede asociarse al contenido de lignina y polifenoles⁽⁷⁾. Entonces, teóricamente, el incremento en la digestibilidad por efecto de las enzimas se explica por la diversidad de sustratos sobre los que actúan y las secuelas en digestibilidad asociativa. Las conjeturas anteriores son para explicar una mayor liberación de la energía en dietas sorgo-canola en relación con lo observado con las basadas en maíz-soya^(1,25,26,27): en dietas maíz-soya la densidad de los sustratos susceptibles a la acción de las enzimas es menor que en dietas sorgo-canola^(2,15,25,26).

En este trabajo hubo un efecto en la digestibilidad de N, que mejoró por la adición de FYT, pero la

However, use of feed with added enzymes did improve feed efficiency (0.43 vs 0.39 kg; $P < 0.01$), although the positive control (i.e. energy-rich diet) was not different from the diets containing enzymes. Energy efficiency improved ($P < 0.01$) from 0.119 kg/Mcal ME in the negative control to 0.140 kg/Mcal ME with addition of the enzymes. This was equivalent to a 10.0 % improvement in energy availability and coincides with the digestibility coefficients. The improved energy efficiency produced a calculated ME release of 129 kcal/kg.

DISCUSSION

Addition of phytase and fibrolytic enzymes in diets for pigs has been shown to increase nutrient digestibility, particularly in substrates susceptible to enzyme action. As was observed here, nutrient utilization is consequently improved, thus reducing excretion of polluting agents into the environment⁽⁸⁾.

However, the improved utilization produced by enzymes requires a detailed understanding of the effects of phytates and NAP on digestion physiology and voluntary feed intake. This is vital to effectively explaining the advantages of using enzymes in pig feeds, their direct effects upon the substrate and their consequences in digestibility. The effects on digestibility were clear in the present results, for example in terms of the energy released by FYT and PGH. Even though no differences were observed in fiber fraction digestibility due to enzyme action, it is proposed that the observed energy release was associated with digestion of the NAP and starch (compromised by the mio-inositol ring). This suggests that the enzymes permitted some portions of the fiber (soluble and dietary) to unfold; allowing the digestive enzymes to act on nutrients whose digestion is normally compromised by cell walls in vegetal source ingredients. For example, in a study of diets containing soluble fiber, DE was reported to decrease by approximately 392 kcal/kg DM, but when using insoluble fiber (cellulose) energy digestibility decreased by up to 927 kcal/kg DM⁽²³⁾. In the present study, hydrolysis of insoluble fiber may have occurred, which is to be expected with addition of PGH, and which also may have been due to release of starches from

respuesta no fue similar por la PGH. Ahora bien, si las dietas se formulan al perfil de aminoácidos digestibles, esta diferencia es prácticamente insignificante^(28,29,30).

La basta información^(8-10,28,29,31) de la respuesta a la FYT en dietas maíz-soya indican mejoras en las disponibilidad de los elementos minerales, particularmente de Ca, P y zinc (Zn). Los resultados con dietas sorgo-canola muestran una clara respuesta en la digestión de cenizas, Ca y P, lo que sugiere que la mejora en la digestibilidad aparente de Zn y otros minerales en este tipo de dietas sea de la misma magnitud y en la misma dirección que con dietas maíz-soya^(29,32).

Por otro lado, la relevancia de estos resultados radica en la potenciación del valor nutritivo de los ingredientes cuya composición sea susceptible a la acción de las enzimas. Particularmente, con la pasta de canola se mostró que puede ser el único suplemento proteico en dietas para cerdos basadas en sorgo, siempre que se corrija el aporte de EM y las dietas se calculen al aporte de aminoácidos digestibles⁽⁶⁾. El valor de oportunidad de la pasta de canola se incrementa sensiblemente cuando se usan estas dos actividades enzimáticas, esto es, la FYT y PGH, pero es esencial que se cuantifiquen los efectos en función del contenido de los sustratos y definitivamente sería inapropiado asignar un valor nutritivo a las enzimas, como se hace rutinariamente en la industria. Lo procedente sería el registro de un nuevo ingrediente en la matriz de formulación en el que se impactaran los efectos de las enzimas en digestibilidad. Por lo tanto, no pueden descartarse los efectos de la simple reducción de los niveles de inclusión de Ca y P en las dietas. Entonces, los efectos en la liberación de energía no son sólo una consecuencia en la cantidad de sustratos hidrolizados, sino también de los niveles de Ca y P, por lo que, la decisión sobre el tipo de enzima a utilizar deberá ponderarse dependiendo de la presencia y concentración de los sustratos potenciales.

En un trabajo de revisión⁽²⁹⁾ se concluyó que los resultados de la actividad de FYT en las digestibilidades de proteína y aminoácidos eran controversiales. En concreto, los resultados de este

fractions susceptible to the action of the PGH and FYT; this would explain the increase in ME by 180 kcal/kg. In addition, *in vitro* studies have shown that FYT can act on 100 % of phytates⁽²⁴⁾.

Canola paste is a promising substrate for use with PGH and FYT because of its high phytic P content and its low relative digestibility, probably associated with its lignin and polyphenol contents⁽⁷⁾. Theoretically, increased digestibility due to enzyme action can be explained by the diversity of substrates upon which they act and the associated digestive consequences. This would explain the greater energy release in the sorghum grain/canola paste diets used here compared to corn-soy based diets^(1,25,26,27), since the density of substrate susceptible to enzyme action in the latter is lower than in the former^(2,15,25,26).

Nitrogen digestibility improved with addition of FYT, but not with addition of PGH. However, if diets are formulated following the digestible amino acids profile, this difference is insignificant^(28,29,30).

Reported responses to FYT in corn-soy diets indicate improved mineral element availability, particularly of Ca, P and zinc (Zn). The present results for ash, Ca and P digestibility show a clear response to addition of enzymes, suggesting that apparent digestibility of Zn and other minerals in sorghum-canola diets would be of the same magnitude and type as in corn-soy diets^(29,32).

The present results are relevant because they demonstrate potentialization in the nutritive value of ingredients with a composition susceptible to enzyme action. It was shown that canola paste can be the sole protein supplement in sorghum-based diets for pigs as long as the ME contribution is corrected and the diet formula is calculated according to digestible amino acid contribution⁽⁶⁾. The nutritive value of canola paste clearly increases when FYT and PGH are added, but it is vital to quantify the effects on substrate content and it is definitively inappropriate to assign a nutritive value to the enzymes, as is commonly done in the industry. It would be more appropriate to register a new ingredient in the formulation matrix in which the enzymes would affect digestibility.

trabajo no muestran un efecto positivo sobre el coeficiente de digestibilidad de N, ni con la adición de la FYT y ni al incluir ambas enzimas, en el tipo de dietas utilizadas.

En la literatura revisada, sólo se encontró una investigación en donde se utilizaron los mismos sustratos que en el presente trabajo, en el que se vio que la adición de 500 unidades FTU de FYT originó la liberación de 80 y 120 kcal de EM/kg de energía⁽¹⁷⁾, que es muy similar a lo obtenido en el presente trabajo, ya que la combinación de PGH y FYT tuvo una liberación entre 108 y 146 kcal de EM/kg.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

En dietas formuladas con sorgo y pasta de canola para cerdos en crecimiento, la adición de una fitasa y un complejo enzimático compuesto por pectinasas, β -glucanasas y hemicelulasas, mejoró la digestibilidad de Ca y P y liberó entre 108 y 146 Kcal de EM. Lo anterior, además de favorecer la asimilación mayor de los alimentos, reduce la dependencia (proporción) de ingredientes energéticos de la dieta, lo que actualmente adquiere una connotación mayor, dados los altos costos de los cereales que son las fuentes tradicionales de energía en nuestro país.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México, A.C (PAIEPEME, A.C.); DSM Nutritional Products México S.A. de C.V., y al Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT por medio del proyecto número 12134.

LITERATURA CITADA

1. Vries RP, Visser J. Aspergillus enzymes involved in degradation of plant cell wall. *Microb Mol Biol Rev* 2001;65:497-522.
2. Reis STC, Mariscal LG, Aguilera BA. Efecto de diferentes cereales en dietas de iniciación para lechones sobre la

Reduction of Ca and P inclusion levels in the tested diets also surely had some effect on the results. The energy released was not just a consequence of the amount of hydrolyzed substrates, but also of Ca and P levels. This means that the decision on which enzyme type to use needs to be made considering the presence and concentration of potential substrates.

The effect of FYT on protein and amino acids digestibility remains controversial⁽²⁹⁾. In this sense, the present results do not demonstrate a positive effect on the N digestibility coefficient with inclusion of FYT or both enzymes in the tested diets.

In the literature reviewed, only one study was found in which using the same substrates as here, addition of 500 phytase units (FTU) produced a release of 80 and 120 kcal ME/kg energy⁽¹⁷⁾, which is very similar to the 108 to 146 kcal ME/kg observed here with the PGH/FYT combination.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

In diets for growing pigs formulated with sorghum grain and canola paste, addition of phytase and an enzyme complex (pectinases, β -glucanases and hemicellulases) improved Ca and P digestibility and released between 108 and 146 Kcal of ME. This favors greater feed assimilation and reduces the proportion of energetic ingredients in the diet, a major benefit given the increasingly high costs of the traditional cereal energy sources used in Mexico.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thanks to the next institutions for supporting the project from which the present publication was generated, the Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México, A.C (PAIEPEME, A.C.); DSM Nutritional Products México S.A. de C.V., and the Fondo Sectorial SAGARPA-CONACYT (project No. 12134).

End of english version

- digestibilidad de los nutrimentos y la preferencia alimentaria. *Vet Mex* 2005;36:11-24.
3. Fahey GC Jr, Frank AH, Masters SS. Influence of various purified and isolated cell wall fibers on the utilization of certain nutrients by swine and hamsters. *J Food Sci* 1980;45:1675-1680.
 4. Svihus B, Edvardsen DH, Bedford MR, Gullord M. Effect of methods of analysis and heat treatment on viscosity of wheat, barley and oats. *Anim Feed Sci Tech* 2000;1-12.
 5. Knowles TA, Southern LL, Bidner TD, Kerr BJ, Frisen KG. Effect of dietary fiber or fat in low-crude protein, crystalline amino acid supplement diets for finishing pigs. *J Anim Sci* 1998;76:2818-2832.
 6. Rojo GA, Peréz MVG, Bayardo UA, Correa CHJ, Cuarón IJA. Pasta de canola como suplemento proteico en dietas para la finalización de cerdos. *Tec Pecú Méx* 2001;39:179-192.
 7. Slominski BA, Campbell LD. Non-Starch polysaccharides of canola meal: Quantification, digestibility in poultry and potential benefit of dietary enzyme supplementation. *J Sci Food Agric* 1990;53:175-184.
 8. Wilhelm G. Phytases in cereals and hemicelluloses in canola (rapeseed) meal and lupins. Dept Anim Sci, University of Manitoba, Winnipeg, MB, Canada. 1997.
 9. Ravindran V, Bryden WL, Kornegay ET. Phytates: Occurrence, bioavailability and implications in poultry nutrition. *Poult Avian Biol Rev* 1995;6:125-143.
 10. Ravindran V, Cabahug S, Ravindran G, Bryden WL. Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers. *Poult Sci* 1999;78:699-706.
 11. NRC. Nutrient Requirements of Swine. 10th ed. Washington, DC: National Academy Press; 1998.
 12. Bell JM. Factors affecting the nutritional value of canola meal: a review. *Can J Anim Sci* 1993;73:679-697.
 13. Bell JM, Rakow G, Downey RK. Mineral composition of oil free seeds of Brassica napus and B. Juncea as affected by location and year. *Can J Anim Sci* 1999;79:405-408.
 14. Bell JM, Rakow G, Downey RK. Comparison of amino acid and protein level in oil extracted seeds of Brassica and Sinapis species, with observations on environmental effects. *Can J Anim Sci* 2000;80:169-174.
 15. Ramírez RE, Anaya EAM, Mariscal LG. Predicción de la composición del grano de sorgo mediante espectroscopia reflectoria cercana al infrarrojo (NIRS). *Tec Pecú Méx* 2005;43:1-11.
 16. Miron J, Ben-Ghendalia D, Solomon R. Digestibility by dairy cows of monosaccharide component in diets containing either ground sorghum or sorghum grain treated with sodium hydroxide. *J Dairy Sci* 1997;80:144-151.
 17. García BG, Balderas OM, Ramírez RE, Cuarón IJA. Digestibilidad aparente en respuesta a la adición de fitasas [resumen]. XXXV Congreso AMENA 2000:82.
 18. AOAC. Association of Official Analytical Chemists, 16th ed. Official Methods of Analysis, Washington, DC. 1995.
 19. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation of animal nutrition. *J Dairy Sci* 1991;74:3583-3597.
 20. Steel RG, Torrie JH. Principles and procedures of statistics: A biometrical approach. 2nd ed. New York, USA: McGraw-Hill Book Co.; 1980.
 21. SAS Institute Inc. SAS/STAT User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Cary, NC. SAS Institute Inc. 1989.
 22. Mariscal G, Ávila E, Tejada I, Cuarón J, Vásquez C. Contenido de aminoácidos totales y digestibles verdaderos para cerdos de los principales ingredientes utilizados en Latinoamérica. Centro Nacional de Investigación en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP, México. 1988.
 23. Owusu-Asiedu A, Patience JF, Laarveld B, Van Kessel AG, Simmins PH, Zijlstra RT. Effects of guar gum and cellulose on digesta passage rate, ileal microbial populations, energy and protein digestibility, and performance of grower pigs. *J Anim Sci* 2006;84:843-852.
 24. Adeola O, Lawrence BV, Sutton AL, Cline TR. Phytase-induced changes on mineral utilization in zinc supplemented diets for pigs. *J Anim Sci* 1995;73:3384-3391.
 25. Kim SW, Knabe DA, Hong KJ, Easter RA. Use of carbohydrases in corn-soybean meal-based nursery diets. *J Anim Sci* 2003;81:2496-2504.
 26. Shelton JL, Southern LL, Bidner TD, Persica ML, Braun J, Cousins B, Mckinght F. Effect of microbial phytase on energy deposition in growing swine. *J Anim Sci* 2003;81:2053-2062.
 27. Baldoo SK, Mitaru BN, Aherne FX, Blair R. The nutritive value of canola meal for early-weaned pigs. *Anim Feed Sci Technol* 1989;24:253-265.
 28. Johnston SL, Williams SB, Southern LL, Bidner TD, Bunting LD, Matthews JO, Olcott BM. Effect of phytase addition and dietary calcium and phosphorus levels on plasma metabolites and ileal and total-tract nutrient digestibility in pigs. *J Anim Sci* 2004;82:705-714.
 29. Adeola O, Sands JR. Does supplemental dietary microbial phytase improve amino acid utilization? A perspective that it does not. *J Anim Sci* 2003;81(Suppl 2):E78-E85.
 30. Kemme PA, Jongbloed AW, Mroz Z, Kogut J, Beynen AC. Digestibility of nutrients in growing-finishing pigs is affected by *Aspergillus niger* phytase, phytate and lactic acid levels. 1. Apparent ileal digestibility of amino acids. *Livest Prod Sci* 1999;58:107-117.
 31. Kemme PA, Jongbloed AW, Mroz Z, Kogut J, Beynen AC. Digestibility of nutrients in growing-finishing pigs is affected by *Aspergillus niger* phytase, phytate and lactic acid levels. 2. Apparent total tract digestibility of phosphorus, calcium and magnesium and ileal degradation of phytic acid. *Livest Prod Sci* 1999;58:119-127.
 32. Liao SF, Sauer WC, Kies AK, Zhang YC, Cervantes M, He JM. Effect of phytase supplementation to diets for weaning pigs on the digestibilities of crude protein, amino acids and energy. *J Anim Sci* 2005;83:625-633.