

EFECTO DE XILANASAS EN DIETAS A BASE DE SORGO CON DIFERENTES NIVELES DE ENERGÍA METABOLIZABLE Y PROTEÍNA CRUDA SOBRE VARIABLES PRODUCTIVAS Y DE LA CANAL DE CERDOS EN INICIACIÓN

Effect of Xylanases Added to Sorghum Diets With Different Levels of Metabolizable Energy and Crude Protein on the Growth Performance and Carcass Characteristics of Nursery Pigs

José Alfredo Martínez-Aispuro¹, José Luis Figueroa-Velasco^{1}, José Luis Cordero-Mora¹, Agustín Ruíz-Flores², María Teresa Sánchez-Torres-Esqueda¹ y María Esther Ortega-Cerrilla¹*

*Programa de Ganadería. Colegio de Posgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México. Tel. (595) 9520200 Ext. 1724, 1727. ²Posgrado en Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. CP 56230. *jlfigueroa@colpos.mx*

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la adición de xilanasas en dietas a base de sorgo, bajas en energía metabolizable (EM) y proteína cruda (PC), para cerdos en iniciación sobre las variables productivas y de la canal. Se realizaron dos experimentos utilizando cerdos de la raza York x Landrace x Duroc. En el experimento 1 se utilizaron 20 cerdos castrados y 20 hembras ($11,22 \pm 1,36$ kg de peso inicial), el diseño experimental fue completamente al azar. Los tratamientos consistieron en cuatro niveles de energía (3,350; 3,315; 3,280; y 3,245 Mcal kg⁻¹) con o sin la adición de xilanasas. En el experimento 2 se utilizaron 20 cerdos castrados y 20 hembras ($10,1 \pm 1,8$ kg de peso inicial). El diseño experimental fue completamente al azar. Los tratamientos consistieron en dos niveles de PC (18 y 20%) y dos niveles de EM (3,350 y 3,245 Mcal) con o sin la inclusión de xilanasas. En el experimento 1, la adición de xilanasas compensó la reducción de EM en 105 kcal, debido a que las variables productivas y de la canal no fueron afectadas por la reducción de energía ($P > 0,1$). En el experimento 2, la reducción de EM y PC no cambiaron las variables productivas ni de la canal ($P > 0,1$). La adición de xilanasas permite la reducción de energía (105 kilocalorías) y PC (2%) en dietas a base de sorgo para cerdos en iniciación manteniendo la respuesta productiva y las características de la canal.

Palabras clave: Enzimas, no rumiantes, polisacáridos no amiláceos, aminoácidos.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of addition of xylanase in diets based on sorghum, low in metabolizable energy (ME) and crude protein (CP), on growth performance and carcass characteristics of nursery pigs. Two experiments were conducted using York x Landrace x Duroc pigs. For experiment 1, 20 male and 20 female pigs (11.22 ± 1.36 kg initial body weight) were used, allotted in a completely randomized design. Treatments consisted of four levels of energy (3.350, 3.315, 3.280, and 3.245 Mcal kg⁻¹) with or without the addition of xylanase. In experiment 2, 20 male and 20 females pigs (10.1 ± 1.8 kg initial BW) were used, allotted in a completely randomized design. Two levels of CP (18 and 20%) and two levels of ME (3.350 and 3.245 Mcal) with or without the inclusion of xylanase were evaluated. In experiment 1, addition of xylanases compensated the reduction of 105 kcal ME, and carcass characteristics were not affected by the reduction of energy level ($P > 0.1$). In experiment 2, growth performance and carcass characteristics were not affected by the reduction of ME and CP ($P > 0.1$). The addition of xylanase allows reduction of energy (105 kcal) and CP (2%) in diets based on sorghum for nursery pigs, maintaining the productive performance and carcass characteristics.

Key words: Enzymes, non-ruminants, non-starch polysaccharides, amino acids.

INTRODUCCIÓN

En años recientes, la inclusión de enzimas endógenas ha sido común para las dietas de no rumiantes. Las xilanasas

son enzimas que degradan polisacáridos no amiláceos, los cuales incluyen xilanos, glucanos, pentanos y arabinoxilanos [9]. Las xilanasas en dietas para cerdos (*Sus scrofa domestica*) de engorde mejoran las variables productivas con alto contenido de polisacáridos no amiláceos (PNA): avena (*Avena sativa*), cebada (*Hordeum vulgare*) y trigo (*Triticum vulgare*) [3, 9, 21] porque aumentan la digestibilidad de energía, proteína y aminoácidos (AA) de las células de los ingredientes de la dieta. Estas enzimas rompen la pared celular de los granos, cuyas moléculas complejas actúan como una barrera física en el intestino; así se facilita la acción de las enzimas endógenas, acelerando la hidrólisis de PNA, disminuyendo la viscosidad intestinal y obteniendo una cantidad extra de energía y AA [7, 13, 41]. Por otra parte las xilanasas mejoran la utilización de la energía en cerdos [12, 26, 30], debido al aumento en la producción de ácidos grasos volátiles y mayor disponibilidad de mono y polisacáridos en el intestino [23, 40].

La reducción de la digestibilidad de compuestos nitrogenados en no rumiantes se asocia con la presencia de PNA. La inclusión de xilanasas incrementa la digestibilidad de aminoácidos (AA) y N en dietas con base en trigo para cerdos [3, 26, 27], ya que las xilanasas pueden mejorar la utilización de N y AA indirectamente por el incremento en el acceso de las enzimas digestivas a la proteína de la dieta [38].

El maíz (*Zea mays*) y el sorgo (*Sorghum vulgare*) tienen una variabilidad en la digestibilidad de energía metabolizable (EM), proteína cruda (PC) y a AA similar a la del trigo, avena y cebada [8, 22], pero en la literatura revisada no se encontraron estudios del uso de xilanasas en dietas para cerdos con base en sorgo. Por tanto, el objetivo fue evaluar el efecto de xilanasas en dietas a base de harina de sorgo bajas en EM y PC, para cerdos en la etapa de iniciación sobre las variables productivas y de la canal.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se realizaron dos experimentos en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, ubicada en Montecillo, estado de México, localizada a 98° 48' 27" O y a 19° 48' 23" N y una altitud de 2241 m. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 15,2°C y precipitación media anual de 644,8 mm [17].

Experimento 1

Se utilizaron 20 hembras y 20 machos castrados obtenidos entre los cruces Landrace × Yorkshire × Duroc, con peso vivo inicial (PVI) de 11,22 ± 1,36 kg. Los cerdos se alojaron en corrales individuales equipados con comedero tipo tolva y bebedero de chupón. El periodo de evaluación duró 28 días (d). Las dietas fueron formuladas con el comando *Solver* de Excel [25] para cubrir o exceder los requerimientos sugeridos por el National Research Council (NRC) [29] (TABLA I). El alimento y

el agua se ofrecieron a libre acceso. El diseño experimental fue completamente al azar con cinco tratamientos, ocho repeticiones (4 hembras y 4 machos por tratamiento) y un cerdo como unidad experimental.

Se evaluaron cuatro concentraciones de energía metabolizable (EM) con la adición de xilanasas, de acuerdo a la cantidad señalada por la casa comercial (Trouw Nutrition®) para la etapa de iniciación (3,350 Mcal kg⁻¹; 3,350 Mcal kg⁻¹ + xilanasas; 3,315 Mcal kg⁻¹ + xilanasas; 3,280 Mcal kg⁻¹ + xilanasas; y 3,245 Mcal kg⁻¹ + xilanasas).

Experimento 2

Se evaluó la concentración de EM más baja utilizada en el experimento 1, la cual mostró un comportamiento similar a lo recomendado por el NRC [29] en combinación con dietas bajas en proteína [18] con la inclusión de xilanasas, de acuerdo a la cantidad recomendada por la casa comercial (Trouw Nutrition®). Se utilizaron 20 hembras y 20 machos castrados obtenidos entre los cruces Landrace × Yorkshire × Duroc, con PVI de 10,1 ± 1,8 kg. El diseño experimental fue completamente al azar; cuatro tratamientos, diez repeticiones y un cerdo como unidad experimental. Los cerdos se alojaron en corrales individuales equipados con comedero tipo tolva y bebedero de chupón. El periodo de evaluación duró 18 d. Las dietas (TABLA II) fueron formuladas con el comando *Solver* de Excel [25] para cubrir o exceder los requerimientos indicados por el NRC [29]. El alimento y el agua se ofrecieron a libre acceso. Los tratamientos (T) fueron: T1, 3,350 Mcal kg⁻¹ [29] y 20,0% de PC (cubre el requerimiento de aminoácidos recomendado por el NRC [29]); T2, 3,245 Mcal kg⁻¹ y 20,0% PC + xilanasas; T3, 3,350 Mcal kg⁻¹ y 18,1 % de PC + xilanasas; y T4, 3,245 Mcal kg⁻¹ y 18,1 % PC + xilanasas.

Análisis químicos

Se determinó la concentración de PC, calcio y fósforo presentes en cada una de las dietas experimentales. La PC fue determinada por el método de Macro Kjeldahl [1]. La concentración de calcio y fósforo fue determinada con un espectrofotómetro de absorción atómica [20] (Perkin Elmer 4000, serie Lambda 2, Perkin Elmer Inc., Norwalk, CT, EUA).

Variables de respuesta

Las variables de respuesta fueron: comportamiento productivo (consumo de alimento, CAL; ganancia diaria de peso, GDP; conversión alimenticia, CA; ganancia de carne magra, GCM; y peso vivo final de los cerdos, PVF) y características de la canal (grasa dorsal, GD inicial [GDI] y final [GDF]; porcentaje de carne magra, PCM inicial [PCMI] y final [PCMF]; área del músculo *Longissimus dorsi*, AML inicial [AMLI]; y final [AMLF]); y concentración de urea en plasma, CUP). Las variables GDP y CAL se midieron cada siete d y con esta información se calculó la CA. La GD y AML se midieron utilizando un ultrasonido de tiempo real

TABLA I
DIETAS EXPERIMENTALES PARA CERDOS EN INICIACIÓN (EXPERIMENTO 1).

Tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5
Ingrediente, %					
Sorgo	65,32	65,32	66,13	66,95	66,44
Pasta de soya	29,20	29,20	29,03	28,87	28,49
Salvado de trigo	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30
Aceite de soya	1,76	1,76	1,09	0,42	0,00
L- Lisina	0,60	0,60	0,62	0,62	0,63
DL- Metionina	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
L- Triptófano	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
L- Treonina	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Premezcla de vitaminas ^A	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Premezcla de minerales ^B	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Xilanasas	0,00	0,005	0,005	0,005	0,005
Fitasa	0,01	0,01	0,01	0,010	0,01
Sal común	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
CaCO ₃	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
Ortofosfato de calcio	0,70	0,70	0,70	0,70	0,69
Contenido calculado (%)					
Energía metabolizable, Mcal kg ⁻¹)	3,350	3,350	3,315	3,280	3,245
Proteína cruda	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Calcio	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Fósforo	0,54	0,54	0,54	0,54	0,55
Lisina	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
Treonina	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
Triptófano	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Metionina	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Leucina	1,57	1,57	1,57	1,58	1,58
Valina	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
Metionina + cistina	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
Análisis determinado (%)					
Proteína cruda	19,89	19,86	19,84	19,94	19,67
Calcio	0,68	0,67	0,70	0,72	0,69
Fósforo	0,50	0,54	0,48	0,51	0,53
Costo \$ kg ^{-1C}	0,48	0,47	0,47	0,46	0,45

^A Proporcionó por kg de alimento: vitamina A 15000 UI; vitamina D3 2500 UI; vitamina E 37,5 UI; vitamina K 2,5 mg; tiamina 2,25 mg; riboflavina 6,25 mg; niacina 50 mg; piridoxina 2,5 mg; cianocobalamina 0,0375 mg; biotina 0,13 mg; cloruro de colina 563 mg; ácido pantoténico 20 mg; ácido fólico 1,25 mg, ^B Aportó por kg de alimento: Fe 150 mg; Zn 150 mg; Mn 150 mg; Cu 10 mg; Se 0,15 mg; I 0,9 mg; Cr 0,2 mg. ^C Calculado en dólares americanos con base en el precio de los ingredientes vigentes en octubre 2012.

TABLA II
DIETAS EXPERIMENTALES PARA CERDOS EN INICIACIÓN (EXPERIMENTO 2).

Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Ingrediente, %				
Sorgo	65,32	70,68	66,43	72,25
Pasta de soya	29,18	23,20	28,49	22,58
Salvado de trigo	0,00	0,00	0,00	0,87
Aceite de soya	1,75	1,84	0,00	0,00
L-Lisina	0,61	0,90	0,63	0,92
DL- Metionina	0,16	0,21	0,16	0,21
L- Triptófano	0,026	0,054	0,026	0,054
L- Treonina	0,15	0,23	0,15	0,23
Premezcla de vitaminas ^A	0,150	0,150	0,150	0,150
Premezcla de minerales ^B	0,150	0,150	0,150	0,150
Xilanasas	0,000	0,005	0,005	0,005
Fitasa	0,01	0,01	0,01	0,01
Sal común	0,49	0,49	0,49	0,49
CaCO ₃	1,28	1,29	1,28	1,29
Ortofosfato de calcio	0,70	0,76	0,69	0,75
Contenido calculado (%):				
Energía metabolizable, Mcal/kg ⁻¹	3,350	3,350	3,245	3,245
Proteína cruda	20,00	18,00	20,00	18,00
Calcio	0,70	0,70	0,70	0,70
Fósforo	0,54	0,53	0,55	0,54
Lisina	1,29	1,28	1,29	1,28
Treonina	0,87	0,85	0,87	0,85
Triptófano	0,26	0,26	0,26	0,26
Metionina	0,45	0,48	0,45	0,48
Leucina	1,57	1,44	1,57	1,44
Valina	0,83	0,73	0,82	0,73
Metionina + cistina	0,76	0,76	0,76	0,76
Análisis determinado (%)				
Proteína cruda	19,53	17,48	19,73	17,58
Calcio	0,68	0,70	0,65	0,68
Fósforo	0,52	0,56	0,53	0,55
Costo \$ kg^{-1C}	0,48	0,47	0,45	0,45

^A Proporcionó por kg de alimento: vitamina A 15000 UI; vitamina D3 2500 UI; vitamina E 37,5 UI; vitamina K 2,5 mg; tiamina 2,25 mg; riboflavina 6,25 mg; niacina 50 mg; piridoxina 2,5 mg; cianocobalamina 0,0375 mg; biotina 0,13 mg; cloruro de colina 563 mg; ácido pantoténico 20 mg; ácido fólico 1,25 mg, ^B Aportó por kg de alimento: Fe 150 mg; Zn 150 mg; Mn 150 mg; Cu 10 mg; Se 0,15 mg; I 0,9 mg; Cr 0,2 mg. ^C Calculado en dólares americanos con base en el precio de los ingredientes vigentes en octubre 2012.

SonoVet 600 marca MEDISON (Medison, Inc., Cypress, California, EUA) al inicio y al final de cada etapa. Con estos datos y con los PVI y PVF se calculó la GCM y el PCM utilizando la ecuación del National Pork Producers Council [28].

Al final de cada experimento se obtuvieron muestras de sangre de la vena cava anterior con tubos *Vacutainer*® con heparina, que se colocaron en hielo hasta centrifugarse (centrífuga SIGMA 2-16k, Alemania) a 2500 g por 20 min, para separar el plasma del paquete celular. El plasma se transfirió a tubos de polipropileno y se almacenó en un congelador (EUR251P7W Tappan, Electrolux Home Products North America, EUA) a -20 °C hasta la determinación de la urea en plasma [5].

Análisis estadístico

Los datos de los experimentos se analizaron por sexo (machos y hembras) y de manera global. En los dos experimentos con los datos de variables se realizó una ANAVAR mediante el procedimiento GLM y la comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$) utilizando los procedimientos para el análisis estadístico de SAS [36]. El efecto de la inclusión de xilanasas en el experimento 1 se evaluó con contrastes ortogonales para detectar tendencias lineales, cuadráticas o cúbicas [36]. En todos los análisis estadísticos se utilizaron el PVI y el sexo del animal como covariables.

Viabilidad económica

Se determinó el costo de alimentación por ganancias de peso, a través de la fórmula sugerida por Bellauer y col. [4] para determinar el costo de alimentación (Y_i) para producir un kg de peso vivo, donde se considera el precio (P_i) de cada tratamiento (dieta) multiplicado por la cantidad total de alimento consumido (Q_i) durante el experimento, dividido entre la ganancia total de peso (G_i); $Y_i = (P_i \times Q_i) / G_i$. Luego se determinó el índice de eficiencia económica, mediante la siguiente fórmula [2]: $(MC / CT_i) \times 100$, donde MC, menor costo de la dieta/kg de ganancia de peso observada entre los tratamientos, y CT_i , costo de tratamientos considerados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No se observó efecto de sexo para las variables estudiadas ($P > 0,05$), por lo que este factor no fue considerado en el modelo estadístico final y se analizaron los resultados para hembras y machos conjuntamente.

Experimento 1

No se detectaron diferencias estadísticas ($P > 0,05$) entre tratamientos para las variables productivas (TABLA III), ni se observaron tendencias lineales, cuadráticas o cúbicas ($P > 0,05$).

El PCM final, AML final y la concentración de urea en plasma no fueron afectadas ($P > 0,10$) por la adición de xilanasas a la dieta (TABLA III). La GDF aumentó linealmente ($P = 0,03$) con las dietas adicionadas con xilanasas, conforme se redujo la concentración de energía, y además aumentó con la dieta con 3,350 Mcal kg^{-1} respecto a la dieta con 3,350 Mcal kg^{-1} más xilanasas ($P < 0,05$).

El uso de xilanasas compensó la reducción de energía hasta 105 Kcal en las dietas, durante la etapa de iniciación en la mayoría de las variables. Esta respuesta se puede deber a que el uso de xilanasas aumenta la digestibilidad de los nutrientes energéticos o compensan una deficiencia en cerdos alimentados con ingredientes con alto contenido de PNA [14, 26, 27, 30]. En trabajos previos [29, 31, 33] se observa que la reducción de energía en dietas para cerdos en etapa de iniciación (60 kcal kg^{-1}) incrementa el CA, se reduce la GDP y la CAL, mientras que las características de la canal se ven afectadas. La posible explicación es que el uso de xilanasas incrementa el aprovechamiento de la energía, debido principalmente a que disminuye los problemas con la absorción e interacción enzima-sustrato; además se incrementa la cantidad de energía disponible de ingredientes fibrosos y con alto contenido de PNA [27, 37]. Esto mediante la hidrólisis de los PNA, observándose un incremento en la disponibilidad y absorción de mono y polisacáridos en el intestino después de utilizar xilanasas en dietas para cerdos [23, 40].

A pesar de que la cantidad de PNA en el sorgo (4,8% de la materia seca (MS)) no es tan alta como en el trigo (11,4% de la MS) u otros ingredientes, la presencia de PNA en ambos ingredientes representa una limitante para el aprovechamiento de los nutrientes que estas estructuras encapsulan [6]. El uso de xilanasas representa una buena opción en dietas a base de harina de sorgo, ya que el 63% de los PNA en este grano corresponden a arabinoxilanos. Además existen evidencias en donde el uso de xilanasas en dietas para pollos (*Gallus gallus domesticus*) de engorde a base de sorgo mejora la eficiencia alimenticia y aumenta la retención de EM [35], tal y como se observa en los resultados obtenidos en el presente trabajo (TABLA III y IV).

El mejor índice de eficiencia económica se vio en los cerdos alimentados con 3,245 Mcal con la inclusión de xilanasas (TABLA III), lo cual concuerda con el costo del alimento, debido a que éste disminuyó a medida que se redujo la cantidad de EM en las dietas. Lo cual hace suponer que la reducción de EM en dietas para cerdos trae consigo un beneficio económico, siempre y cuando no se vean comprometidas las variables reproductivas, como en el presente trabajo.

El mejor índice de eficiencia económica se vio en los cerdos alimentados con 3,245 Mcal con la inclusión de xilanasas (TABLA III), lo cual concuerda con el costo del alimento, debido a que éste disminuyó a medida que se redujo la cantidad de EM en las dietas. Lo cual hace suponer que la reducción de EM en dietas para cerdos trae consigo un beneficio económico, siempre y cuando no se vean comprometidas las variables reproductivas, como en el presente trabajo.

Experimento 2

Debido a que en la revisión de literatura que se efectuó no se encontró ningún trabajo en dietas para cerdos a base de sorgo adicionadas con xilanasas, se trató de extrapolar algunos de los trabajos que se han realizado en dietas para cerdo a base de trigo, maíz, y experimentos realizados en pollos de engorde.

TABLA III
RESPUESTA PRODUCTIVA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE CERDOS EN INICIACIÓN,
ALIMENTADOS CON DIETAS BAJAS EN EM COMPLEMENTADAS CON XILANASAS (EXPERIMENTO 1).

Tratamiento EM, Mcal kg ⁻¹ Xilanasas, %	T1	T2	T3	T4	T5	Significancia (p) de los contrastes		
						Lineal	Cuadrático	Cúbico
Respuesta productivo γ								
GDP, kg	0,61 ± 0,03	0,60 ± 0,04	0,65 ± 0,03	0,57 ± 0,03	0,61 ± 0,03	0,46	0,19	0,22
CAL, kg d ⁻¹	0,98 ± 0,06	0,98 ± 0,06	1,08 ± 0,06	0,96 ± 0,06	0,99 ± 0,05	0,31	0,34	0,43
CA	1,60 ± 0,04	1,61 ± 0,04	1,66 ± 0,04	1,69 ± 0,04	1,64 ± 0,04	0,31	0,50	0,47
PI, kg	11,55 ± 0,47	11,04 ± 0,47	11,31 ± 0,47	11,09 ± 0,47	10,81 ± 0,50	-	-	-
PF, kg	27,65 ± 0,88	27,49 ± 0,95	28,85 ± 0,87	26,47 ± 0,86	27,57 ± 0,81	0,46	0,19	0,22
GCM, kg d ⁻¹	0,24 ± 0,01	0,23 ± 0,02	0,24 ± 0,01	0,22 ± 0,01	0,23 ± 0,01	0,65	0,50	0,26
Características de la canal γ								
GDI, mm	1,71 ± 0,15	2,01 ± 0,17	1,82 ± 0,15	1,44 ± 0,15	1,75 ± 0,14	-	-	-
GDF, mm	3,12 ± 0,13	2,69 ± 0,15	3,12 ± 0,13	3,14 ± 0,13	3,00 ± 0,12	0,03	0,25	0,97
AMLI, cm ²	6,20 ± 0,19	6,69 ± 0,21	6,77 ± 0,19	6,02 ± 0,19	6,62 ± 0,18	-	-	-
AMLF, cm ²	13,35 ± 0,56	11,74 ± 0,61	12,51 ± 0,56	12,03 ± 0,56	12,77 ± 0,52	0,56	0,63	0,23
PCMI, %	57,30 ± 0,57	57,87 ± 0,62	58,43 ± 0,57	57,54 ± 0,56	58,54 ± 0,53	-	-	-
PCMF, %	47,02 ± 0,52	45,84 ± 0,56	45,45 ± 0,51	46,27 ± 0,51	46,66 ± 0,48	0,52	0,12	0,73
Urea mg dL ⁻¹	16,28 ± 3,28	23,32 ± 3,57	16,53 ± 3,27	15,40 ± 3,26	15,62 ± 3,04	0,19	0,18	0,66
\$ Costo de alimentación ^x								
(kg de peso vivo)	0,77	0,77	0,78	0,76	0,73			
Índice de eficiencia económica (%)								
	95	95	93	96	100			

γ En todas las variables del comportamiento productivo y características de la canal se agregó el error estándar de la media (EEM), ^{a,b,c}valores con diferente letra, son significativamente diferentes ($P \leq 0,05$), TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, PI = Peso inicial, PF = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra, GDI = Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLI = Área del músculo *longissimus* inicial, AMLF = Área del músculo *longissimus* final, PCMI = % Carne magra inicial, PCMF = % Carne magra final. ^xCosto expresado en dólares americanos.

No se detectaron diferencias estadísticas ($P > 0,05$) entre tratamientos para las variables productivas ni características de la canal (TABLA IV). La inclusión de xilanasas en la dieta mantuvo los parámetros productivos y características de la canal similares en todos los tratamientos, a pesar de que la cantidad de energía y proteína se redujo, lo cual sugiere que mediante el uso de xilanasas se puede reducir la cantidad de energía en 105 Kcal y proteína en 2% en dietas para cerdos en la etapa de iniciación en dietas a base de sorgo, sin afectar las variables estudiadas.

En general se ha observado que la inclusión de xilanasas en dietas para cerdo a base de ingredientes con alto contenido de PNA (trigo, *Triticum aestivum*; cebada, *Hordeum vulgare*; y centeno, *Secale cereale*) incrementa la digestibilidad de AA, reflejándose en mejoras en la GDP, la CA y el consumo de alimento [12, 19, 26, 27]. Dicho aumento se asocia a que las xilanasas mejoran la utilización de N y AA indirectamente, por el

mayor acceso de las enzimas digestivas a la proteína de la dieta [38]. Sin embargo, Yin y col. [43] reportaron sólo una pequeña reducción en la pérdida de AA en cerdos alimentados con trigo después de la adición con xilanasas, mientras que Rutherford y col. [34] no observaron ningún efecto en pollos de engorde.

Se ha demostrado que el maíz y el sorgo tienen una variabilidad en la digestibilidad tan grande como la del trigo y la cebada [8]. Una combinación de enzimas (amilasas, proteasas y xilanasas) puede aumentar la digestibilidad y la tasa de pasaje en dietas basadas en sorgo en pollos de engorde, mejorando la ganancia de peso y la conversión alimenticia [32, 42]. En un trabajo realizado por Selle y col. [35] alimentando pollos de engorde con dietas a base de sorgo adicionadas con xilanasas observaron que la retención de EM se incrementaba en 1.21 MJ y la retención de nitrógeno en 4,25 unidades porcentuales.

TABLA IV
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE CERDOS EN INICIACIÓN,
ALIMENTADOS CON DIETAS BAJAS EN EM Y PC COMPLEMENTADAS CON XILANASAS (EXPERIMENTO 2).

Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Energía metabolizable (Mcal kg ⁻¹)	3,350	3,350	3,245	3,245
Proteína cruda, %	20	18	20	18
Xilanasas, %	0,000	0,005	0,005	0,005
Respuesta productiva γ				
GDP, kg	0,39 ± 0,03	0,44 ± 0,02	0,43 ± 0,03	0,43 ± 0,03
CAL, kg d ⁻¹	0,77 ± 0,06	0,71 ± 0,06	0,74 ± 0,06	0,82 ± 0,06
CA	1,93 ± 0,15	1,65 ± 0,11	1,73 ± 0,14	1,93 ± 0,13
PI, kg	10,35 ± 0,76	9,88 ± 0,59	10,76 ± 0,76	9,66 ± 0,66
PF, kg	17,20 ± 0,54	17,92 ± 0,42	17,75 ± 0,54	17,90 ± 0,47
GCM, kg d ⁻¹	0,15 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,18 ± 0,01	0,16 ± 0,01
Características de la canal γ				
GDI, mm	1,12 ± 0,14	1,23 ± 0,11	1,06 ± 0,14	1,31 ± 0,12
GDF, mm	2,14 ± 0,14	2,12 ± 0,11	1,94 ± 0,14	2,40 ± 0,12
AMLi, cm ²	5,00 ± 0,31	4,99 ± 0,24	4,84 ± 0,31	4,95 ± 0,27
AMLF, cm ²	7,81 ± 0,31	8,43 ± 0,24	8,73 ± 0,31	8,19 ± 0,27
PCMI, %	58,38 ± 0,88	58,22 ± 0,68	58,85 ± 0,89	58,03 ± 0,77
PCMF, %	49,55 ± 0,72	50,13 ± 0,56	51,10 ± 0,73	49,26 ± 0,63
Urea mg dL ⁻¹	15,63 ± 1,80 ^a	9,11 ± 1,39 ^b	15,16 ± 1,82 ^a	9,16 ± 1,56 ^b
\$ Costo de alimentación ^x (kg de peso vivo)	0,95	0,76	0,77	0,85
Índice de eficiencia económica (%)	80	100	98	89

γ En todas las variables del comportamiento productivo y características de la canal se agregó el error estándar de la media (EEM), ^{a,b,c} valores con diferente letra, son significativamente diferentes ($P \leq 0,05$), TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, PI = Peso inicial, PF = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra, GDI = Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLi = Área del músculo *longissimus* inicial, AMLF = Área del músculo *longissimus* final, PCMI = % Carne magra inicial, PCMF = % Carne magra final. ^xCosto expresado en dólares americanos.

Cowieson y col. [10, 11] observaron que la suplementación con xilanasas en pollos de engorde en dietas a base de maíz mejora la digestibilidad de la EM en 3% y la retención de nitrógeno en 11,7%; además de que la ganancia de peso y la CA mejoran. Por su parte Francesch y col. [16], alimentando pollos en iniciación con dietas a base de maíz reduciendo el nivel de EM en 85 kcal kg⁻¹ y de PC en 3%, observaron que la complementación con xilanasas y fitasas sostuvo la ganancia diaria de peso, el consumo de alimento y la conversión alimenticia comparada con la dieta testigo, la cual cubría las necesidades de energía y proteína del animal.

En el experimento 2, el mejor índice de eficiencia económica se obtuvo en los cerdos alimentados con 3,350 Mcal y 18% de PC con la inclusión de xilanasas (TABLA IV), lo cual es similar al costo del alimento, debido a que junto con el tratamiento 3 fueron las dietas más baratas. Sin embargo, en esta ocasión bajar el nivel de energía no es lo más adecuado, ya que lo más rentable económicamente sería bajar dos unidades

porcentuales el nivel de energía, manteniendo el nivel más alto de EM.

Urea en plasma

La concentración de urea en plasma en el experimento 1 (TABLA III) no cambió ($P > 0,05$) cuando se redujo la cantidad de energía en la dieta, pero en el experimento 2 (TABLA IV) una menor cantidad de proteína disminuyó los niveles de urea en plasma. Se ha señalado [15, 24, 39] que el reducir el contenido de proteína cruda en la dieta, disminuye la concentración de urea en plasma, lo cual se traduce en una mayor eficiencia en la utilización del N. Aunque se observa una menor concentración de urea en plasma en los tratamientos 2 y 4, posiblemente no se puede atribuirlo directamente al uso de xilanasas, ya que podría ser reflejo únicamente de la menor concentración de PC en las dietas. Para clarificar lo anterior se requiere realizar investigaciones posteriores.

CONCLUSIÓN

La adición de xilanasas permite la reducción de energía (105 kilocalorías) y PC (2%) en dietas a base de sorgo para cerdos en iniciación manteniendo la respuesta productiva y las características de la canal, en comparación con dietas con una concentración estándar de EM y PC. Sin embargo, económicamente lo más rentable es bajar únicamente la concentración de EM o PC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AMERICAN ASSOCIATION OF ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official methods of analysis. 15th Ed. Arlington, VA, USA. 128 pp. 1990.
- [2] ARAUJO, W.A.G.; ALBINO, L.F.T.; ROSTAGNO, H.S.; GOMES, P.C.; PESSOA, G.B.S.; MESSIAS, R.K.G.; LELIS, G.R.; RIBEIRO, V. Sunflower meal and enzyme supplementation in diets of broilers from 21 to 42 days of age. *Iran. J. Appl. Anim. Sci.* 3(4): 695-702. 2013.
- [3] BARRERA, M.; CERVANTES, M.; SAUER, W. C.; ARAIZA, A. B.; TORRENTERA, N.; CERVANTES, M. Ileal amino acid digestibility and performance of growing pigs fed wheat-based diets supplemented with xylanase. *J. Anim. Sci.* 82: 1997–2003. 2004.
- [4] BELLAVER, C.; FIALHO, E.T.; PROTAS, J.F.S. Radícula de malte na alimentação de suínos em crescimento e terminação. *Rev. Bras. Zoot.* 20: 969-974. 1985.
- [5] CHANEY, A. L.; MARBACH, E. P. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132. 1962.
- [6] CHOCT, M. Feed non-starch polysaccharides: Chemical structures and nutritional significance. *Feed Mill. Int.* Pp 13–27. 1997.
- [7] CHOCT, M. Enzymes for the feed industry: past, present and future. *World's Poult. Sci. J.* 62: 5–15. 2006.
- [8] COLLINS, N. E.; MORAN, E. T.; STILBORN, H. L. Corn hybrid and bird maturity affect apparent metabolizable energy values. *Poult. Sci.* 77: 42. 1998.
- [9] COWIESON, A. J.; BEDFORD, M. R. The effect of phytase and carbohydrase on ileal amino acid digestibility in monogastric diets: Complementary mode of action? *Worlds Poult. Sci. J.* 65: 609–624. 2009.
- [10] COWIESON, A. J.; RAVINDRAN, A.; RAVINDRAN, V. Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: growth performance and digestibility of energy, minerals and amino acids. *Br. Poult. Sci.* 49: 37-49. 2007.
- [11] COWIESON, A. J.; RAVINDRAN, V. Sensitivity of broiler starters to three doses of an enzyme cocktail in maize-based diets. *Br. Poult. Sci.* 49: 340–346. 2008.
- [12] DIEBOLD, G.; MOSENTHIN, R.; PIEPHO, H. P.; SAUER, W. C. Effect of supplementation of xylanase and phospholipase to a wheat-based diet for weanling swine on nutrient digestibility and concentrations of microbial metabolites in ileal digesta and feces. *J. Anim. Sci.* 82: 2647–2656. 2004.
- [13] DIEBOLD, G.; MOSENTHIN, R.; SAUER, W. C.; DUGAN, M. E.; LIEN, K. A. Supplementation of xylanase and phospholipase to wheat-based diets for weaner pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 89: 316-25. 2005.
- [14] FANG, Z. F.; PENG, J.; LIU, Z. L.; LIU, Y. G. Responses of non-starch polysaccharide-degrading enzymes on digestibility and performance of growing pigs fed a diet based on corn, soya bean meal and Chinese double-low rapeseed meal. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 91: 361-368. 2007.
- [15] FIGUEROA, J. L.; LEWIS, A. J.; MILLER, P. S.; FISCHER, R. L.; GÓMEZ, R. S.; DIEDRICHSEN, R. M. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diet or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 80: 2911-2919. 2002.
- [16] FRANCESCH, M.; GERAERT, P. A. Enzyme complex containing carbohydrases and phytase improves growth performance and bone mineralization of broilers fed reduced nutrient corn soybean- based diets. *Poult. Sci.* 88: 1915–1924. 2009.
- [17] GARCÍA, E. Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). 4^aEd. México, D. F. 217 pp. 1988.
- [18] GONZÁLEZ, R. M. A.; VELASCO, J. L. F.; VAQUERA, H. H.; SÁNCHEZ-TORRES, M. T. B; ORTEGA, C. M. E. C.; CORDERO, M. J. L. D; COPADO, B. J. M. F.; NARCISO, G. C. Niveles de proteína para cerdos en fase starter: un meta análisis. *Arch. Zoot.* 63: 315-325. 2014.
- [19] JUN, H.; YIN, J.; WANG, L.; YU, B.; CHEN, D. Functional characterization of a recombinant xylanase from *Pichiapastoris* and effect of the enzyme on nutrient digestibility in weaned pigs. *Br. J. Nutr.* 103: 1507–1513. 2010.
- [20] KARL, R. F.; MCDOWELL, L. R.; MILES, P. H.; WILKINSON, N. S.; FUNK, J. D.; CORAD, J. H. Determinación de calcio y fosforo. En: **Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales.** 2a Ed. Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Florida. Gainesville. Florida, USA. 39 pp. 1979.
- [21] KIARIE, E.; NYACHOTI, C. M.; SLOMINSKI, B. A.; BLANK, G. Growth performance, gastrointestinal microbial activity, and nutrient digestibility in early-weaned swine fed diets containing flaxseed and carbohydrase enzyme. *J. Anim. Sci.* 85: 2982–2993. 2007.

- [22] LEESON, S.; YERSIN, A.; VOLKER, L. Nutritive value of the 1992 corn crop. **J. Appl. Poult. Res.** 2: 208-213.1993.
- [23] LI, S.; SAUER, W. C.; HUANG, S. X.; GABERT, V. M. Effect of β -glucanase supplementation to the hullless barley- or wheat-soybean meal diets on the digestibilities of energy, protein, β - glucans, and amino acids. **J. Anim. Sci.** 74: 1649–1656. 1996.
- [24] MARTÍNEZ-AISPURO, M.; FIGUEROA-VELASCO, J. L.; TRUJILLO-COUTIÑO, J. E.; ZAMORA-ZAMORA, V.; CORDERO-MORA, J. L.; SÁNCHEZ-TORRES, M. T.; REYNA-SANTAMARÍA, L. Respuesta productiva y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo–pasta de soya con baja proteína. **Vet. Méx.** 40: 27-38. 2009.
- [25] MICROSOFT CORPORATION. Microsof Excel. 1985-2001. USA. Redmond WA, USA. 2007.
- [26] NORTEY, T. N.; PATIENCE, J. F.; SIMMINS, P. H.; TROTTIER, N. L.; ZIJLSTRA, R. T. Effects of individual or combined xylanase and phytase supplementation on energy, amino acid, and phosphorus digestibility and growth performance of grower swine fed wheat- based diets containing wheat millrun. **J. Anim. Sci.** 85: 1432–1443. 2007.
- [27] NORTEY, T. N.; PATIENCE, J. F.; SANDS, J. S.; TROTTIER, N. L.; ZIJLSTRA, R. T. 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 grower swine. **J. Anim. Sci.** 86: 3450–3464.2008.
- [28] NATIONAL PORK PRODUCERS COUNCIL (NPPC). Procedures to evaluate market hogs. 3rd Ed. National Pork Producers Council. Des Moines. IA, USA. 16 pp. 1991.
- [29] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Nutrient Requirements of Swine. **Nutrient Requirements Tables.** 11th Ed. National Academy Press, Washington, D. C. 400 pp. 2012.
- [30] OLUKOSI, O. A.; SANDS, J. S.; ADEOLA, O. Supplementation of carbohydrases or phytase individually or in combination to diets for weanling and growing-finishing swine. **J. Anim. Sci.** 85: 1702–1711. 2007.
- [31] ORESANYA, T. F.; BEAULIEU, A. D.; PATIENCE, J. F. Investigations of energy metabolism in weanling barrows: The interaction of dietary energy concentration and daily feed (energy) intake. **J. Anim. Sci.** 86:348-363. 2008.
- [32] PACK, M.; BEDFORD, M. R.; WYATT, C. L. Feed enzymes may improve corn, sorghum diets. **Feedstuffs.** 18: 19. 1998.
- [33] ROSTANGO, H. S.; ALBINO, L. F. T.; DONZEME, J. L.; GOMEZ, P. C.; OLIVEIRA, R. F.; LOPEZ, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. R. T.; EUCLIDES, R. F. Brazilian Tables for Poultry and Swine. Composition of feedstuffs and nutritional requirements. 3rd Ed. Universidade Federal de Vicosa- Departamento de Zootecnia. Editor: Horacio Santiago Rostagno. Pp 165-199. 2011.
- [34] RUTHERFURD, S. M.; CHUNG, T. K.; MOUGHAN, P. J. The effect of a commercial enzyme preparation on apparent metabolizable energy, the true ileal amino acid digestibility, and endogenous ileal lysine losses in broiler chickens. **Poult. Sci.** 86: 665–672. 2007.
- [35] SELLE, P. H.; CADOGAN, D. J.; RU, Y. J.; PARTRIDGE, G. G. Impact of exogenous enzymes in sorghum or wheat based broiler international. **J. Poult. Sci.** 9 (1): 53-58. 2010.
- [36] STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE (SAS). The SAS system for Windows V8. SAS 9,3. USA. 2010.
- [37] STANOGLIAS, G.; PEARCET, G. R. The digestion of fiber by swine. **Br. J. Nutr.** 53: 513–530.1985.
- [38] TAHIR, M.; SALEH, F.; OHTSUKA, A.; HAYASHI, K. An effective combination of carbohydrases that enables reduction of dietary protein in broilers: Importance of hemicellulase. **Poult. Sci.** 87: 713–718. 2008.
- [39] TRUJILLO-COUTIÑO, J. E.; FIGUEROA-VELASCO, J. L.; MARTÍNEZ-AISPURO, M.; ZAMORA-ZAMORA, V.; CORDERO-MORA, J. L.; SÁNCHEZ-TORRES, M. T.; CUCA-GARCÍA, M.; CERVANTES-RAMÍREZ, M. Concentración de urea en plasma y respuesta productiva de cerdos en iniciación alimentados con dietas sorgo-pasta de soya bajas en proteína. **Agrocien.** 41: 597-607. 2007.
- [40] VAN DER MEULEN, J.; INBORR, J.; BARKER, J. G. M. Effects of cell wall degrading enzymes on carbohydrate fractions and metabolites in stomach and ileum of swine fed wheat bran based diets. **Archiv. Anim. Nutr.** 54: 101–115. 2001.
- [41] WAYENGO, T. A.; SANDS, J. S.; GUENTER, W.; NYACHOTI, C. M. Nutrient digestibility and performance responses of growing pigs fed phytase and xylanase supplemented wheat-based diets. **J. Anim. Sci.**86: 848-857. 2008.
- [42] WYATT, C. L.; SOTO-SALANOVA, M.; PACK, M. Applying enzymes to sorghum based broiler diets. **Proc. Aust. Poult. Sci. Symp. Sydney.** 9: 116-118. 1997.
- [43] YIN, Y. L.; MCEVOY, J. D. G.; SCHULZE, H.; HENNIG, U.; SOUFFRANT, W. B.; MCCRACKEN, K. J. Apparent digestibility (ileal and overall) of nutrients and endogenous nitrogen losses in growing swine fed wheat (var. Soissons) or its by-products without or with xylanase supplementation. **Livest. Prod. Sci.** 62: 119–132. 2000.