



Universidad Nacional Autónoma de México

Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias de la Producción
y de la Salud Animal

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Medicina y Producción de Cerdos

**“Evaluación de exo-enzimas sobre dietas sorgo-
soya en cerdos crecimiento finalización”**

Tesis

Que para optar por el grado de:
MAESTRO EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

Presenta:
Jesús Aguilar Rojas

Tutor principal: **PhD. Arturo Germán Borbolla Sosa**
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM
Comité Tutorial: **MC. Rosalba Carreón Nápoles**
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM

México, CDMX

Octubre 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria

A mis padres: Prudencio Aguilar López y Alicia Rojas León.

A mis hermanos: Efraín Aguilar Rojas y David Aguilar Rojas.

Agradecimientos

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM por haberme brindado la oportunidad de cursar la maestría.

Al Dr. Germán por aceptarme como su alumno, estoy agradecido con usted por todo lo el conocimiento que me compartió. Siempre será mi Maestro.

A la Dra. Rosalba por todo su apoyo y sobre todo por su paciencia.

A Mi jurado. Dr. Marco Antonio Herradora Lozano, Dr. Germán Borbolla Sosa, Dra. Rosalba Carreón Nápoles, Dr. Jorge Luis Yáñez Hernández y al Dr. Jesús Guevara González por las observaciones del presente trabajo.

A Ing. Ezequiel Álvarez Ledezma por su apoyo en la realización del experimento en granja y sobre todo por su amistad.

Al Grupo Mirasol de Occidente por permitirme realizar el experimento en una de sus granjas.

Resumen

MVZ. Jesús Aguilar Rojas. Evaluación de exo-enzimas sobre dietas sorgo-soya en cerdos crecimiento finalización (bajo la supervisión de MVZ MS PhD Arturo Germán Borbolla Sosa y MVZ MC Rosalba Carreón Nápoles).

El presente estudio evaluó 2 tipos de xilanasa y β -glucanasa adicionado a dietas sorgo-pasta de soya en dietas crecimiento-finalización. En 180 cerdos, machos castrados, híbridos PIC (PIC 1050 X PIC 410). Cada fase de alimento tenía cuatro tratamientos: (1) Dieta control (DC): Se formuló para cumplir los requerimientos del NRC (2012). (2) Dieta control negativo (DCN): Se formuló con 90 Kcal menos que la DC. (3) Dieta control negativo más xilanasa, β -glucanasa y fitasa (DCN+EA+F): Se utilizó la DCN más una mezcla de enzimas A (Natugrain®, BASF) con 560 TXU (unidad termoestable de xilanasa) por kg y 250 TGU (unidad termoestable de glucanasa) por kg, más una fitasa *Aspergillus niger* (Natuphos®, BASF) a 500 FTU. (4) Dieta control negativo más xilanasa, β -glucanasa y fitasa (DCN+EB+F): Se utilizó la DCN más una mezcla de enzimas B (Rovabio®, ADISSEO) con 1100 unidades de xilanasa por kg y 500 unidades de glucanasa por kg, más una fitasa *Aspergillus niger* (Natuphos®, BASF) a 500 FTU. Los parámetros evaluados fueron, consumo diario de alimento (CDA), ganancia diaria de peso (GDP), eficiencia alimenticia (EA), eficiencia energética (EE), consumo energético (CE). En las fase de crecimiento, la EA se encontró una diferencia estadística ($P < 0.05$) entre las dietas, la DC, DCN+EA+F y DCN+EA+F aumentaron en un 4, 8.1 y 6.1% respectivamente en comparación con DCN, La EE entre los tratamientos se encontró diferencia estadística ($p < 0.039$) aumentó la DC, DCN+EA+F, DCN+EB+F en un 2, 8 y 6% respecto a la DCN. En la fase de desarrollo la GDP fue diferente entre los tratamientos ($P < 0.001$) siendo mayor en las dietas DC, la DCN+EA+F y la DCN+EA+F en un 36, 28 y 32% respecto al DCN. De la misma forma se encontró un diferencia significativa ($P < 0.008$) en la EA, aumentando en la DC, DCN+EA+F y DCN+EB+F en un 19.1%, 15.5% y 20.4% respectivamente en comparación con la DCN. En el presente estudio mostró que la adición de xilanasa-glucanasa-fitasa en dietas deficientes de energía mejoró los parámetros productivos en las fases de crecimiento y desarrollo. Y no afectó los parámetros de crecimiento en dietas de engorda a finalización.

Palabras clave: Sorgo, soya Xilanasa, β -glucanasa, fitasa, dietas crecimiento-engorda.

Abstract

MVZ. Jesús Aguilar Rojas. Evaluation of exo-enzymes on sorghum-soybean meal diets in growing-finishing pig (under the supervision of MVZ MS PhD Arturo Germán Borbolla Sosa and MVZ MC Rosalba Carreón Nápoles).

This study evaluated two combinations of xylanase and β -glucanase added to diets sorghum-soybean meal in growing-finishing pigs. 180 pigs, barrows; hybrid PIC (PIC 1050 PIC X 410) was evaluated. Each phase feeding had four treatments: (1) control diet (DC): Was formulated to meet NRC requirements (2012). (2) Negative control diet (DCN): Was formulated with 90 Kcal unless the DC. (3) Negative control diet with xylanase, β -glucanase and phytase (DCN+EA+F): DCN more enzyme mixture A (Natugrain®, BASF) with 560 TXU (thermostable xylanase unit) per kg and 250 TGU (thermostable glucanase unit) per kg, a *phytase Aspergillus niger* (Natuphos®, BASF) 500 FTU. (4) Control Diet plus xylanase negative, β -glucanase and phytase (DCN+EB+F): Plus DCN was used an enzyme mixture B (Rovabio®, ADISSEO) with 1100 units xylanase per kg and 500 units glucanase phytase per kg more *Asperguillus niger* (Natuphos®, BASF) 500 FTU. The parameters evaluated were, daily feed intake (CDA), average daily gain (GDP), feed efficiency (EA), energy efficiency (EE), energy consumption (CE). In the phases of growth, EA statistical difference ($P < 0.05$) between diets, DC, DCN+EA+F and DCN+EA+F increased by 4, 8.1 and 6.1% respectively compared met with DCN. EE statistical difference between treatments ($p < 0.039$) was found increased the DC, DCN+EA+F and DCN+EB+F by 2, 8 y 6% compared with respect to the DCN. In the development phase the GDP was different between treatments ($P < 0.001$) was higher in the DC, DCN+EA+F and the DCN+EA+F diets by 36, 28 and 32% compared to DCN. In the same forms a significant difference ($P < 0.008$) was found in the EA, increasing the DC, DCN+EA+F and DCN+EB+F in 19.1%, 15.5% and 20.4% respectively compared with the DCN . Fattening and finisher diet were no statistical differences between treatments were found. In the present study showed that the addition of xylanase-glucanase-phytase in diets energy deficient. Production parameters improved in the phases of growth and development.

Keyword: Sorghum, soybean meal, xylanase, β -glucanase, phytase, growth-finisher diets.

Índice

1	Introducción.....	1
2	Antecedentes.....	3
	2.1 Sorgo.....	3
	2.1.1 Producción.....	3
	2.1.2 Estructura y composición.....	4
	2.1.2.1 Pericarpio.....	4
	2.1.2.2 Revestimiento de la semilla o testa.....	5
	2.1.2.3 Endospermo.....	5
	2.1.2.4 Embrión o germen.....	6
	2.1.3 Composición nutricional.....	6
	2.1.3.1 Carbohidratos.....	6
	2.1.3.2 Proteína.....	7
	2.1.3.3 Lípidos.....	7
	2.1.3.4 Minerales.....	7
	2.2 Pasta de soya.....	8
	2.2.1 Producción.....	8
	2.2.2 Composición de la pasta soya.....	9
	2.2.2.1 Carbohidratos.....	10
	2.2.2.2 Proteínas.....	10
	2.2.2.3 Minerales.....	10
	2.3 Polisacáridos no amiláceos y fitato en dietas sorgo-P. Soya.....	11
	2.3.1 Polisacáridos no amiláceos.....	11
	2.3.2 Polisacáridos no amiláceos en sorgo.....	13
	2.3.3 Polisacáridos no amiláceos en pasta de soya.....	14
	2.3.4 Fitato.....	15
	2.4 Enzimas.....	16
	2.4.1 Xilanasa.....	16
	2.4.2 β -Glucanasa.....	18
	2.4.3 Fitasa.....	20
3	Justificación.....	22

4	Hipótesis.....	23
5	Objetivos.....	24
	5.1 Objetivo general.....	24
	5.2 Objetivos Específicos.....	24
6	Material y métodos.....	25
	6.1 Ubicación.....	25
	6.2 Animales.....	25
	6.2.1 Alojamiento.....	26
	6.3 Enzimas.....	26
	6.4 Diseño experimental.....	26
	6.4.1 Tratamientos.....	27
	6.4.2 Dietas.....	28
	6.4.3 Alimentación.....	32
	6.4.4 Pesaje.....	32
	6.5 Variables.....	32
	6.6 Análisis estadístico.....	33
7	Resultados.....	34
	7.1 Fase crecimiento.....	34
	7.2 Fase desarrollo.....	35
	7.3 Fase engorda.....	36
	7.4 Fase finalizador.....	37
8	Discusión.....	38
	8.1 Fase de crecimiento y desarrollo.....	38
	8.2 Fases de engorda y finalización.....	41
9	Conclusión.....	43
10	Bibliografía.....	44

Lista de cuadros

Cuadro 3.- Tipos y niveles de PSNA presentes en algunos granos de cereales (% en MS) * Otros (mánanos, galactanos, ácido úrico).....	14
Cuadro 4 Niveles de polisacáridos no amiláceos en la soya.....	14
Cuadro 5.- Diseño experimental.....	26
Cuadro 6.- Fase de crecimiento 30-45 kg de peso vivo.....	27
Cuadro 7.- Fase de desarrollo 45-60 kg de peso vivo.....	28
Cuadro 8.- Fase de engorda 60-80 kg de peso vivo.....	29
Cuadro 9.- Fase: Finalizador 80-105 kg de peso vivo.....	30
Cuadro 10.- Presupuesto de alimento por unidad experimental.....	31
Cuadro 11.- Parámetros productivos fase de crecimiento.....	34
Cuadro 12.- Parámetros productivos fase desarrollo.....	35
Cuadro 13.- Parámetros productivos fase de engorda.....	36
Cuadro 14.- Parámetros productivos de la fase Finalizador.....	37

Lista de figuras

Figura 1.- Estructura del grano del sorgo.....	4
Figura 2 Clasificación de los polisacáridos no amiláceos.....	11
Figura 3 Estructura del ácido fítico en pH neutro.....	14

1 Introducción

En México, el sorgo y la soya son los ingredientes más importantes en la alimentación porcina. El sorgo es el principal grano forrajero con mayor presencia en nuestro país debido a que es el cereal más usado en la formulación de dietas para cerdos; se estima que 92% del sorgo producido en México es destinado al sector pecuario (Financiera rural, 2011). Por otro lado, la soya es la principal fuente de proteína en dietas de cerdos. Siendo el 97% de la proteína de soya producida en México destinada para el consumo animal y sólo un 3% al consumo humano (SIACON, 2014).

Se sabe, que entre el 60 y el 65% del costo de producción está relacionado con el costo de alimentación. Por otra parte la energía forma parte del 53% del alimento. De modo que, entre 31 y 34% del costo de producción se debe al nivel de energía. La principal fuente de energía en la alimentación de los no rumiantes son los granos ricos en carbohidratos y bajos en proteínas.

Otro punto importante de considerar en los granos es su costo ya que afecta directamente al costo de producción. Por ejemplo, el precio del sorgo del 2005 al 2013 aumentó un 144% (\$1,195.9/t a \$2,919.19/t), mientras el precio de la soya en el mismo periodo incrementó un 174% (\$2,297.9/t a \$6,306/t) (SIACON, 2014). Consecuentemente, esfuerzos para optimizar estos ingredientes puede tener efectos en la rentabilidad de la industria porcina (Patience 2012).

Una de las estrategias para mejorar la digestibilidad y los parámetros productivos es la inclusión de enzimas exógenas como las carbohidrasas, xilanasas y fitasas en dietas de cerdos. Ya que el sorgo y la soya poseen factores anti-nutricionales como los fitatos y los polisacáridos no amiláceos (PSNA) que disminuyen la disponibilidad del fósforo y de azúcares simples respectivamente (Svihus, 2010).

La fitasa es en una enzima de uso común sobre dietas de cerdos debido a su efectividad (Selle *et al.*, 2010), sin embargo, no ocurre lo mismo con otras enzimas como la xilanasas y la β -glucanasas, debido a la poca información

generada en la utilización de estas enzimas en dietas sorgo-soya, ya que la mayoría de los estudios se han desarrollado en dietas centeno y cebada con efectos significativos en los parámetros productivos (Kiarie, 2012).

Algunos estudios han demostrado que las enzimas xilanasas rompen la pared celular de los granos formados por lo PSNA que actúan como barreras físicas que dificulta la acción de las enzimas endógenas (Paloheimo *et al.*, 2010).

Conjuntamente existe poca información acerca el uso de xilanasas, β -glucansas y la combinación de éstas con fitasas sobre dietas sorgo-soya de cerdos en las etapas de crecimiento a finalización. El propósito de este estudio es evaluar la adición enzimas exógenas (xilanasas, β -glucanasas y fitasas) en dietas sorgo-soya. Debido a la relevancia que tienen el sorgo y la soya en la elaboración de alimento para cerdos en México.

2 Antecedentes

2.1 Sorgo

2.1.1 Producción

EL sorgo (*Sorghum bicolor*) pertenece a la familia *Poaceae*, subfamilia *Panicoideae*, del genero *Sorghum* y de la especie *bicolor*. Este cereal es uno de los cinco cereales con mayor producción a nivel mundial después del trigo, arroz, maíz y cebada. Es cultivado alrededor del mundo principalmente en África, Asia y Centro América (Heuzé *et al.*, 2015).

En el 2014 la producción de sorgo a nivel mundial fue de 68 millones de toneladas. México produjo siete millones de toneladas ocupando el segundo lugar a nivel global aportado un 10.4% de la producción. (FAOSTAT, 2014).

En México se produce sorgo en casi todo el país; sin embargo, del total de sorgo que se cultiva en México en la última década, el 81.7% se concentra en sólo cinco estados; Tamaulipas (38.2%), Guanajuato (22.2%), Michoacán (8.6%), Sinaloa (9.5%) y Jalisco (3.3%) (SIACON 2015). El estado con mayor dinamismo en su producción en la última década fue Sinaloa que pasó de 354 mil a 605 mil toneladas al año. Jalisco, por otro lado, tuvo una disminución de su producción pasando de 355 mil a 210 mil toneladas al año. La superficie dedicada a este cultivo en la última década en nuestro país, alcanzó un promedio de dos millones de hectáreas con un volumen cercano a los siete millones de toneladas anuales y un rendimiento promedio de entre 3.7 y 3.9 toneladas por hectárea (SIACON 2014).

2.1.2 Estructura y composición

El sorgo es un grano esférico, con un peso promedio de 20 a 30 mg. El color puede ser café, amarillo, rojo, bronce o blanco. Este cereal está compuesto de tres partes: pericarpio o la cobertura del grano, endospermo o tejido de reserva y el germen con una representación del 7.9%, 82.3% y 9.8% respectivamente (Figura 1). (Delcour y Hosney, 2010).

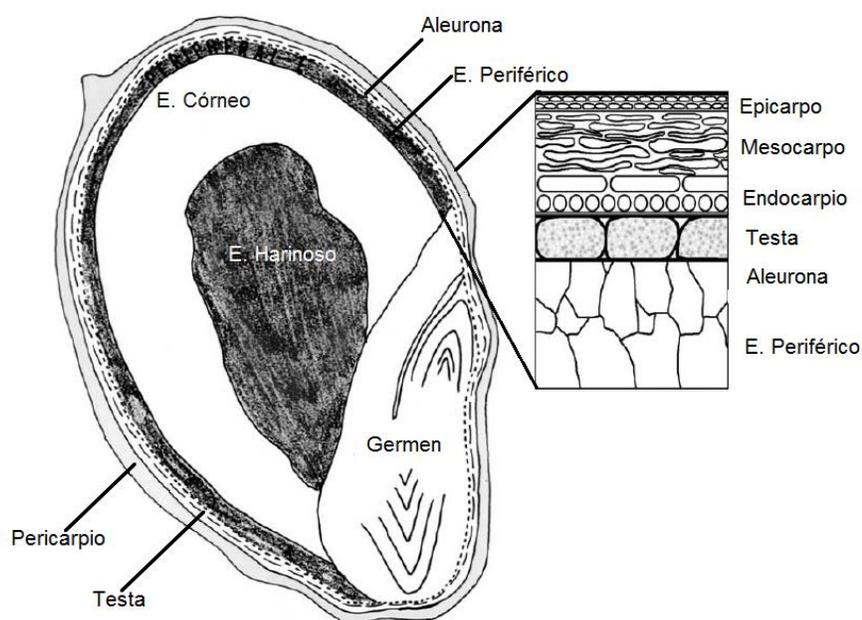


Figura 4.- Estructura del grano del sorgo. Adaptado de Earp *et al.* (2004).

2.1.2.1 Pericarpio.

El pericarpio (Fig. 1) es la capa más externa y está fuertemente adherido a la cariopsis y se compone de tres subcapas; el epicarpio, el mesocarpo y el endocarpo. El endocarpo es la estructura que se encuentra el pigmento. El mesocarpo es la subcapa más gruesa del pericarpio y la resistencia del sorgo a hongos está asociada a esta estructura. El endocarpo contiene células que transportan la humedad al grano (Earp *et al.*, 2004)

2.1.2.2 Revestimiento de la semilla o Testa.

Algunas variedades de sorgo tienen una capa de células pigmentadas debajo del endocarpio conocida como testa y encierra el endospermo. Aparte de otorgarle el pigmento a la semilla, esta estructura también contiene a los taninos; los cuales ayudan a disminuir el daño por pájaros, y la ausencia de testa aumenta significativamente el daño de éstos (Plessis, 2003).

2.1.2.3 Endospermo.

Es un importante tejido de almacenaje, ya que está conformado principalmente de almidón. Compuesto de aleurona y de endospermo periférico, córneo y harinoso. La aleurona se localiza entre el pericarpio o está presente entre la testa y el endospermo periférico, es rica en minerales, vitamina B, aceite y también contienen algunas enzimas (Waniska, 2000).

El endospermo periférico se encuentra debajo de la aleurona y contiene capas de células gruesas que lo separan del resto del endospermo; se caracteriza por células rectangulares largas, que son muy compactas y que contienen gránulos amiláceos y una matriz proteínica. El endospermo córneo contiene gránulos amiláceos de forma poliédrica y de diferentes tamaños dependiendo de la especie de sorgo. El endospermo harinoso presenta almidones de forma esférica (Waniska, 2000).

2.1.2.4 Embrión o Germen

Este es uno de los componentes que darán origen a una nueva planta; dependiendo de la luz, humedad, y temperatura para comenzar a desarrollarse. Está en la base del grano en el lado dorsal, es una estructura fuerte y diferenciada. La mayor cantidad de minerales y extracto etéreo (75%) se encuentran en esta estructura (Plessis, 2003)

2.1.3 Composición nutricional

2.1.3.1 Carbohidratos

2.1.3.1.1 Almidón

El almidón es la mayor reserva de carbohidratos del sorgo. Se encuentra solo en el endospermo y se presenta de forma granular (Koehler y Wieser, 2013). Las moléculas de almidón están formadas con unidades de α -D-glucosa unidas a través de enlaces glucosídicos α -(1-4) o α -(1-6) (Carré, 2002). El almidón del sorgo está compuesto típicamente de amilasa y amilopectina en una relación 20:80. En caso de las variedades de tipo céreo, esta relación se altera y la proporción de amilopectina alcanza al 100% (FEDNA, 2010). El contenido de almidón es de 70% (NRC, 2012)

2.1.3.1.2 Fibra

Este componente se encuentra principalmente en el pericarpio y en las paredes celulares del endospermo. La fibra está formada por los carbohidratos hemicelulosa y celulosa (FEDNA, 2010). El grano del sorgo contiene entre 7.8 y 14.7 % de fibra neutro detergente (FND) y entre 2.7 y 7.1 de fibra ácido detergente (FAD) (Heuzé *et al.*, 2015).

2.1.3.2 Proteína

La concentración de proteína es superior a la del maíz y más variable. El rango de la cantidad proteica del sorgo es de 8.1-14.3 % (Heuzé et al., 2015). En cuanto su valor nutricional, el sorgo es deficiente en lisina, treonina y triptófano. El contenido porcentual de lisina en la proteína disminuye conforme aumenta el contenido de proteína (Torres, 1990). Las proteínas del sorgo son las albúminas, globulinas, prolaminas (kafirinas), y glutelinas y su proporción es de 5.7, 7.1, 52.7 y 34.4% respectivamente (FEDNA, 2010).

2.1.3.3 Lípidos

En el sorgo, los aceites están concentrados en el germen, pericarpio y capa de la aleurona con un contenido aproximado de 2.4 a 4.4%. El germen tiene más del 80% del total de aceites (Koehler y Wieser, 2013). La composición de ácidos grasos en el sorgo consiste fundamentalmente de palmítico 0.41%, oleico 0.75%, linoleico 1.09% y linolénico 0.07% (FEDNA, 2015).

2.1.3.4 Minerales

El contenido promedio de minerales en el sorgo es de 2.1% (Heuzé *et al.*, 2015). La mayor porción de minerales (>90%) se encuentra en la capa exterior (pericarpio), la aleurona y el germen (Koehler y Wieser, 2013). El contenido de Ca es bajo como la mayoría de los cereales 0.02%, el aporte de P es de 0.3% del cual sólo el 20% se encuentra disponible, además de contener 0.09% de Cl, 0.01% de Na, 0.35% de K y 0.155 de Mg (NRC, 2012).

2.2 Pasta de soya

La soya (*Glycine max*) es una planta leguminosa de un metro de alto, nativa de Asia. Es primordialmente una semilla aceitera con cerca del 20% de contenido de aceite (Heuzé *et al.*, 2015).

2.2.1 Producción

La producción mundial en el 2014 fue de 231 millones de toneladas, aportando el 86% de la producción tan sólo cuatro países: EUA (35.8%), Brasil (26.3%), Argentina (18%) y China (6.3%) (FAOSTAT, 2014). El 75% de la pasta de soya producida en el mundo es utilizada en la alimentación de aves y cerdos (Stein *et al.*, 2013).

En México del 2003 al 2014 se tuvo un promedio de producción de 159 000 toneladas al año, con un rendimiento promedio de 1.61 t/ha. El 90% de la producción de soya en México se concentra en cinco estados: Tamaulipas (51.3%), San Luis (15.6%), Chiapas (14.3%), Veracruz (6.4%) y Sinaloa (1%) (SIACON, 2014).

La pasta de soya es un subproducto de la extracción del aceite de la soya, por medio de solventes y posteriormente es tostada y a continuación, se le puede agregar la cascarilla de soya para estandarizarla a 44% PB y sin la adición de la cascarilla puede presentar entre 47 y 48% de PB (FEDNA 2010). Existen diferentes procesos para la extracción de aceite, resultando en diferentes productos. En el proceso de extracción por solventes. La soya se quiebra, se calienta en hojuelas y el aceite se extrae mediante un disolvente (hexano). Las hojuelas se secan para eliminar el solvente. Las semillas de soya pueden haber sido descascarilladas antes de la extracción y se añaden al final para estandarizar la pasta de soya. El Proceso mecánico la soya se quiebra, se seca, se calienta y se añade a una prensa mecánica; las hojuelas resultantes se secan y se muelen.

2.2.2 Composición

La pasta de soya es la fuente de aminoácidos más accesible para la alimentación de seres humanos y animales. Este producto de la industria aceitera, es considerado como el subproducto más estable en composición nutricional de todos los subproductos utilizados en la alimentación animal (Campabadal y Navarro, 2008).

En general, la pasta de soya es un producto que contiene 48% de proteína cruda después de su desengrasamiento y posterior tratamiento térmico. Es común que a este producto se le agregue cantidades variables de cascarilla de soya, por lo que el contenido final de proteína puede situarse entre el 45 y el 48% (Campabadal y Navarro, 2008).

La soya contiene diversos factores antinutricionales como inhibidores de la tripsina, lectinas, inhibidores de α -amilasa. Estos factores antinutricionales afectan el valor nutricional, utilización y digestibilidad de la proteína de la soya causando desordenes digestivos en animales así como afectar el desempeño productivo. (Grant, 1985). Por esta razón la pasta de soya es tostada para poder eliminar estas factores antinutricionales (Gu *et al.*, 2010)

2.2.2.1 Carbohidratos

La pasta de soya contiene carbohidratos de tipo estructural y no estructural. Los carbohidratos no estructurales presentan oligosacáridos que afectan el valor nutritivo de la pasta de soya. La pasta de soya contiene entre el 5 al 7 % de oligosacáridos, para los cuales, los cerdos no contienen enzimas que desdoblén sus enlaces (Karr-Lilienthal *et al.*, 2005). Además, la pasta de soya contiene alrededor de un 1 a 2% de mananos y un 6 a 8% de azúcares solubles, mientras que el contenido de almidón es muy bajo (< 1%) (FEDNA, 2010).

2.2.2.2 Proteína

La pasta de soya provee una proteína de calidad comparada a otras fuentes vegetales y animales de este nutriente. El contenido promedio de este nutriente es de 47%. Un elevado contenido de arginina 3.3%, leucina 3.46% lisina 2.9%, además de treonina 1.8% y triptófano 1.6%. Sin embargo es deficiente en aminoácidos azufrado metionina 0.62% cistina 0.71% (NRC, 2012). No obstante, el valor de los aminoácidos en las pastas de soya depende de la concentración en del frijol de soya; así como por el procesamiento térmico; ya que este, afecta el contenido total de lisina cuando existe un sobrecalentamiento (Campabadal y Navarro, 2008).

2.2.2.3 Minerales

El contenido de minerales en la pasta de soya depende de la variedad del frijol de soya y el nivel de fertilización. El contenido de calcio es bajo 0.3%, mientras que el porcentaje de P es de 0.6% en donde la mayoría de este se encuentra asociada al ácido fítico 0.38% (NRC, 2012), para el cual los cerdos no tienen una enzima que desdoble los fitatos para que utilice el fósforo (Cromwell, 1999). Presenta 0.27% de Cl, 0.045% de Na, 2.1% de K, 0.28% de Mg y 0.4% de S (NRC, 2012).

2.3 Polisacáridos no amiláceos y fitatos en dietas sorgo-pasta de soya

2.3.1 Los polisacáridos no amiláceos

Los polisacáridos no amiláceos (PSNA) son una serie de polímeros de monosacáridos solubles e insolubles predominantemente en paredes celulares de plantas (Carpita y Giberaut, 1993; McDougall *et al.*, 1996), (Figura 1). unidos por enlaces glucosídicos. El principal polisacárido de las paredes celulares de los cereales y sus sub-productos son la celulosa, arabinosilanos y β -glucanos. Pero con diferencias en relación a porciones, estructura, y enlaces en los diferentes de los cereales (Bach Knudsen, 1997).



Figura 5 Clasificación de los polisacáridos no amiláceos (Knudsen *et al.*, 2013)

2.3.1.1

Características de los principales PSNA

2.3.1.1.1 Arabinoxilanos y xilanos

Los arabinoxilanos son los principales PSNA de los cereales, que se localizan en las paredes celulares del endospermo en la capa aureola y en el pericarpio. Están formados por una cadena lineal de xilosas unidas por enlaces glucosídicos β -(1-4), a las cuales se unen residuos de arabinosas mediante enlaces glucosídicos α -(1-3) o a α -(1-2), o ambos; la principal cadena de xilanos está compuesta de 1-4- β unido a enlaces de D-xilopiranososa. (Paloheimo *et al.*, 2010).

Los xilanos son uno de los mayores componentes de la hemicelulosa. Sólo después de la celulosa, el segundo polisacárido más abundante en la naturaleza. Componen el 30 a 35% de las paredes celulares de las plantas (Sjöström, 1993). La cadena principal de los xilanos está compuesta de unidades de D-xylanopiranososa unidas por enlaces β -1,4. El grado de polimerización depende de la fuente, pero las cadenas de xilosa es claramente más corta que las cadenas de celulosa (Sjöström, 1993).

La hemicelulosa incluyendo los xilanos es el principal polisacárido en todas las plantas terrestres; arboles, pastos y cereales (Wilkie, 1979; Sjöström, 1993). La hemicelulosa consta de un complejo y diverso grupo de polímeros que son heterogéneos en su composición, teniendo una cadena ramificada de varias unidades de azúcares (Paloheimo *et al.*, 2010).

2.3.1.2 β -Glucanos

La celulosa es un β -glucano insoluble en agua, consiste en una molécula lineal de D-anhidro glucopiranosas unidas por enlaces β (1-4). Los β -glucanos de los cereales son solubles si contienen enlaces 1-3, 1-4 β -D-glucanos. El sorgo contiene 2.1% de celulosa y la pasta de soya contiene 4.4 (Choct, 2002). El sorgo y la harina de soya contienen pequeñas cantidades de glucanos (Ko y Lin 2004).

Los β -Glucanos constituyen una clase abundante de polisacáridos naturales dada la elevada presencia en la naturaleza, sin embargo muchos β -Glucanos son también producidos por microorganismo. Químicamente la estructura de los β -glucanos son similares a la celulosa, sus enlaces β 1-4, unen unidades de D-glucosa e intercalado al azar ramificaciones de cadenas D-glucosa mediante enlaces β 1-3 (Paloheimo *et al.*, 2011).

2.3.2 PSNA en el sorgo

El grano del sorgo es una fuente principal de energía en dietas de cerdos ya que aporta 3500 Kcal/kg de EM (NRC, 2012). La energía en los cereales está influenciada por la cantidad de almidones y por su contraparte, los PSNA. El contenido promedio de almidón en el grano de sorgo es de 70% y la relación de amilasa y amilopectina es de 20:80. Sin embargo en variedades de tipo ceroso la proporción alcanza 100% (FEDNA, 2010).

Por su parte la fracción fibrosa (2.14% FB) del sorgo contiene 10.7% de FND y 5% de FAD (NRC, 2012). Los PSNA forman parte de esa fracción fibrosa, en el caso del sorgo contiene 15% en MS. Los PSNA pueden dividirse en insolubles

(celulosa) y parcialmente solubles en agua (mánanos, fructanos, β -glucanos, xiloglucanos, arabinanos y galactanos) (Choct, 2002).

Los PSNA se consideran factores anti-nutricionales, a causa de su capacidad para incrementar la viscosidad del contenido intestinal, impidiendo la digestión, bloqueando la absorción y aumentando la velocidad de transito de la ingesta. Sin embargo el sorgo no es un grano viscoso, a causa de su baja concentración de PSNA solubles (Selle *et al.*, 2010), cómo se puede ver en el cuadro uno.

Cuadro 1.- Tipos y niveles de PSNA presentes en algunos granos de cereales (% en MS)

Cereal		Arabinosilanos	β -Gucanos	Celulosa	*Otros	Total
Sorgo	Soluble	0.1	0.1			0.2
	Insoluble	2.0	0.1	2.2	0.25	4.6
Maiz	Soluble	0.1	t		t	0.1
	Insoluble	5.1		2.0	0.8	8.0
Trigo	Soluble	1.8	0.4		0.2	2.4
	Insoluble	6.3	0.4	2.0	0.3	9.0
Cebada	Soluble	3.4	3.6		0.1	4.5
	Insoluble	5.5	0.7	3.9	0.5	12.2

* Otros (mánanos, galactanos, ácido úrico) (Choct, 2002).

2.3.3 PSNA en la pasta de soya

Los PSNA presentan mayor variabilidad estructural que los cereales, presentando estructuras químicas muy ramificadas. Básicamente los PSNA de la pasta de soya se encuentran fundamental mente en la cascarilla.

Los PSNA en la pasta de soya es variable de 19.2% (Choct, 2002) a 21.7% de (Knudsen, 1997).

Cuadro 2 Niveles de polisacáridos no amiláceos en la soya (Choct, 2002)

	Almidón	Total PSNA	Celulosa	Arabinosa	Xilosa	Manosa
Soluble		2.7		0.5	0.1	0.2
Insoluble		16.5	4.4	2.4	1.7	0.7
Total	1.0	19.2	4.4	2.9	1.8	0.9

2.3.4 Ácido fítico

El fósforo se encuentra almacenado principalmente en forma de fitatos en los granos de las plantas, así lo hace poco disponible para los animales monogástricos. El ácido fítico (myo-inositol-1,2,3,4,5,6-Hexakis[dihidrogeno(fosfato)], $C_6H_{18}P_6O_{24}$) posee seis grupos fosfato, que son esterificados con el grupo hidroxilo de seis anillos alcohol (Humer et al., 2014)

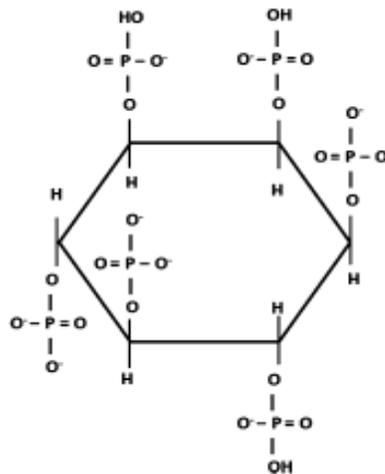


Figura 6 Estructura del ácido fítico en pH neutro

El ácido fítico es un factor anti-nutricional que se encuentra en el grano del sorgo. El contenido de fósforo fítico es de 0.18% (NRC, 2012). Doherty *et al.* (1982) reportaron que de 24 muestras de sorgo el 81% del fósforo estaba presente en forma de fosforo fítico, del mismo modo Selle *et al.* (2003) señalaron que el 83% del fósforo estaba unido a fitato, de este modo se reduce la disponibilidad de fósforo para el cerdo (Schlemmer *et al.*, 2001).

La cantidad de fósforo fítico presente en la pasta de soya es del 0.36% que representa el 53% del P total en este ingrediente (NRC 2012).

El fosforo total así como el fosforo fítico se encuentran en su mayoría en las capas exteriores de los granos de cereales; ubicándose principalmente en el sorgo en las capas de aureola y en las capas externas, mientras que en la soya no se encuentra en una ubicación específica (Angel *et al.*, 2002; Steiner *et al.*, 2007).

También, altas cantidades en la dieta tiene un efecto negativo en utilización de la energía; que puede estar asociado indirectamente inhibiendo la actividad de la α -amilasa, o directamente asociado a con proteínas relacionadas con el almidón (Liao *et al.*, 2005).

2.4 Enzimas

2.4.1 Xilanasas

La Enzima endo-1,4. β -xilanasas (xilanasas). Identifica y cataliza la endohidrolisis de enlaces (1 \rightarrow 4)- β -D-xilosídicos en los xilanos. Las xilanasas son identificadas dentro de la familia de hidrolasas glucosídicas basadas en sus dominios catalíticos, estructuras y peso molecular (Collis *et al.*, 2005). Las xilanasas utilizadas en la alimentación animal pertenecen a la familia de hidrolasas glucosídicas 10 y 11, ambas con glutamato en su sitio catalítico; la familia 11 de

xilanasas son de bajo peso moléculas comparadas con las de la familia 10 (Collins *et al.*, 2005).

La familia 11 trabaja exclusivamente con sustratos que contengan D-xilanos y la familia 10 puede ser activa con otro sustrato como la celulosa (Collins *et al.*, 2005). La utilización de las enzimas en alimentación animal involucra degradación de la pared celular de los ingredientes y reducir la viscosidad asociada con los PSNA. (Masey O'Neil *et al.*, 2014).

Las xilanasas son producidas por microorganismos en el intestino, además de encontrarse en algas, protozoarios, crustáceos y semillas de plantas terrestres (Dornez *et al.*, 2009). Sin embargo las xilanasas de preparados comerciales son derivados de fuentes bacterianas como *Bacillus* y hongos como *Aspergillus*, *Penicillium* y *Trichoderma*.

El uso de enzimas en la nutrición animal implica digestión de la pared celular de los ingredientes de la dieta y reducir la viscosidad relacionada con los PSNA (Masey O'Neil *et al.*, 2014). Choct *et al.* (2004) demostraron que la adición de xilanasas reduce la cantidad de PSNA en el yeyuno e íleon en pollos de engorda. La adición de xilanasas sobre dietas que contienen granos secos de destilería con solubles (DDGS) de trigo en cerdos de crecimiento disminuyó la concentración de PSNA en el digesta ileal en un 25% (Pedersen *et al.*, 2015), esto también fue demostrado por Moehm *et al.* (2007) y Woyengo *et al.* (2008).

Sterk *et al.* (2007) mostraron que la suplementación de xilanasas en dietas basadas en cereales para cerdos destetados incrementa la digestibilidad de nutrientes además del valor energético de la dieta. La adición de enzima sobre dietas a base de cereales con altas cantidades de PSNA en cerdos jóvenes puede ser eficiente. Esto se debe por el incremento en la liberación de energía, como lo señala Casas *et al.* (2016), quienes exponen un aumento en de la energía

digestible y metabolizable en dietas con subproductos de arroz para cerdos destetados.

Al mejorar la digestibilidad de la dieta usando xilanasas, se puede reflejar en los parámetros productivos. Kiarie *et al.* (2012) demostraron que la combinación de xilanasas y β -glucanasa en una dieta deficiente en energía aumenta el desempeño en dietas para cerdas en crecimiento con un probable aumento de la digestibilidad.

De la misma forma Agyekum *et al.* (2015) Mostraron que la adición de una xilanasas combinada con una glucanasa aumenta la ganancia de peso y mejora la eficiencia alimenticia en cerdos de crecimiento. El cerdos destetados el uso de xilanasas mejora la eficiencia alimenticia en un 7%, sin embargo el consumo de alimento y la ganancia de peso no se afectan por la inclusión de enzimas (Jones *et al.*, 2015)

Otra combinación de con la que se puede incluir las xilanasas es la fitasa. El uso de estas dos enzimas mejora la digestibilidad de energía, aminoácidos y fosforo, mostrando que los PSNA limitan la digestibilidad de los nutrientes del granos de trigo, el aumento de digestibilidad se reflejó en una mayor eficiencia alimenticia y ganancia diaria de peso (Nortey *et al.*, 2008). El uso de xilanasas y fitasas combinada aumentan la digestibilidad de la energía bruta en dietas a base de trigo o maíz comparada con dietas libres de estas enzimas, pero este resultado depende del tipo de dieta (Nodou *et al.*, 2015)

2.4.2 β -Glucanasa

La enzima endo-1,4- β -glucanasa (Celulasa) cataliza la endohidrolisis de los enlaces (1 \rightarrow 4)- β -D-glucosídicos en la celulosa. La adición de glucanasa y xilanasas en dietas trigo-cebada en lechones destetados mejora la conversión alimenticia, debido al aumento de la digestibilidad de los PSNA en un 5.6% (Owusu-Aseiedu *et al.*, 2012). Kiarie *et al.* (2012) Demostró que las combinación

de xilanasa y glucanasa en una dieta deficiente de energía en dietas con una mezcla de granos mejoró el desempeño de hembras en crecimiento. Fan et al. (2009), encontraron que la adición conjunta de xilanasa y β -glucanasa en dietas a base de cebada puede incrementar la ganancia diaria de peso en lechones.

Omogbenigun et al. (2004) encontraron un aumento del 11% en la ganancia diaria de peso en lechones que recibieron la dieta con una combinación de β -glucanasa y xilanasa con respecto al grupo control. Además Feoli et al. (2008) señalaron un aumento en la eficiencia alimenticia del 4% en dietas base de maíz y DDGS adicionadas con β -glucanasa y xilanasa en cerdos jóvenes.

Regularmente la β -glucanasa son utilizada junto a otra carbohidrasa (xilanasa); el uso de una correcta combinación de carbohidrasas puede mejorar la eficiencia en dietas que contengan ingredientes ricos en PSNA, esto incrementa la flexibilidad en la formulación a causa de la utilización de materias de baja calidad y con un potencial para reducir el costo de la dieta (Omogbenigun et al., 2004).

2.4.3 Fitasa

La enzima mio-inositol hexaquisfosfato fosfohidrolasa. Cataliza la hidrolisis de InsP_6 a fosforo inorgánico y mio-inositol. La fitasas se encuentra principalmente en plantas y microorganismos (Sandberg y Andlid, 2002).

Las dos fitasas internacionalmente clasificadas: 3-fitasa y 6-fitasa llevan el nombre del sitio donde la hidrolisis del fitato comienza (Salle y Ravidran, 2007); 3-fitasa es de origen microbiano y la 6-fitasa tiene origen vegetal. Por ejemplo; la soya contiene 3-fitasa mientras que la *E. coli* es una 6-fitasa (Sandberg and Andlid, 2002). Sin embargo las fitasas pueden también categorizarse dentro de dos clases basados en su pH: fitasas acidas (pH optimo: 3.0-5.5) y fitasas alcalinas (pH optimo: 3.0-5.5) (Yin et al., 2007).

Existen diversos factores que afectan la eficacia de la fitasa: estabilidad del pH (pH ácido en estómago y neutral en intestino delgado, proteolítica, así como temperatura (Konietzny y Greuner, 2002). Como la fitasa es una proteína, es sensible a altas temperaturas, que causa desnaturalización a altas temperaturas. El mayor reto para este tipo de enzimas es una estabilidad a temperaturas elevadas, debido a que el proceso de peletización emplea elevadas temperatura. Una solución fue el colocar la enzima mediante aspersion al final de la peletización del alimento.

No obstante las estrategias usadas para ayudar a resolver el problema de peletizado usando enzimas es: Aplicar un revestimiento para proteger del calor y de la humedad usada en la fabricación del alimento. Manipular genéticamente a la especie productora de la enzima para hacerla más resistente al calor, y descubrir un tipo de enzima salvaje intrínsecamente termoestable. (Gilbert y Cooney, 2010).

Muchas enzimas comerciales pueden resistir temperaturas dentro de un rango de 85-90 °C por un periodo antes de comenzar su desnaturalización, la termoestabilidad de las enzimas es la clave para su utilización en alimento peletizado (Gilbert y Cooney, 2010).

La adición de fitasa en dietas deficientes de fosforo sobre cerdos en crecimiento mejora la ganancia de peso, el consumo de alimento y la eficiencia de cerdos en crecimiento (Zeng, *et al.*, 2014), Yáñez *et al.* (2013) demostraron un aumento en la ganancia de peso así como una disminución en la conversión alimenticia sobre cerdos destetados alimentados con dietas adicionadas con fitasa. La mejora en los parámetros de crecimiento también fue demostrado por Woyengo *et al.* (2015) utilizando fitasa en cerdos jóvenes.

Debido a que el fitato puede unirse a la proteína (Kies *et al.*, 2006) los beneficios sobre la mejora en la digestibilidad de los aminoácidos con la adición de fitasa en la dieta sin embargo, los resultados son inconsistentes. Algunos estudios indican

un beneficio en el uso de fitasa (Liao *et al* 2005; Avila *et al.*, 2012) mientras que otros no lo demuestran (Traylor *et al.*, 2001). La inconsistencia en los resultado se pude relacionar al tipo de proteína en dieta (Pomar *et al.*, 2008).

Po la parte energética la adición de la fitasa puede incrementar la energía digestible en dietas maíz-soya en dietas formuladas con niveles bajas en Ca y P (Johnston *et al.*, 2004). No obstante, Liu *et al.* (2011) concluyeron que las dietas añadidas con fitasa no existió un efecto sobre la energía digestible.

3 Justificación

La importancia que tiene el sorgo y la soya en la formulación de raciones para cerdos es muy importante. El impacto del costo en estos ingredientes afecta directamente en la rentabilidad de las granjas, cualquier esfuerzo por mejorar la utilización de estos insumos puede mejorar la rentabilidad de las granjas. Una de las tecnologías utilizadas para el mejor aprovechamiento de dietas sorgo-soya son el uso de las enzimas exógenas, la enzima más utilizada en dietas para cerdos es la fitasa, consecuencia de los buenos resultados demostrados. Pero no ocurre lo mismo con otras enzimas como la xilanasas y la β -glucanasas. A causa de la poca información generada en el uso de estas enzimas en dietas sorgo-soya, ya que el desarrollo y el estudio de estas tecnologías son en países cuya elaboración de dietas para monogástricos se basan en ingredientes diferentes al sorgo (cebada y trigo). Esto demuestra que se tiene que comenzar a evaluar las enzimas exógenas (fitasa, xilanasas y β -glucanasas) en dietas sorgo-soya. Para establecer la forma más eficiente de aplicarlas.

4 Hipótesis

El uso de la combinación de fitasa, xilanasas y β -glucanasa en dietas sorgo-soya no afectará negativamente y aumentará el desempeño productivo en las fases de crecimiento a finalización en condiciones comerciales.

5 Objetivos

5.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la adición combinada de una de fitasa, y dos fuentes de diferentes de carbohidrasas (xilanasa y β -glucanasa) en dietas sorgo-soya sobre el consumo diario de alimento, ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia, consumo y eficiencia energética en las fases de crecimiento a finalización.

5.2 Objetivos específicos

1.- Evaluar el efecto de la adición de fitasa (500 TFU), y dos fuentes diferentes de carbohidrasas (xilanasa y β -glucanasa) la primera a 560 unidades termoestables de xilanasa más 250 unidades termoestables de glucanasa y la segunda a 1110 unidades de xilanasa más 500 unidades de glucanasa en dietas sorgo soya sobre el consumo diario de alimento, ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia, consumo y eficiencia energética en la fase crecimiento (30-45 kg de peso vivo).

2.- Evaluar el efecto de la adición de fitasa (500 TFU), y dos fuentes diferentes de carbohidrasa (xilanasa y β -glucanasa) la primera a 560 unidades termoestables de xilanasa más 250 unidades termoestables de glucanasa y la segunda a 1110 unidades de xilanasa más 500 unidades de glucanasa en dietas sorgo soya sobre el sobre el consumo diario de alimento, ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia, consumo y eficiencia energética en la fase de desarrollo (45-60 kg de peso vivo).

3.- Evaluar el efecto de la adición de fitasa (500 TFU), y dos fuentes diferentes de carbohidrasa (xilanasa y β -glucanasa) la primera a 560 unidades termoestables de xilanasa más 250 unidades termoestables de glucanasa y la segunda a 1110 unidades de xilanasa más 500 unidades de glucanasa en dietas sorgo soya sobre el sobre el consumo diario de alimento, ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia, consumo y eficiencia energética en la fase de engorda (60-80 kg de peso vivo).

4 - Evaluar el efecto de la adición de fitasa (500 TFU), y dos fuentes diferentes de carbohidrasa (xilanasa y β -glucanasa) la primera a 560 unidades termoestables de xilanasa más 250 unidades termoestables de glucanasa y la segunda a 1110 unidades de xilanasa más 500 unidades de glucanasa en dietas sorgo soya sobre el sobre el consumo diario de alimento, ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia, consumo y eficiencia energética en la fase de finalizador (80-105 kg de peso vivo).

6 Material y métodos

6.1 Ubicación

El estudio se llevó a cabo en una granja comercial ubicada en el municipio de Arandas, Jalisco. El Municipio se localiza en el centro oriente de Jalisco. A una altura de mil metros sobre el nivel del mar. La superficie con la que cuenta es de 1,238.02 km². Limita a norte con los municipios de San Miguel el Alto, San Julián, San Diego de Alejandría; al sur con Jesús María, Ayotlán y Atotonilco, al este con Jesús María y el Estado de Guanajuato; y al oeste con Tepatitlán de Morelos y Atotonilco. El clima es semiseco, la temperatura media anual es de 19°C con una máxima de 30 °C y una mínima de 7.3 °C (INEGI, 2015).

La granja es un sitio 3 de la empresa “Grupo Mirasol de Occidente”. El sitio tiene un flujo semanal de 1200 cerdos con un inventario de 19200 cerdos provenientes de un sitio 2 de la misma granja.

6.2 Animales

Para el presente estudio se utilizaron un total de 180 machos castrados de 70 \pm 1 días de edad, híbridos PIC (PIC 1050 X PIC 410) provenientes de un sitio 2 ubicado a 5 km del sitio 3. Los cerdos a su llegada fueron pesados e identificados

individualmente con un arete y asignados en uno de los tratamientos mediante la función aleatoria de Microsoft Excel a uno de los cuatro tratamientos.

6.2.1 Alojamiento

Los animales fueron mantenidos en 12 corrales ubicados a la mitad de la nave, los corrales contaban con 3.5m de ancho x 6.5m de largo y un charca al fondo del corral de 3.5 x 1.5 x 0.05 m.; equipados con un comedero automático. Los comederos fueron tipo holandés húmedo-seco Porcon®; se cerraron para el experimento y se alimentó manualmente. Todos los comederos fueron del mismo color, tipo, tamaño, acabado y se identificaron para que se le sirviera el alimento que le respondía a cada corral. Cada corral contaban con dos chupones para el acceso al agua. El control de temperatura, humedad y ventilación de la nave fue controlada mediante cortinas manuales.

6.3 Enzimas

Las enzimas que se usaron para el presente estudio fueron una fitasa proveniente de *Aspergillus niger* (Natuphos®, BASF). Y dos complejos enzimáticos: Enzimas A con actividad de xilanasas y β -glucanasa, producido por el organismo *Aspergillus niger* (Natugrain®, BASF). Enzimas B con actividad de xilanasas y β -glucanasa originado por el organismo *Penicillium funiculosum* (Rovabio®, ADISSEO).

6.4 Diseño experimental

A su llegada a las instalaciones, los cerdos fueron pesados individualmente y asignados a sus corrales utilizando este parámetro, por lo que, cada corral tenía cerdos de peso similar para evitar peleas, y demasiada jerarquización en el mismo. Cerdos muy pesados o muy ligeros no se usaron para el experimento, de la misma forma, cerdos que mostraban signos de lesiones o enfermedades no se incluyeron

A través de un modelo de bloques al azar fueron distribuidos 4 tratamientos con 3 réplicas de 15 animales cada uno, para formar 12 unidades experimentales con un total de 180 cerdos. Al final de cada fase de alimento se eliminaron cerdos para que en la fase siguiente los pesos iniciales no tuvieran diferencia estadística entre unidades experimentales y tratamientos.

6.4.1 Tratamientos

El presente estudio se dividió en cuatro fases (crecimiento, desarrollo, engorda y finalizador) y cada fase de alimento tenía cuatro tratamientos: (1) Dieta control (DC) se formuló para cumplir los requerimientos del NRC (2012) de EM, P disponible, Ca y lisina digestible ileal estandarizada. (2) Dieta control negativo (DCN) se formuló con 90 Kcal menos que la dieta control. (3) Dieta control negativo más xilanasas, β -glucanasas y fitasas (DCN+EA+F) se utilizó la DCN más una mezcla de enzimas A (Natugrain®, BASF) con 560 TXU (unidad termoestable de xilanasas) por kg y 250 TGU (unidad termoestable de glucanasas) por kg, más una fitasa *Aspergillus niger* (Natuphos®, BASF) a 500 FTU. (4) Dieta control negativo más xilanasas, β -glucanasas y fitasas (DCN+EB+F), se utilizó la DCN más una mezcla de enzimas B (Rovabio®, ADISSEO) con 1100 unidades de xilanasas por kg y 500 unidades de glucanasas por kg más una fitasa *Aspergillus niger* (Natuphos®, BASF) a 500 FTU.

Cuadro 3.- Diseño experimental

No.	Tratamiento	Corrales/ tratamiento	Animales/ Corral	Animales / Tratamiento
T1	DC: Dieta control	3	15	45
T2	DCN: Dieta control negativo	3	15	45
T3	DCN+EA+F: Dieta control más enzima A, más fitasa	3	15	45
T4	DCN+EB+F: Dieta control más enzima B, más fitasa	3	15	45

6.4.2 Dietas

6.4.2.1 Fase crecimiento

Cuadro 4.- Fase de crecimiento 30-45 kg de peso vivo

Materia prima	DCN %	DC %	DCN+EA+F %	DCN+EB+F %
Sorgo	71.32	68.87	72.28	72.29
Pasta de soya	24.77	25.19	24.60	24.60
Sebo	0.728	2.76	0.36	0.36
Fosfato monocálcico	1.05	1.05	0.668	0.668
Carbonato de calcio	1.008	1.004	0.920	0.920
Sal común	0.45	0.45	0.45	0.45
L-Lisina	0.292	0.284	0.296	0.296
Premezcla mineral cerdos ¹	0.1	0.1	0.1	0.1
Premezcla vitaminas cerdos ²	0.1	0.1	0.1	0.1
Colina 60%	0.072	0.072	0.072	0.072
Metionina	0.0513	0.052	0.051	0.051
Treonina	0.0323	0.032	0.033	0.033
Sulfato de Cu	0.0208	0.025	0.025	0.025
Antioxidante	0.015	0.015	0.015	0.015
Enzima A			0.01	
Natuphos			0.005	0.0050
Enzima B				0.005
PC %	17.5	17.5	17.5	17.5
EM Cerdo crecimiento Kcal/kg	3310	3400	3310	3310
Lys SID% ³	1	1	1	1
Ca %	0.673	0.673	0.673	0.673
P disponible %	0.313	0.313	0.313	0.313
Na %	0.175	0.175	0.175	0.175

DCN: Dieta control negativo. DC: Dieta control. DCN+EA+F: Dieta control negativo más complejo enzimático A más fitasa. DCN+EB+F: Dieta control negativo más complejo enzimático más fitasa.

¹Proporcionó por cada kilogramo de alimento: Minerales quelados; Zn 48 mg, Fe 39 mg, Mn 16 mg, Cu 5.6 mg, I 0.250 mg, Se 0.12 mg, Co 0.05 mg. Minerales inorgánicos; Cu 8.4 mg, Fe 48 mg, Mn 24 mg, Co 0.06 mg, I 0.3 mg, Zn 72 mg Se 0.18 mg.

²Proporcionó por cada kilogramo de alimento: Vitaminas; Vitamina AD3 0.00016 KIU, Vitamina A 10 KIU, Vitamina D3 1.8 KIU, Vitamina E 100 mg, Vitamina K3 5 mg, Vitamina B1 3 mg, Vitamina B2 10 mg, Vitamina B6 6 mg, Vitamina B12 0.04 mg, Nicotinamina 35 mg, Ac. Pantoténico 30 mg, Vitamina C, Biotina 0.5 mg.

³Lisina digestible ileal estandarizada.

6.4.2.2 Fase desarrollo

Cuadro 5.- Fase de desarrollo 45-60 kg de peso vivo

Materia prima	DCN %	DC %	DCN+EA+F %	DCN+EB+F Peso kg
Sorgo	74.941	72.511	75.899	75.909
Pasta de soya	21.541	21.938	21.385	21.383
Carbonato de calcio	0.942	0.938	0.854	0.854
Fosfato monocálcico	0.941	0.947	0.560	0.560
Sebo	0.509	2.547	0.158	0.154
Sal común	0.45	0.45	0.45	0.45
L-Lisina	0.276	0.268	0.279	0.279
Premezcla mineral ¹	0.1	0.1	0.1	0.1
Premezcla vitaminas ²	0.1	0.1	0.1	0.1
Colina 60%	0.072	0.072	0.072	0.072
DL-Metionina	0.0650	0.0661	0.0646	0.0646
Sulfato de Cu	0.025	0.025	0.025	0.025
L-Treonina	0.0237	0.0236	0.0238	0.0238
Antioxidante	0.015	0.015	0.015	0.015
Enzima A			0.01	
Natuphos				0.005
Enzima b				0.005
PC %	16	16	16	16
EM Cerdo crecimiento				
Kcal/kg	3,310.00	3,400.00	3,310.00	3,310.00
Lys SID % ³	0.91	0.91	0.91	0.91
Ca %	0.619	0.619	0.619	0.619
P disponible %	0.288	0.288	0.288	0.288
Na %	0.174	0.174	0.174	0.174

DCN: Dieta control negativo. DC: Dieta control. DCN+EA+F: Dieta control negativo más complejo enzimático A más fitasa. DCN+EB+F: Dieta control negativo más complejo enzimático más fitasa.

¹Proporcionó por cada kilogramo de alimento: Minerales quelados; Zn 48 mg, Fe 39 mg, Mn 16 mg, Cu 5.6 mg, I 0.250 mg, Se 0.12 mg, Co 0.05 mg. Minerales inorgánicos; Cu 8.4 mg, Fe 48 mg, Mn 24 mg, Co 0.06 mg, I 0.3 mg, Zn 72 mg Se 0.18 mg.

²Proporcionó por cada kilogramo de alimento: Vitaminas; Vitamina AD3 0.00016 KIU, Vitamina A 10 KIU, Vitamina D3 1.8 KIU, Vitamina E 100 mg, Vitamina K3 5 mg, Vitamina B1 3 mg, Vitamina B2 10 mg, Vitamina B6 6 mg, Vitamina B12 0.04 mg, Nicotinamina 35 mg, Ac. Pantoténico 30 mg, Vitamina C, Biotina 0.5 mg.

³Lisina digestible ileal estandarizada.

6.4.2.3 Fase engorda

Cuadro 6.- Fase de engorda 60-80 kg de peso vivo

Materia prima	DCN %	DC %	DCN+EA+F %	DCN+EB+F %
Sorgo	73.700	71.271	74.658	74.668
Pasta de soya	23.217	23.613	23.060	23.059
Carbonato de calcio	0.878	0.874	0.790	0.790
Fosfato monocálcico	0.838	0.844	0.458	0.458
Sebo	0.479	2.517	0.128	0.124
Sal común	0.45	0.45	0.45	0.45
L-Lisina	0.120	0.113	0.123	0.123
Premezcla mineral	0.1	0.1	0.1	0.1
Premezcla vitaminas	0.1	0.1	0.1	0.1
Colina 60%	0.072	0.072	0.072	0.072
Sulfato de Cu	0.025	0.025	0.025	0.025
Antioxidante	0.015	0.015	0.015	0.015
Metionina	0.007	0.008	0.006	0.006
Enzima A			0.01	
Natuphos			0.005	0.005
Enzima B				0.005
PC %	16.5	16.5	16.5	16.5
EM Cerdo crecimiento				
Kcal/kg	3310	3400	3310	3310
Lys SID %	0.83	0.83	0.83	0.83
Ca %	0.582	0.582	0.582	0.582
P disponible %	0.271	0.271	0.271	0.271
Na %	0.175	0.175	0.175	0.175

DCN: Dieta control negativo. DC: Dieta control. DCN+EA+F: Dieta control negativo más complejo enzimático A más fitasa. DCN+EB+F: Dieta control negativo más complejo enzimático más fitasa.

¹Proporcionó por cada kilogramo de alimento: Minerales quelados; Zn 48 mg, Fe 39 mg, Mn 16 mg, Cu 5.6 mg, I 0.250 mg, Se 0.12 mg, Co 0.05 mg. Minerales inorgánicos; Cu 8.4 mg, Fe 48 mg, Mn 24 mg, Co 0.06 mg, I 0.3 mg, Zn 72 mg Se 0.18 mg.

²Proporcionó por cada kilogramo de alimento: Vitaminas; Vitamina AD3 0.00016 KIU, Vitamina A 10 KIU, Vitamina D3 1.8 KIU, Vitamina E 100 mg, Vitamina K3 5 mg, Vitamina B1 3 mg, Vitamina B2 10 mg, Vitamina B6 6 mg, Vitamina B12 0.04 mg, Nicotinamina 35 mg, Ac. Pantoténico 30 mg, Vitamina C, Biotina 0.5 mg.

³Lisina digestible ileal estandarizada.

6.4.2.4 Fase finalizador

Cuadro 7.- Fase: Finalizador 80-105 kg de peso vivo

Materia prima	DCN %	DC %	DCN+EA+F %	DCN+EB+F %
Sorgo	77.099	74.669	78.056	78.067
Pasta de soya	18.591	18.987	18.435	18.433
Sebo	0.682	2.721	0.332	0.328
Fosfato monocálcico	1.138	1.143	0.757	0.757
Carbonato de calcio	1.063	1.059	0.975	0.975
L-Lisina	0.471	0.464	0.474	0.474
Sal común	0.45	0.45	0.45	0.45
L-Treonina	0.116	0.116	0.116	0.116
Premezcla mineral ¹	0.1	0.1	0.1	0.1
Premezcla vitaminas ²	0.1	0.1	0.1	0.1
Colina 60%	0.072	0.072	0.07	0.072
Ractopamina 2%	0.05	0.05	0.05	0.05
DL-Metionina	0.029	0.030	0.028	0.028
Sulfato de Cu	0.025	0.025	0.03	0.025
Antioxidante	0.015	0.015	0.015	0.015
Enzima A			0.010	
Natuphos			0.005	0.005
Enzima B				0.005
PC %	15	15	15	15
EM Cerdo crecimiento				
Kcal/kg	3310	3400	3310	3310
Lys SID% ³	0.99	0.99	0.99	0.99
Ca %	0.69	0.69	0.69	0.69
P disponible %	0.321	0.321	0.321	0.321
Na %	0.174	0.174	0.174	0.174

DCN: Dieta control negativo. DC: Dieta control. DCN+EA+F: Dieta control negativo más complejo enzimático A más fitasa. DCN+EB+F: Dieta control negativo más complejo enzimático B más fitasa.

¹Proporcionó por cada kilogramo de alimento: Minerales quelados; Zn 48 mg, Fe 39 mg, Mn 16 mg, Cu 5.6 mg, I 0.250 mg, Se 0.12 mg, Co 0.05 mg. Minerales inorgánicos; Cu 8.4 mg, Fe 48 mg, Mn 24 mg, Co 0.06 mg, I 0.3 mg, Zn 72 mg Se 0.18 mg.

²Proporcionó por cada kilogramo de alimento: Vitaminas; Vitamina AD3 0.00016 KIU, Vitamina A 10 KIU, Vitamina D3 1.8 KIU, Vitamina E 100 mg, Vitamina K3 5 mg, Vitamina B1 3 mg, Vitamina B2 10 mg, Vitamina B6 6 mg, Vitamina B12 0.04 mg, Nicotinamina 35 mg, Ac. Pantoténico 30 mg, Vitamina C, Biotina 0.5 mg.

³Lisina digestible ileal estandarizada.

Alimentación

El Programa de alimentación utilizado fue el mismo que el de la granja; en base a un presupuesto (Cuadro 10). Los cerdos fueron alimentados a libre acceso, el alimento se pesaba y servía a las 800 y a las 1600 horas. Al final de la fase los comederos que contenían aun alimento se le extrajo y se le resto al consumo total del alimento servido.

Cuadro 8.- Presupuesto de alimento por unidad experimental

Fase de alimento	DCN	DC	DCN+EA+F	DCN+EA+F
Crecimiento (kg)	705	705	705	705
Desarrollo (kg)	759	759	759	759
Engorda (kg)	840	840	840	840
Finalización (Kg)	930	930	930	930

DCN: Dieta control negativo. DC: Dieta control. DCN+EA+F: Dieta control negativo más complejo enzimático A más fitasa. DCN+EB+F: Dieta control negativo más complejo enzimático más fitasa.

6.5.3 Pesaje

Los cerdos se pesaron cuando comenzaba y finalizaba una dieta diferente. Los animales que mostraron signos de enfermedad se eliminaron de la prueba.

6.5.4 Variables

Las variables respuesta evaluadas fueron:

- Consumo promedio diario de alimento (CDA): Se calculó mediante la suma de los consumos diarios de cada etapa entre el número de días y el número de cerdos del corral.

$$CDA (kg) = (\text{Consumo total (kg)} \div \text{número de días}) \div \text{Número de cerdos}$$

- Ganancia promedio diaria de peso (GDP): Se midió mediante la sustracción del peso final de la etapa menos el peso de inicio entre el número de días y el número de cerdos de cada corral.

$$GDP (kg) = ((\text{peso final (kg)} - \text{peso inicial (kg)}) \div \text{Número de días}) \div \text{número de cerdos}$$

- Eficiencia Alimenticia (EA): se obtuvo de la división de la GDP y CDA

$$EA = \text{ganancia diaria de peso (kg)} \div \text{consumo diario de alimento}$$

- Consumo energético CE Se obtuvo de la multiplicación de CDA por la energía metabolizable de la dieta

$$CE \text{ (Mcal)} = \text{consumo diario de alimento} \times EM \text{ Mcal}$$

- Eficiencia energética EE: Se obtuvo al dividir la GDP entre CE

$$EA = \text{ganancia diaria de peso (kg)} \div \text{consumo energético}$$

6.6 Análisis Estadístico

Las variables consumo diario de alimento, ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia, eficiencia energética y consumo energético; fueron analizadas por medio de un modelo de bloques al azar, formando cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno. El nivel de significancia fue de $P < 0.05$.

El modelo para el diseño en bloque aleatorizado fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad i = 1,2,3,4 \quad j=1,2,3$$

Donde:

Y_{ij} = Observación en el tratamiento i y el bloque j

μ = Media Global

τ_i = El efecto del tratamiento i

β_j = El efecto compuesto del bloque j

ε_{ij} = Error aleatorio con media 0 y varianza y una distribución normal

Los datos fueron analizados con un ANDEVA y dónde se encontró diferencias entre las medias ($P < 0.05$) se aplicó la prueba de TUKEY. Para realizar los análisis se utilizó el paquete estadístico SPSS © 21.0. (2012).

7 Resultados

7.1 Fase de crecimiento

Los resultados de la fase de crecimiento se muestran en el Cuadro nueve. No se encontró diferencia en el CDA y en la GDP; aunque la GDP aumentó numéricamente en la DC un 10.4%, DCN+EA+F 8.1% y DCN+EB+F 11.6% con respecto a DCN. La EA se encontró diferencia ($P = 0.05$) entre las dietas, la DC, DCN+EA+F y DCN+EB+F, las cuales aumentaron en un 4, 8.1 y 6.1% respectivamente en comparación con DCN. Las medias de las dietas con enzimas (DCN+EA+F y DCN+EB+F) se comportaron de manera semejante respecto a la DC en la EA. No se encontró diferencia significativa ($P > 0.584$) en el CE. La EE entre los tratamientos se encontró diferencia estadística ($p = 0.039$) aumentando la DC un 2% la DCN+EA+F un 8% y la DCN+EB+F un 6% con respecto a la DCN. Las dietas con enzimas (DCN+EA+F y DCN+EB+F) se comportaron de manera similar a la DC.

Cuadro 9.- Parámetros productivos fase de crecimiento

	DCN	DC	DCN+EA+F	DCN+EB+F	SEM	P-valor
Número de cerdos	45	45	45	45		
Peso inicial (kg)	31.91	32.17	31.86	31.94	1.629	0.871
Peso final (kg)	47.48	48.01	47.89	47.82	0.454	0.689
Consumo diario de alimento (kg)	1.75	1.84	1.75	1.83	0.114	0.848
Ganancia diario de peso (kg)	0.86	0.95	0.93	0.96	0.056	0.378
Eficiencia alimenticia	0.49 ^b	0.51 ^a	0.53 ^a	0.52 ^a	0.012	0.050
Consumo energético (Mcal/kg)	5.82	6.26	5.79	6.06	0.22	0.584
Eficiencia energética (kg/Mcal)	0.149 ^b	0.152 ^a	0.161 ^a	0.158 ^a	0.03	0.039

Medias con diferente literal denotan diferencia significativa ($P < 0.05$).

SEM= Error estándar de la media.

DCN: Dieta control negativo. DC: Dieta control. DCN+EA+F: Dieta control negativo más complejo enzimático A más fitasa. DCN+EB+F: Dieta control negativo más complejo enzimático más fitasa.

7.2 Fase de desarrollo

Los resultados del comportamiento productivo de la fase de desarrollo se muestran en el Cuadro diez. En el peso final se encontró diferencia estadística ($P < 0.036$), la DC aumentó un 2.8%, la DCN+EA+F un 2.8% y la DCN+EB+F 3.6% en comparación con la DCN y los tratamientos con enzimas (DCN+EA+F y DCN+EB+F) se comportaron de manera semejante a la DC. El CDA no se encontró diferencia entre los tratamientos. Sin embargo, la GDP fue diferente entre los tratamientos ($P < 0.001$) siendo mayor las dietas DC (36.6%), la DCN+EA+F (28.2%) y la DCN+EA+F (32.3%), comportándose de manera similar las dietas con enzimas (DCN+EA+F y DCN+EB+F) con respecto a la DC. De la misma forma se encontró una diferencia significativa ($P < 0.008$) en la EA, en el grupo DC, DCN+EA+F y DCN+EB+F en un 19.1%, 15.5% y 20.4% respectivamente en comparación con la DCN. Además los grupos con enzimas (DCN+EA+F y DCN+EB+F) mostraron medias similares respecto a la DC. En el CE no se encontró diferencia significativa, no obstante la EE fue mayor en los tratamientos adicionados con enzimas (DCN+EA+F y DCN+EB+F) en un 33% y 22% comparado con la DCN, y fueron similares respecto a la DC.

Cuadro 10.- Parámetros productivos fase desarrollo

	DCN	DC	DCN+EA+F	DCN+EB+F	SEM	P-valor
Número de cerdos	45	45	45	45		
Peso inicial (kg)	47.48	48.01	47.89	47.82	0.454	0.689
Peso final (kg)	60.62 ^c	62.36 ^{ba}	62.32 ^{ba}	62.85 ^a	0.820	0.036
Consumo de alimento (kg)	2.17	2.37	2.35	2.28	0.146	0.497
Ganancia diario de peso (kg)	0.71 ^b	0.97 ^a	0.91 ^a	0.94 ^a	0.042	0.001
Eficiencia alimenticia	0.32 ^b	0.40 ^a	0.39 ^a	0.41 ^a	0.192	0.008
Consumo energético (Mcal/kg)	7.87	7.38	7.79	7.56	7.65	0.726
Eficiencia energética (Kg/Mcal)	0.09 ^b	0.12 ^a	0.11 ^a	0.12 ^a	0.003	0.004

Medias con diferente literal denotan diferencia significativa ($P < 0.05$).

SEM= Error estándar de la media.

DCN: Dieta control negativo. DC: Dieta control. DCN+EA+F: Dieta control negativo más complejo enzimático A más fitasa. DCN+EB+F: Dieta control negativo más complejo enzimático más fitasa.

7.3 Fase engorda

Los resultados de la fase de engorda se encuentran en el Cuadro 11. En esta fase no se encontraron diferencias significativas estadística en los parámetros productivos evaluados. Pero se encontró un aumento numérico en la GDA de la DC (11.6%), DCN+EA+F (11.6%) y DCN+EB+F (10%) con respecto a la DCN. En EA se encontró un aumento numérico de las DC de un 15%, DCN+EA+F de 15% y DCN+EA+F de 11.5%, respecto a la DCN. Las dietas DCN+EA+F y DCN+EB+F se comportaron de manera similar a la DC. El CE fue similar entre DCN+EA+F, DCN+EB+F y DC pero superiores en un 8%, 2% y un 6% respecto a la DCN. La CE no se encontró diferencia estadística ($p < 0.185$) pero la DCN+EA+F y DCN+EB+F y DC fueron mayores la DCN en un 25%, 17.94% y 11% respectivamente.

Cuadro 11.- Parámetros productivos fase de engorda

	DCN	DC	DCN+EA+F	DCN+EB+F	SEM	P-valor
Número de cerdos	42	45	45	44		
Peso inicial (kg)	62.3	61.05	62.32	62.85	0.823	0.384
Peso final (kg)	73.82	77.68	78.51	77.41	1.689	0.094
Consumo diario de alimento (kg)	2.26	2.17	2.19	2.27	0.153	0.880
Ganancia diario de peso (kg)	0.60	0.67	0.67	0.66	0.077	0.802
Eficiencia alimenticia	0.26	0.30	0.30	0.29	0.021	0.291
Consumo energético (Mcal/kg)	7.1	7.68	7.25	7.53	0.262	0.752
Conversión energética (Kg/Mcal)	0.078	0.098	0.092	0.087	0.004	0.185

Medias con diferente literal denotan diferencia significativa ($P < 0.05$).

SEM= Error estándar de la media.

DCN: Dieta control negativo. DC: Dieta control. DCN+EA+F: Dieta control negativo más complejo enzimático A más fitasa. DCN+EB+F: Dieta control negativo más complejo enzimático más fitasa.

7.4 Fase finalizador

Los resultados del comportamiento productivo de la fase de finalizador se muestran en el Cuadro 12. En esta última fase de alimentación no se encontró diferencia estadística en las variables evaluadas sin embargo en el peso final fue diferente numéricamente las dietas DCN+EA+F, DCN+EB+F y DC fueron superiores en un 18%, 10% y 9% respecto a la DCN. También se encontró un aumento numérico de la GDP en DCN+EA+F DCN+EB+F en un 2.4%, 6.8% y un 2% respecto a la DCN. De la mismo forma la EA se incrementó numéricamente en DCN+EA+F, DCN+EB+F y DC respecto a DCN en un 17%, 13% y 17% respectivamente.

Cuadro 12.- Parámetros productivos de la fase Finalizador

	DCN	DC	DCN+EA+F	DCN+EB+F	SEM	P-valor
Número de cerdos	41	41	43	44		
Peso inicial (kg)	77.68	76.15	78.51	77.41	1.681	0.592
Peso final (kg)	87.78	94.03	96.40	95.60	3.889	0.190
Consumo de alimento (kg)	2.49	2.55	2.66	2.44	0.116	0.503
Ganancia diario de peso (kg)	0.75	0.87	0.86	0.84	0.073	0.221
Eficiencia alimenticia	0.290	0.34	0.33	0.34	0.024	0.160
Consumo energético (Mcal/kg)	8.26	8.67	8.67	8.08	0.19	0.374
Eficiencia energética (Kg/Mcal)	0.087	0.10	0.10	0.10	0.008	0.188

Medias con diferente literal denotan diferencia significativa (P <0.05).

SEM= Error estándar de la media.

DCN: Dieta control negativo. DC: Dieta control. DCN+EA+F: Dieta control negativo más complejo enzimático A más fitasa. DCN+EB+F: Dieta control negativo más complejo enzimático más fitasa.

8 Discusión

8.1 Fases de crecimiento y desarrollo

Los resultados en el uso de la combinación de enzimas exógenas (xilanasa, glucanasa, y fitasa) son consistentes con el de otros autores al encontrar mejoras en parámetros de desempeño productivo (Fan *et al.*, 2009; Beaulieu *et al.*, 2007; Oluksi *et al.*, 2007; Foeli *et al.*, 2008), sin embargo son pocos los estudios realizados en el uso de xilanasas y glucanasas sobre dietas sorgo-soya en dietas crecimiento finalización (Aispuru *et al.*, 2015).

Debido a que la cantidad de PSNA en el sorgo 4.8% no es tan alta si se compara con otros granos como en el trigo (11.4%), esto representa una limitante para el aprovechamiento de los nutrientes que estas estructuras encapsulan (Choct *et al.*, 2007). La utilización de xilanasas es una opción en dietas a base de sorgo, ya que el 63% de los PSNA de este grano corresponde a arabinoxilanos.

8.1.1 Consumo diario de alimento

En este estudio el CDA en la fase de crecimiento y desarrollo no fue diferente entre dietas. El incremento numérico de las dietas DCN+EA+F, DCN+EB+F y DC fueron superiores a la DCN al que no se le añadió enzimas. Landeau *et al.* (2011) señalaron que ni el nivel de energía ni la inclusión de un complejo enzimático en la dieta influyeron en el CDA de cerdos jóvenes. A parte de ello, Nortey *et al.* (2007) mostraron que una combinación de xilanasa y fitasa sobre dietas a base de trigo y salvado de trigo observaron un CDA disminuido, señalando una posible causa el desequilibrio de nutrientes dentro del tracto gastrointestinal. El uso de xilanasa y β -glucanasa en dietas fibrosas de cerdo en crecimiento el CDA no se ve afectado (Agyekum *et al.*, 2015). Posiblemente el efecto del consumo es por la edad de los cerdos, por su capacidad limitada en el consumo (Black *et al.*, 2009).

Sin embargo Zijlstra *et al.* (2004) encontró un aumento en el CDA, sugiriendo que el exceso de arabinosilanos y β -glucanos en el tracto gastrointestinal pueden estar directamente o indirectamente relacionados inhibiendo el consumo voluntario, así resultando en un desbalance de nutrientes relacionados con los carbohidratos. En las etapas de crecimiento y desarrollo se encontró numéricamente una disminución del CDA en cerdos que no recibieron una dieta añadida con enzimas exógenas.

8.1.2 Ganancia diaria de peso

En la fase de crecimiento la GDP no se encontró diferencia entre los grupos. Sin embargo, los grupos que sus dietas contenían enzimas y el grupo control positivo fueron numéricamente mayores al grupo control negativo. Estos resultados coinciden con Woyengo *et al.* (2008), no encontraron un efecto por el tratamiento en la GDP. No obstante en la fase de desarrollo se encontró una diferencia estadística en la GDP entre tratamiento observándose una mejoría en dietas adicionadas con enzimas, se puede atribuir este efecto a un mayor consumo de alimento como lo señalaron Zijlstra *et al.* (2004) quienes encontraron una mejora en la GDP atribuible a un una mayor CDA. Estos resultados se pueden deberse principalmente a la variabilidad de granos usados en cada estudio y la etapa de crecimiento de los cerdos. El uso de carbohidrasa adicionada en dietas a base de cebada no mejoró la GDP en cerdos destetados y en cerdos en finalización (Trachek *et al.*, 1992). En contraste Omogbenigun *et al.* (2004) señalaron que la adición de carbohidrasa a dietas con base a trigo, mejoró la GDP y el en cerdos destetados.

El uso de xilanasas compensa la reducción de energía en la dieta durante la etapa de iniciales, manteniendo o mejorando el CDA y la GDP. Esta respuesta puede deberse a que las carbohidrasas aumenta la digestibilidad de los ingredientes energéticos o compensan una deficiencia en cerdos alimentados

con ingredientes con alto contenido de PSNA (Nortey et al., 2007). La posible causa es que la adición de carbohidrasas en la dieta incrementan el aprovechamiento de energía; disminuyendo los problemas con la absorción además de incrementar la cantidad de energía digestible. (Aispuru *et al.*, 2015)

Las carbohidrasas al parecer son más efectivas en dietas para cerdos formuladas con altos contenidos de fibra, como los DDGS, cebada, trigo o avena (Omogbening *et al.*, 2004; Emiola *et al.*, 2009).

8.1.3 Eficiencia alimenticia

En la etapa de crecimiento y desarrollo de la EA de la DCN+EA+F, ECP+EB+F y DC fue mayor en comparación con las DCN, comportándose de manera similar las dietas con enzimas y la dieta control, estos resultados coinciden con Jones *et al.*, (2015) quienes señalan un efecto en la adición de enzimas en dietas maíz-pasta de soya sobre la eficiencia alimenticia en cerdos jóvenes. El uso de carbohidrasas aumentó la eficiencia alimenticia en cerdos que recibieron dietas con una combinación de enzimas (xilanasas, glucanasas y fitasas) y con diferentes niveles de PSNA de los ingredientes utilizados en la dieta (Omogbening *et al.*, 2004) la combinación de enzimas probablemente tenga un efecto mayor que sólo el uso de una (Olukosi *et al.*, 2007).

8.1.4 Consumo y eficiencia energética

En las fases de crecimiento y desarrollo se encontró mayor eficiencia energética de las DCN+EA+F y DCN+EB+F en comparación con la DCN pero las dietas con enzimas se comportaron de manera similar a la DC. Este efecto se debe a un posible aumento de la digestibilidad de la energía y con ello el aumento de la eficiencia alimenticia (Nortey *et al.*, 2007; Feoli *et al.*, 2008). Casas *et al.*, 2015 mostraron un aumento de la digestibilidad de la EM en dietas con subproductos de arroz adicionadas con xilanasas.

8.2 Fase de engorda y finalizador

8.2.1 Consumo diario de alimento

No se encontró diferencia entre tratamientos. El efecto de las carbohidrasas puede estar relacionado con la edad del cerdo. En cerdos jóvenes el consumo se afecta por la limitada capacidad física ingesta (Black *et al.*, 2009; Kiarie *et al.*, 2012). Olukosi *et al.*, 2007; observó un mejor desempeño en cerdos jóvenes. Respectivamente Graham *et al.*, (1988) observaron que cerdos de 20 kg de peso respondían más a la adición de β -glucanasa que los cerdos de 60 a 95 kg. Zijlstra *et al.* (2004) observaron una respuesta positiva en el consumo diario de alimento pero en cerdos jóvenes al utilizar β -glucanasa.

Los cerdos en la etapa de finalizador tienen un consumo compensatorio cuando las dietas contienen una cantidad reducida de energía, señalando en dietas control negativo las cuales contiene un porcentaje menor de energía (Kiarie *et al.*, 2012)

8.2.2 Ganancia diaria de peso

La adición de encimas no aumento significativamente en las fases de engorda y finalizador pero si se encontró una tendencia, esto coincide con Hanczakowska *et al.* (2012) señalando que la adición de xilanasa en dietas de cerdos de 90 Kg no aumentaron la GDP pero si una mejora en la GDP acumulada de los 27-110 kg de peso vivo.

No se encontró una diferencia estadística entre tratamientos esto fue observado también por Hanczakowska *et al.* (2012) quienes no encontraron una diferencia en esta variable en cerdos en finalización.

8.2.2 Eficiencia alimenticia

La EA no se observó comprometida con el uso de enzimas exógenas en comparación con el grupo control. No obstante numéricamente se fue mayor, Hanczakowska *et al.* (2012) encontraron un aumento en la eficiencia de alimento señalando que este aumento se debe a que las xilanasas puede mejorar la utilización de los lípidos en la dieta, debido a a que las degradación enzimática de arabinosilanos aumenta la accesibilidad de nutrientes para de degradación enzimática intestinal.

9 Conclusiones

El presente estudio demostró que la adición de xilanasas, β -glucanasa y fitasa en dietas sorgo-pasta de soya mejoró en este estudio la GDP y la EA en las fases de crecimiento y desarrollo en dietas deficientes de energía.

Este estudio señaló que en uso de xilanasas, β -glucanasa y fitasa, en dietas deficientes de energía no afecta el desempeño productivo en las fases de engorda y finalizador.

El tipo de enzima adicionada a las dietas A (*Penicillium funiculosum*) o B (*Aspergillus niger*) no se encontró diferencias en los parámetros de comportamiento en las diferentes dietas utilizadas.

10 Bibliografía

- Agyekum, AK, Sands JS, Regassa A, Kiarie E, Weihrauchm D, Kim WK, y Nyachoti M (2015). Effect of supplementing a fibrous diet with a xylanase and β -glucanase blend on growth performance, intestinal glucose uptake, and transport-associated gene expression in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 93: 3843-3493.
- Aispuro JAM, Figueroa-Velasco JL, Cordero-Mora JL, Ruíz-Flores A, Sánchez MT, Ortega ME (2015). Efecto de la xilanasas en dietas a base de sorgo con diferentes niveles de energía metabolizable y proteína cruda sobre variables productivas y de canal de cerdos en iniciación. *Revista Científica Veterinaria.* 25 (2): 123-131.
- Akinmusire AS and Adeola O (2009). True digestibility of phosphorus in canola and soybean meals for growing pigs: Influence of microbial phytase. *J. Anim. Sci.* 87: 977-983.
- Avila E, Arce J, Soto C, Rosas F, Ceccantini M and McIntyre DR (2012). Evaluation of an enzyme complex containing nonstarch polysaccharide enzymes and phytase on performance of broilers fed a sorghum and soybean meal diet. *J. Appl. Poult. Res.* 21: 279-286.
- Bach Knudsen KE (1997). Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Anim. Feed Sci. Technol.* 67: 319-338.
- Beaulieu AD, Bedford MR y Patience JF (2007). Supplementing corn or corn-barley an *E. coli* derived phytase decreases total and soluble P output by weaning and growing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 87: 353-364.
- Berekatain MR, Antipatis C, Choct M and Iji PA (2013). Interaction between protease and xylanase in broiler chicken diets containing sorghum distillers' dried grains with solubles. *Anim. Feed Sci. Technol.* 182: 71-81.
- Black JL, Willims BA, Gidley MJ (2009). Metabolic regulation of feed intake in monogastric mammals. En. *Voluntary feed intake in pigs.* Torrallardona D, Roura E Eds, Wagening Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands. Pp189-214.

- Campabadal C y Navarro H, (2008). Capítulo 8. Materias primas utilizadas en la alimentación de cerdos. En. Alimentación de los cerdos en condiciones tropicales. Campabadal C y Navarro H Eds. Asociación Americana de soya, México y Centroamérica
- Carpitia NC, And Giberaut DM (1993). Structural models of primary cell walls in flowering plants: Consistency of molecular structure with the physical properties of the walls during growth. *Plant J.* 3:1-30.
- Carré B (2002). Chapter 3. Carbohydrate chemistry of the feedstuffs used for poultry. En. *Poultry Feedstuffs*. McNab JM and Boorman KN Eds. CAB International. Pp.39-56.
- Casas GA, y Stein HH (2016). Effects of microbial xylanase on digestibility of dry matter, organic matter, neutral detergent fiber, and energy and the concentrations of digestible and metabolizable energy in rice coproducts fed to weanling pig. *J. Anim. Sci.* 94: 1933-1939.
- Cheryan M (1980). Phytic acid interactions in foods systems. *Crit. Rev. Food Sci.* 13: 297-335.
- Choct AL, Marbach EP (2006) Enzymes for the feed industry: past, present and future. *World's Poultry Science Journal.* 62: 5-15.
- Choct M (2002). Chapter 13. Non-starch polysaccharides: effect of nutritive value. En. *Poultry Feedstuffs*. McNab M and Boorman K Eds. CAB International. Pp 221-230.
- Choct M, Dersjant Y, McLeish J and Peisker M (2010). Soy oligosaccharides and soluble non-starch polysaccharides: review of digestion, nutritive and anti-nutritive effects in pigs and poultry. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 23: 1386-1398.
- Choct M, Kocher A, Waters D L; Pettersson D and Ross G (2004). A comparison of three xylanases on the nutritive value of two wheat for broilers chickens. *Br. J Nutr.* 92: 53-61.
- Cromwell GL, Calvert TR, Cline JD
- Delcour J (2010). Chapter1. Structure of Cereals. En *Principles of cereals science technology*. Delcour J and Hosney R. Eds. Pp 1-22.

- Doherty C, Faubion JM and Rooney LW, (1982). Semiautomated determination of phytate in sorghum products. *Cereal Chem.* 59: 373-378.
- Earp CF, McDonough CM, Rooney LW (2004). Microscopy of pericarp development in the caryopsis of sorghum bicolor (L.) Moench. *J. Cereal Sci.* 39: 21-27.
- Elkin G (2002). Chapter 4. Nutritional Components of feedstuffs: a qualitative chemical appraisal of protein. En *Poultry Feedstuffs*. McNab M and Boorman K Eds. CAB International. Pp 57-86.
- Emiola IA, Opapeju FO, Slominski BA, Nyachoti CM (2009). Grow performance and nutrient digestibility in pigs fed wheat distiller dried grains with solubles based diets supplemented with a multicarbohydrase enzyme. *J. Anim. Sci.* 87: 2315-2322.
- Fan CL, Han X, Xu R, Wang LJ, y Shi LR (2009). Effects of β -glucanase and xylanase supplementation on gastrointestinal digestive enzyme activities of weaned piglets fed barley- based diets. *J. Anim. Physiol. An. N.* 93: 271-276.
- FAOSTAT (2014). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics Division.
- FEDNA (2010). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Composición y valor nutritivo de alimentos. Tercera edición.
- Feoli C, Hancock JD, Gule SD, Carter S, y Cole NA (2008). Effects of adding enzymes to diets with corn and sorghum-based dried distillers grains with solubles on growth performance and nutrient digestibility in nursery and finishing pigs. Department of Animal Science Oklahoma State University, Stillwater.
- Financiera Rural (2011). Monografías del Sorgo Grano. SAGARPA. México.
- Gilbert C y Cooney G (2010). Thermo stability of feed enzymes and their practical application in the feed mill. En. *Enzymes in farm animal nutrition*. Bedford M R y Partridge G Eds. CAB international. Pp 249-250.

- Graham HJ, Fedel MW, Newman CW and Newman R K (1998). Effects of pelleting and β -glucanase supplementation on the ileal and fecal digestibility of barley-based diet in the pig. *J. Anim. Sci.* 67:1293-1298.
- Graham HJ, Fedel MW, Newman CW y Newman RK (1998). Effects of pelleting and β -glucanase supplementation on the ileal and fecal digestibility of barley-based diet in the pig. *J. Anim. Sci.* 67:1293-1298.
- Gutierrez NA, Kerr BJ and Patience JF (2013). Effect of insoluble-low fermentable fiber from corn-ethanol distillation origin on energy, fiber, and amino acid digestibility hindgut degradability of fiber, and growth performance of pigs. *J. Anim. Sci.* 91: 5314-5325.
- Hanczakowska E, Malgorzata S, Kühn I (2012). Efficacy and dose response of xylanase in diets for fattening pigs. *Annual Animal Science* 12 (4): 539-548.
- Humer E, Schwarz C, y Schedle K (2014). Phytate in pig and poultry nutrition.. *J. Anim. Physiol. An. N* 99: 605-925.
- Hunter E, Schwartz C and Shedle (2015) Phytate in pig and poultry nutrition. *J. Anim. Physiol. An. N.* 99 (4): 605-625
- Instituto Nacional de Estadística y geografía (INEGI) Consultado el 20 de junio del 2015 en <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=14>
- Ji F, Casper DP; Brown PK, Spangle DA; Haydon KD and Pettigrew (2008). Effects of dietary supplementation of an enzyme blend on the ileal and fecal digestibility of nutrients in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 86: 1533-1542.
- Jo JK, Ingale SL, Kim JS, Kim YM, Kim KH, Lohakare JD, Lee JH and Chae B J (2012). Effects of exogenous enzyme supplementation to corn-soybean meal based or complex diets on growth performance, nutrient digestibility, and blood, metabolites in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 90: 1041-3048.
- Johnston SL, Williams SB, Southern LL, Bidner TD; Bunting LD, Matthews JO, Olcott BM (2004) Effects of phytase addition and dietary calcium and

- phosphorus levels on plasma metabolites and ileal and total tract nutrient digestibility in pigs. *J. Anim. Sci.* 82: 704-714.
- Jones CK, Frantz A, Bingham C, Bergstrom, DeRouchey JM y Patience JF (2015). Effects of drought-affected corn and nonstarch polysaccharide enzyme inclusion on nursery pig growth performance. *J. Anim. Sci.* 93: 1703-1709.
- Karr-Lilienthal LK, Bauer LL, Utterback PL, Zinn KE, Frazier RL, Parsons CM and Fahey GC (2006). Chemical composition and nutritional quality of soybean meals prepared by extruder-expeller processing for use in poultry diets. *J. Agr. Food Chem.* 54: 8108-8114.
- Kiarie E, Owusu-Asiedu A, Péron A, Simmins PH and Nyachoti CM (2012). Efficacy of xylanase and β -xylanase blend in mixed grains and co-products-based diets for fattening pigs. *Livest. Sci.* 148: 129-133.
- Kies AK, De Jonge HL, Kemme PA and Jongbloed A W (2006). Interaction between protein, phytate, and microbial phytase. *in vitro* studies. *J. Agr. Food Chem.* 54: 1753-1758.
- Knudsen KE (1997). Carbohydrate and lignin contents of plant material used in animal feeding. *Anim. Feed Sci. Technol.* 67:312-338.
- Knudsen KE, Larke HN, Jorgensen H (2013). Carbohydrates and carbohydrate utilization in swine. *En Sustainable swine nutrition*, Chiba LI Ed. John Wiley and Son. USA. Pp 109-134.
- Ko Y and Lin Y (2004). 1,3 β -glucan quantification by a fluorescence microassay and analysis of its distribution in foods. *J. Agr. Food Chem.* 90: 74-76.
- Koehler P and Wieser H (2013). Chapter 2. Chemistry of cereal grains. *En. Handbook on sourdough biotechnology*. Gobbetti M and Gänzle Eds. Springer Science. New York, USA. Pp. 11-45.
- Konietzny U y Greiner R (2002). Molecular and catalytic properties of phytate-degrading enzymes (phytases). *International J. Food Sci. Tech.* 37: 791-812.
- Liao SF, Kies AK, Sauer WC, Zhang YC, Cervantes M, He JM (2005). Effect of phytase supplementation to a low and a high phytase diet for growing

- pigs on the digestibilities of crude protein, amino acids and energy. *J. Anim. Sci.* 83: 2130-2136.
- Liao SF, Kies KA, Sauer C, Zhang CY, Cervantes M and He JM (2005). Effect of phytase supplementation to a low and a high phytate diet for growing pigs on the digestibilities of crude protein, amino acids, and energy. *J. Anim. Sci.* 83: 2130-2136.
- Liu N, Ru YJ, Tang DF, Xu TS and Partridge GG (2011). Effects of corn distillers dried grains with solubles and xylanase on growth performance and digestibility of diet components in broilers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 163: 260-266.
- Maenz D, Engele-Shaan M, Newkirk RW and Classen HL (1999). The effect of minerals and mineral chelators on the formation of phytase-resistant and phytase-susceptible forms phytic acid in solution and in slurry of canola meal. *Anim. Feed Sci. Technol.* 81: 177-192.
- Masey-O'Neill HV, Smith JA, and Bedford RM (2014). Mutli-carbohydrase enzymes for non.ruminants. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 27: 290-301.
- Moehm S, Atakara K, Sands J and Ball O (2007). Effect of phytase-xylanase supplementation to wheat-based diets on energy metabolism in growing-finishing pigs fed ad libitum. *Livest. Sci.* 109: 271-274.
- Moeser AJ, Kim IB; Heugten V and Kempen T G (2002). The nutritional value of degermed, duelled corn for pigs and its impact on the gastrointestinal tract and nutrient excretion. *J. Anim. Sci.* 80: 2629-2638.
- Nortey TN, Patience J, Sands NL, Trottier NL, Y Zijlstra RT (2008). 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 pigs. *J. Anim. Sci.* 86 (12): 3450-3464.
- NRC (1998). *Nutrient Requirement of Swine.* 10 th rev. ed. National Academy Press. Washington DC.
- NRC (2012). *Nutrient Requirement of Swine.* 11 th rev. ed. National Academy Press. Washington DC.

- O'shea SJ, Mc Alpine PO, Soaln P, Curran T, Varley PF and Walsh AM (2013). The Effect of protease and Xylanase enzymes on growth performance nutrient digestibility, and manure odour in grower-finish pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.* 189: 88-97.
- Olokusi OA, Sands JS and Adeola O (2007). Supplementation of carbohydrases or phytase individually or in combination to diets for weanling and growing-finishing pig. *J. Anim. Sci.* 85:1702-1711.
- Olukosi OA, Cowieson AJ, Adeola O, (2007) Age-related influence of a cocktail of xylanase, amylase, and protease or phytase individually or in combination in broilers. *Poultry Sci.* 86: 77-86.
- Omogbenigun FO, Nyachoti CM, Slominski (204). Dietary supplementation with multienzyme preparations improves nutrient utilization and growth performance in weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 82: 1053-1061.
- Omogbenigun FO, Nyachotu CM, Slominski BA, (2004). Dietary supplementation with multienzyme preparations improves nutrient utilization and growth performance in weaned pigs. *J. Anim. Sci.* 82: 1053-1061.
- Owusu-Asiedu A, Kiarie E, Péron A, Woyengo TA, Simmins PH, y Nyachoti (2012). Growth performance and nutrient digestibilities in nursery pigs receiving varying does of xylanase and β -glucanase blend in pelleted wheat and barley based diets. *J. Anim. Sci.* 90: 92-94.
- Owusu-Asiedu AJ; Patirce B, Laarveld B, Van Kessel AG, Summins PH and Zijlstra RT (2006) Effects of guar gum and cellulose on digests passage rate, ileal microbial populations, energy and protein digestibility, and performanxe of grower pigs. *J. Anim. Sci.* 84: 843-852.
- Paloheimo M, Piironen J and Vehmaanpera J (2010). Xylanase and cellulases ad feed additives. En *Enzymes in farm animal nutrition*. Bedford M R y Partridge G Eds. CAB international. Pp 12-53.
- Patience JF (2012). Chapter 5. The influence of dietary energy on feed in grow-finish Swine. En *Feed efficiency in swine*. Patience JF Ed. Wageningen Academic publishers. Pp 102-121.

- Petigrew J, Soltwedel KT, Miguel JC and Palacios MF (2009). Soybean use swine. Soybean Meal Information Center. Fact Sheet.
- Plessis JD (2003). Sorghum production. Republic of South Africa by Department of agriculture. Pp. 3-5
- Pomar CF, Gagné JJ; Matte J, Barnett GY and Jondreville C (2008). The effect of microbial phytase on true and apparent ileal amino acid digestibilities in growing-finishing pig. *J. Anim. Sci.* 86: 1598-1608.
- Salle P y Ravindran V (2007). Microbial Phytase in poultry nutrition. *Anim. Feed Sci. Tech.* 135: 1-41.
- Sandberg A, y Andlid T (2002). Phytogetic and microbial phytases in human nutrition. *International Journal Science and Technology.* 37: 823-833.
- Schlemmer U, Jany A, Berek E, Shulz E and Rechkemmer G. (2001). Degradation on phytate in the gut of pig-pathway of gastro-intestinal inositol phosphohate hydrolysis and enzymes involved. *Arch Tierernahr.* 55: 255-280.
- Selle P H, RWalker A R and Bryden W L, (2003). Total and phosphorus contents and phytase activity of Australian Source feed ingredients for pigs. And poultry. *Australian journal Explorer Agriculture.* 43: 475-479.
- Selle P, Cadogan D, Li X and Bryden W (2010). Implications of sorghum in broiler chicken nutrition. *Anim. Feed Sci. Technol.* 156: 57-74
- Selle PH, Cadogan DJ, Ru YJ, Partridge GG (2010). Impact of exogenous enzymes in sorghum or wheat based broiler international. *J. Poult. Sci.* 9 (1): 2010.
- SIACON (2014). Sistema de Información Agroalimentario de Consulta. SAGARPA.
- Sjöström E (1993). *Wood Chemistry: Fundamentals and applications*, 2nd end. Academic Press, New York, Pp 63-70.
- SPSS Inc. Released 2012. *Statistics for Windows, Version 21.0.* Armonk: IBM Corp.
- Stain H, Roth JA, Sotak and Rojas OJ (2013). Nutritional value of soy products fed to pigs. *Swine. Swine focus 4.* University of Illinois.

- Sterk A, Verdonk A, Mul A, Soenen B, Bezencon ML, Frehner M, Losa R (2007). Effect of xylanase supplementation to a cereal-based diet on the apparent fecal digestibility in weanling piglets. *Livest. Sci.* 108: 269-271.
- Svihus B (2010). Chapter 6. Effect of digestive tract conditions, feed processing and ingredients on response to NSP enzymes. En *Enzymes in farm animal nutrition*, Bedford RM, Partridge GG Eds. CABI Publishing. UK. Pp 129-143.
- Thacker PA, Campbell GL, y Groowassink J (1992). The effect of organic acids and enzyme supplementation in the performance of pigs barley based diets. *Can. J. Anim. Sci.* 72: 395-402.
- Torres CT (1990). Estudio comparativo de las características anatómicas, morfológicas y algunos aspectos bioquímicos y nutricionales de variedades de granos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), utilizado para alimentación de ganado bovino en engorda en el noreste del país. Universidad Autónoma de Nuevo León. Manterrey, NL. Noviembre 1990.
- Traylor SL, Cromwell GL, Lindemann MD, Knabe DA (2001). Effects of level of supplementation phytase on ileal digestibility of amino acids, calcium and phosphorus in dehulled soybean for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 2634-3642.
- Traylor SL, Cromwell GL, Lindemann, and Knabe D A (2001). Effects of level of supplemental phytase on ileal digestibility of amino acids, calcium, and phosphorus in dehulled soybean meal for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 2634-2642.
- Urriola PE y Stain H (2010). Effects of distillers dried grains with solubles on amino acid, energy and fiber digestibility and hindgut fermentation of dietary fiber in a corn-soybean meal diet fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 88: 1454-1462.
- Van Eys JE (2013). Manual of quality analysis for beans products in feed industry. 2nd edition. U.S. Export Council.
- Waniska RD (2000) Structure, phenolic compounds, and antifungal proteins of sorghum caryopses. En *Technical and institutional options for sorghum*

- grain mold management: proceedings of an international consultation, Chandrashekar A, Bandyopadhyat R and Hall Aj Eds. International crops research institute for the semi-arid tropics. India. Pp. 76-106.
- Wilkie KCB (1979). The hemicellulose of grasses and cereals. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*. 36: 215-264.
- Woyengo TA, IGE DV, Oluwole O, Akinremi O, y Nyachoti M (2016). Performance and nutrient digestibility in growing pigs fed wheat dried distillers grain with solubles-containing diets supplemented with phytase and multi carbohydrase. *Anim. Sci. J.* 87: 570-577.
- Woyengo TA, Sands JS, Guenter W, Nyachoti MC, (2008). Nutrient digestibility and performance response of growing pigs fed phytase and xylanase supplemented wheat based diets *J. Anim. Sci.* 86: 848-857.
- Wyss M, Pasamontes L, Friedlein A, Rémy R, Tessier M, Kronenberg A, Middendorf A, Lehmann M, Schnobelen L, Röthlisberg U, Kuszniir E, Wahl G, Müller F, Vogel K and Van Loon AP (1990). Biophysical characterization of fungal phytase (myo-inositol Hexakisphosphate phosphohydrolases): molecular size, glycosylation pattern, and engineering of proteolytic resistance. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 359-366.
- Yáñez JL, Beltranena E, Cervantes M and Zijlstra T (2009). Effect of phytase and Xykanase supplementation or particle zise on nutrient digestibility of diets containing distillers dried grains with solubles co-fermented from wheat and corn in ileal-cannulated grower pings. *J. Anim. Sci.*89: 113-123.
- Yáñez JL, Landero JL, Owusu-Asiedu A, Cervantes M, y Zijlstra T (2013). Growth performance, diet nutrien digestibility, and bone mineralization in weaned pigs pelleted diets containing termostable phytase. *J. Anim. Sci.* 91: 745-754.
- Yin QQ; Zheng QH, Kang TX (2007). Biochemical characteristics of phytase from fungi and the transformed microorganism. *Anim. Feed Sci. Technol.* 132: 341-350.

- Zeng ZK, Wang D, Piao XS, Li PF, Zhang HY, Shi CX y Yu SK (2014). Effects of adding super doses phytase to the phosphorus-deficient diets of young pigs on growth performance, bone quality, minerals and amino acids digestibilities. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 27: 237-246.
- Zijlstra RT, Li S, Owusu-Asiedu A, Simmins PH, Patience JF (2004). Effect of Carbohydrase supplementation of wheat and canola meal based diets on growth performance and nutrient digestibility in group-housed weaned pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 84: 689-695.