



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD-GANADERÍA

**ESTRATEGIAS NUTRICIONALES PARA MEJORAR LA RESPUESTA
PRODUCTIVA DE CERDOS EN ENGORDA**

JOSÉ ALFREDO MARTÍNEZ AISPURO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS


MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO.

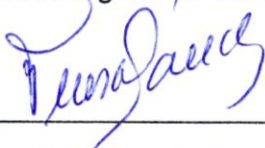
2013


La presente tesis titulada: **Estrategias nutricionales para mejorar la respuesta productiva de cerdos en engorda** realizada por el alumno: **José Alfredo Martínez Aispuro**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

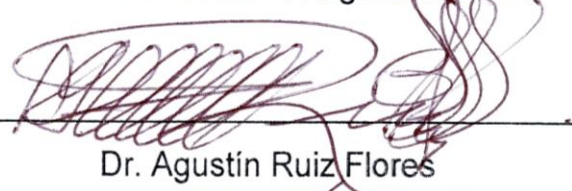
**DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

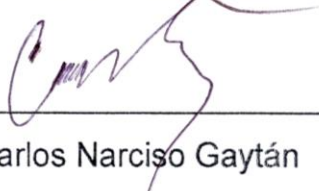
CONSEJO PARTICULAR:

Consejero 
Dr. José Luis Figueroa Velasco

Asesor 
Dra. Ma. Teresa Sánchez-Torres Esqueda

Asesor 
Dra. María Esther Ortega Cerrilla

Asesor 
Dr. Agustín Ruiz Flores

Asesor 
Dr. Carlos Narciso Gaytán

RESUMEN

ESTRATEGIAS NUTRICIONALES PARA MEJORAR LA RESPUESTA PRODUCTIVA DE CERDOS EN ENGORDA

José Alfredo Martínez Aispuro, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2013

El presente trabajo tuvo como objetivo reducir y/u optimizar la concentración de algunos nutrimentos en las dietas de cerdos de engorda que puede resultar benéfica en la formulación de raciones. Se realizaron 3 experimentos para evaluar el nivel de lisina, el uso de alcaloides y xilanasas en dietas para cerdos de engorda. En el experimento 1 se determinaron los niveles óptimos biológicos (NOB) de lisina total para cerdos en las etapas de crecimiento y finalización en el comportamiento productivo, las características de la canal, y la concentración de urea en plasma. El NOB para ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia, y ganancia de carne magra fue 0.88% de lisina total; mientras que el NOB para consumo de alimento fue 0.961% de lisina total. En el experimento 2 se evaluó el comportamiento productivo de cerdas en engorda (crecimiento-finalización), alimentadas con dietas bajas en proteína adicionadas con una mezcla de alcaloides. La inclusión de alcaloides a la dieta de crecimiento con 14.5% de PC aumentó la GDP ($p \leq 0.07$) y el CAL ($p \leq 0.04$). En finalización la inclusión de alcaloides no mejoró la respuesta productiva ni las características de la canal de las cerdas. En el experimento 3 se evaluó el comportamiento productivo de cerdos en iniciación, para determinar si la suplementación con xilanasas compensa la reducción de energía y/o proteína en dietas a base de sorgo y pasta de soya. La inclusión de xilanasas a la dieta compensó la reducción de energía y proteína, pudiéndose reducir 105 kilocalorías kg^{-1} y 2% PC, respectivamente, sin afectar las variables productivas ni las características de la canal.

Palabras clave: lisina, alcaloides, dietas con baja proteína, xilanasas, energía, proteína.

ABSTRACT

NUTRITIONAL STRATEGIES TO IMPROVE GROWTH PERFORMANCE OF PIGS

José Alfredo Martínez Aispuro, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2013

This study was conducted to reduce and/or to optimize the concentration of some nutrients in the diets for fattening pigs which can be beneficial in formulating rations. Three experiments were conducted to assess the level of lysine, the use of alkaloids and the addition of xylanase in diets for fattening pigs. In experiment 1, the optimum biological levels total lysine (OBL) for pigs were determined for growing and finishing stages of growth for growth performance, carcass characteristics, and plasma urea nitrogen concentration. The OBL for average daily gain (ADG), feed conversion and lean gain was 0.88% total lysine, while the OBL for feed intake was 0.961% total lysine. In experiment 2, it was evaluated the growth performance of growing-finishing gilts fed low-protein diets supplemented with a mixture of alkaloids. The inclusion of alkaloids to the growing diet with 14.5% CP increased ADG ($p \leq 0.07$) and feed intake ($p \leq 0.04$). The addition of alkaloids in finishing diets did not improve growth performance and carcass characteristics of gilts. In experiment 3, the growth performance of nursery pigs was evaluated to determine if xylanase supplementation compensates the reduction of metabolizable energy and/or crude protein in diets based on sorghum-soybean meal. The inclusion of xylanase compensated the reduction of energy and protein in the diet, being able to reduce 105 kcal kg⁻¹ and 2% CP, respectively, without affecting growth performance nor carcass characteristics.

Keywords: lysine, alkaloids, low protein diets, xylanase, energy, protein.

Agradecimientos

Al Colegio de Postgraduados por la oportunidad de realizar mis estudios de doctorado.

Al Consejo Nacional de la Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado.

Al Dr. José Luis Figueroa Velasco por guiarme en esta difícil experiencia que me ha hecho crecer personal y profesionalmente.

A todos los integrantes del consejo particular, ya que sin su ayuda y apoyo nada de este trabajo hubiera sido posible.

Al MVZ José Luis Cordero, por el apoyo brindado en la fase experimental de esta tesis, ya que sin su ayuda ningún experimento se hubiera llevado a cabo.

Dedicatoria

Para mis padres, hermanos, esposa e hija.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. Objetivos.....	3
2. Hipótesis.....	3
3. Revisión de literatura.....	5
3.1 Requerimientos de lisina para cerdos en crecimiento y finalización.....	5
3.1.1 Descripción general de la lisina.....	5
3.1.2 Requerimientos de lisina para cerdos en engorda.....	6
3.1.3 Efecto del nivel de lisina en la respuesta productiva y características de la canal.....	7
3.1.3.1 Ganancia diaria de peso.....	7
3.1.3.2 Consumo de alimento.....	8
3.1.3.3 Conversión alimenticia.....	9
3.1.3.4 Ganancia de carne magra.....	9
3.1.3.5 Grasa dorsal.....	11
3.1.3.6 Área del músculo <i>longissimus</i>	11
3.1.3.7 Efecto del nivel de lisina en la concentración de urea en plasma.....	12
3.2 Uso de aditivos derivados de extractos vegetales en la alimentación de cerdos en engorda con dietas bajas en proteína.....	13

3.2.1 Dietas bajas en proteína para cerdos.....	14
3.2.1.1 Respuesta productiva de cerdos alimentados con dietas bajas en proteína.....	15
3.2.1.2 Características de la canal en cerdos consumiendo dietas bajas en proteína.....	16
3.2.1.3 Dietas bajas en proteína y excreción de nitrógeno en cerdos.....	17
3.2.2 Uso de aditivos derivados de extractos vegetales en la alimentación de cerdos en engorda.....	18
3.2.2.1 Uso de alcaloides en dietas bajas en proteína para cerdos en engorda.....	19
3.2.2.2 Definición y clasificación de alcaloides.....	20
3.2.2.3 Principales alcaloides utilizados como aditivos en cerdos.....	21
3.2.2.4 Uso de alcaloides en dietas bajas en proteína.....	22
3.3 Uso de enzimas en no rumiantes.....	23
3.3.1 Xilanasas.....	23
3.3.2 Obtención comercial de xilanasas.....	24
3.3.3 Adición de xilanasas en dietas para cerdos.....	24
3.3.4 Impacto de los polisacáridos no almidonosos en la alimentación de cerdos.....	25
3.3.5 Xilanasas y utilización de energía.....	26
3.3.6 Xilanasas y utilización de proteína y/o AA.....	27
3.3.7 Matriz para el uso de xilanasas.....	28
3.3.8 Xilanasas en dietas con base en maíz y sorgo.....	29

5. Bibliografía.....	30
CAPÍTULO I. NIVELES ÓPTIMOS BIOLÓGICOS DE LISINA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN.....	48
1.1. Resumen.....	49
1.2. Abstract.....	50
1.3. Introducción.....	50
1.4. Materiales y métodos.....	52
1.5. Resultados y discusión.....	55
1.6. Conclusiones.....	60
1.7. Bibliografía.....	60
CAPÍTULO II. DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA ADICIONADAS CON ALCALOIDES PARA CERDAS EN CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN.....	71
2.1. Resumen.....	72
2.2. Abstract.....	73
2.3. Introducción.....	73
2.4. Materiales y métodos.....	75
2.5. Resultados y discusión.....	78
2.6. Conclusiones.....	81
2.7. Bibliografía.....	82
CAPÍTULO III. EVALUACIÓN DE XILANASAS EN DIETAS TÍPICAS SORGO-PASTA DE SOYA EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CERDOS EN INICIACIÓN.....	93

3.1. Resumen.....	94
3.2. Abstract.....	95
3.3. Introducción.....	96
3.4. Materiales y métodos.....	97
3.5. Resultados y discusión.....	100
3.6. Conclusión.....	103
3.7. Bibliografía.....	103

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Niveles de lisina total para variables productivas de cerdos en etapa de crecimiento.....	10
2	Niveles de lisina total para variables productivas de cerdos en etapa de finalización.....	10
3	Niveles de lisina total para características de la canal y concentración de urea en plasma (CUP) de cerdos en crecimiento...	13
4	Niveles de lisina total para características de la canal y concentración de urea en plasma (CUP) de cerdos en finalización....	13
1.1.	Composición de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento.....	65
1.2.	Composición de las dietas experimentales para cerdos en finalización.....	66
1.3	Comportamiento productivo de cerdos en crecimiento, alimentados con cuatro niveles de lisina.....	67
1.4	Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento, alimentados con cuatro niveles de lisina.....	68
1.5	Comportamiento productivo de cerdos en finalización, alimentados con cuatro niveles de lisina.....	69
1.6	Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en finalización, alimentados con cuatro niveles de lisina.....	70
2.1.	Composición de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento.....	87
2.2.	Composición de las dietas experimentales para cerdos en finalización.....	88

2.3	Comportamiento productivo de cerdas en crecimiento, alimentadas con dos niveles de proteína y dos niveles de alcaloides en dietas con baja proteína.....	89
2.4	Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdas en crecimiento, alimentadas con dos niveles de proteína y dos niveles de alcaloides en dietas con baja proteína.....	90
2.5	Comportamiento productivo de cerdas en finalización, alimentadas con dos niveles de proteína y dos niveles de alcaloides en dietas con baja proteína.....	91
2.6	Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdas en finalización, alimentadas con dos niveles de proteína y dos niveles de alcaloides en dietas con baja proteína.....	92
3.1.	Composición de las dietas (experimento 1).....	110
3.2.	Composición de las dietas (experimento 2).....	111
3.3	Comportamiento productivo de cerdos en iniciación, alimentados con dietas bajas en EM complementadas con xilanasas.....	112
3.4	Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en iniciación, alimentados con dietas bajas en EM complementadas con xilanasas.....	113
3.5	Comportamiento productivo de cerdos en iniciación, alimentados con dietas bajas en EM y PC complementadas con xilanasas.....	114
3.6	Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en iniciación, alimentados con dietas bajas en EM y PC complementadas con xilanasas.....	115

INTRODUCCIÓN GENERAL

Las demandas actuales de la industria porcina para mejorar la productividad de los animales, en el contexto del mejoramiento genético obtenido en años recientes y condiciones ambientales, han conducido a poner mayor atención en determinar de la mejor manera los requerimientos nutricionales (Cooper *et al.*, 2001), buscando alternativas en el manejo que eviten el desperdicio de nutrimentos y mejoren la productividad. Los cambios en la respuesta productiva requieren que la densidad de nutrimentos que se suministra en la dieta de los cerdos se re-evalúe constantemente en las diferentes etapas de crecimiento (Herr *et al.*, 2000).

Uno de los principales problemas en el sector porcícola es la alta emisión de amoníaco, a consecuencia del uso ineficiente de la proteína de la dieta. El uso de dietas bajas en proteína para cerdos en engorda disminuye la excreción de nitrógeno; además de representar un beneficio para el productor, ya que se podría disminuir el costo de producción y obtener el mismo rendimiento productivo. A pesar de que existe mucha investigación acerca de los niveles de proteína y aminoácidos (esencialmente lisina) que deben incluirse en cada etapa de la engorda de los cerdos, hay mucha variación en los reportes de los niveles que se deben utilizar; además, en la mayoría de las ocasiones no existen trabajos que permitan integrar el conocimiento y que ayuden a tomar las mejores decisiones al formular las dietas. El balance inadecuado de aminoácidos (AA) en la proteína suministrada al animal en la dieta propicia en la mayoría de las veces un exceso de excreción de nitrógeno al ambiente, por lo cual es importante determinar el nivel adecuado de proteína y AA que se debe utilizar en la dieta. Existen muchos trabajos en los que se han evaluado distintos niveles de proteína

y lisina; sin embargo, no se ha considerado que el nivel apropiado depende de la variable productiva que se quiera mejorar (López *et al.*, 2010).

Se han desarrollado aditivos alimenticios capaces de mejorar o compensar el comportamiento productivo y la calidad de la canal cuando la estrategia de alimentación que se aplica no es la adecuada para optimizar las variables productivas. La investigación en el uso de extractos vegetales (alcaloides) ha crecido por la necesidad de sustituir a los antibióticos como promotores de crecimiento y bactericidas. Las propiedades de estos compuestos pudieran ayudar a que el animal mejore la capacidad de aprovechar más eficientemente una reducida cantidad de proteína en la dieta que recibe.

De igual modo, el uso de enzimas (xilanasas) en la industria permite reducir la cantidad de energía y proteína en la dieta, especialmente en países donde la base para la formulación es el trigo y la cebada. Sin embargo, resulta importante evaluar estas enzimas en dietas con base en sorgo debido a que es un ingrediente ampliamente utilizado en la alimentación de los cerdos en México, para establecer si se tiene alguna ventaja al adicionarlas a dietas elaboradas con sorgo.

1. OBJETIVOS

- Determinar el nivel óptimo biológico de lisina total para variables productivas, características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento y finalización alimentados con dietas con base en sorgo-pasta de soya, manteniendo constantes las relaciones de treonina, triptófano y metionina con respecto a lisina total.
- Evaluar el comportamiento productivo, las características de la canal y la concentración de urea en plasma de cerdas en crecimiento y finalización alimentadas con dietas bajas en proteína adicionadas con AA sintéticos y alcaloides vegetales.
- Evaluar las variables productivas, características de la canal y concentración de urea en plasma mediante la adición de xilanasas a dietas para cerdos en iniciación, reduciendo el nivel de energía y proteína en dietas con base en sorgo y pasta de soya.

2. HIPÓTESIS

- El nivel de lisina recomendado por el NRC (1998) para cerdos en engorda no es el apropiado para optimizar el comportamiento productivo y las características de la canal de cerdos en crecimiento y finalización alimentados con dietas con base en sorgo-pasta de soya.
- El comportamiento productivo y las características de la canal de cerdos en crecimiento y finalización alimentados con dietas bajas en proteína adicionadas con alcaloides vegetales es similar al obtenido con dietas estándar.

- La adición de xilanasas aumenta la digestibilidad de energía y proteína pudiendo compensar la reducción de estos dos nutrimentos en dietas a base de sorgo y pasta de soya en cerdos en iniciación.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Requerimientos de lisina para cerdos en crecimiento y finalización

En la alimentación de cerdos, la lisina es el primer aminoácido limitante en la formulación de dietas con base en sorgo o maíz y pasta de soya (Fontes *et al.*, 2000; Pink *et al.*, 2003). A pesar de que existe mucha investigación acerca de los niveles de lisina que deben incluirse en cada etapa de desarrollo de los cerdos, hay mucha variación con respecto al nivel recomendado, debido al rápido progreso genético que ha experimentado la especie en los últimos años, propiciando un aumento de los requerimientos de lisina del cerdo (Fontes *et al.*, 2000). Por tanto, es importante determinar el nivel óptimo biológico de este aminoácido para obtener la mejor respuesta en cada una de las variables de interés.

3.1.1 Descripción general de la lisina

Lisina o ácido 2, 6 diaminohexanoico lis (k), pertenece al grupo de aminoácidos (AA) con grupo R cargado positivamente a un pH de 7, con 6 átomos de carbono. La lisina es un AA esencial, el cual no puede ser sintetizado por el organismo a una tasa suficiente para mantener las necesidades del cuerpo y debe ser entonces suministrado en la dieta. Este AA es importante para el crecimiento y desarrollo de los huesos, promover la absorción del calcio, mantener el balance del nitrógeno y ayudar a la construcción del tejido muscular. También es un componente estructural importante de la mayoría de las proteínas y un componente importante en el balance de AA; además, como componente de los nucleótidos en el núcleo de la célula, la lisina estimula la división celular (Church *et al.*, 2002). Además, está directamente involucrado en la producción de L-carnitina, la cual es requerida para el transporte y utilización de grasas

(Quest Vitamins, 2000). Este aminoácido también apoya la producción de anticuerpos, hormonas y enzimas (Health Catalog, 2000).

3.1.2 Requerimientos de lisina para cerdos en engorda

Las necesidades de AA para la producción en cerdos está influenciada por factores como su capacidad genética para la síntesis de proteína corporal, el sexo y la edad del animal (NRC, 1998). La lisina es el primer factor limitante en las dietas de los cerdos para la síntesis de proteína; sin embargo, se debe buscar el porcentaje adecuado de todos los aminoácidos para evitar desajustes que puedan afectar la síntesis de proteína (Susenbeth *et al.*, 1999).

Las líneas de cerdos de alto mérito genético requieren de cantidades importantes de lisina dietética para maximizar la tasa de crecimiento y la deposición de músculo en la canal. La mejora genética ha conseguido avances muy importantes en décadas recientes, especialmente en el índice de conversión y en el porcentaje de carne magra de las canales, ya que éste ha sido uno de los principales objetivos del mejoramiento genético (Medel y Fuentetaja, 2000).

Las tablas de requerimientos de NRC (1998) para cerdos ha sido uno de los pilares en la formulación de las dietas; sin embargo, los valores ahí establecidos podrían ser inadecuados para las líneas de cerdos con alta capacidad de crecimiento con que se cuenta actualmente, debido a que en estudios recientes, el nivel de lisina determinado es diferente al recomendado en las tablas del NRC (Cuadros 1 y 2). Probablemente los datos varían debido a las distintas condiciones en que han realizado las evaluaciones (sexo, edad, genotipo, ambiente, proporción de lisina con los demás nutrimentos, etc.; NRC, 1998; Paraksa *et al.*, 1999; Fontes *et al.*, 2000).

Los resultados no han sido consistentes debido a que Martínez *et al.* (2007) y López *et al.* (2010) sugieren que el mejor nivel de lisina para cerdos depende de la variable en estudio. Los requerimientos de lisina para los cerdos durante la engorda dependerán del criterio de respuesta utilizado para su determinación (ganancia de peso, conversión alimenticia, características de la canal y retención de proteína en el músculo) que se requiera optimizar, por lo cual es importante establecer el nivel de lisina en la dieta de acuerdo a la variable de interés (Cuadros 1 al 4). En la presente revisión bibliográfica se analizan algunas de las investigaciones más recientes para determinar si los valores recomendados por el NRC (1998) siguen siendo adecuados o se encuentran desfasados, de acuerdo a las condiciones de producción actuales.

3.1.3 Efecto del nivel de lisina en la respuesta productiva y las características de la canal

3.1.3.1 Ganancia diaria de peso

La ganancia diaria de peso (GDP) es uno de los principales indicadores productivos en las explotaciones porcinas comerciales; por ello, es necesario buscar el nivel de lisina que maximice esta variable. La GDP es afectada por el nivel de lisina en la dieta. Los niveles de lisina recomendados por el NRC (1998) se basan principalmente en maximizar la GDP.

Se observa que los valores recomendados por el NRC (1998) están por abajo de la concentración de lisina total encontrada por diferentes autores (Cuadros 1 y 2) en años recientes. Para la etapa de crecimiento, la mayor parte de trabajos convergen en un valor superior al 1.00% de lisina total. Para cerdas en finalización con peso de 50 a 80 kg, en algunas investigaciones realizadas entre 1999 y 2002 el valor de lisina se

incrementó hasta valores entre 0.80 y 0.85% de lisina total. Después de 10 años se observa que el valor recomendado por *Brazilian Tables for Poultry and Swine* (Rostango *et al.*, 2011) aumentó hasta 1.235%.

Con respecto a cerdos en finalización (50 a 80 kg), Baker *et al.* (1999, 2002) no observaron diferencias con respecto al NRC (1998). Sin embargo, se encontró una tendencia en las demás investigaciones a incrementar la concentración de lisina a través de los años, llegándose a recomendar niveles entre 0.80 y 1.00% de lisina total.

Durante la etapa de finalización II (80 a 110 kg), el valor del NRC (1998) se encuentra rebasado, ya que desde ese mismo año existen divergencias en cuanto al nivel de este AA. La concentración determinada osciló entre 0.80 y 0.97%, siendo superior al 0.60% recomendado por el NRC (1998); por lo que se puede inferir que dicho valor es obsoleto.

3.1.3.2 Consumo de alimento

Susenbeth *et al.* (1999) señalan que a mayor concentración de lisina en la dieta se limita el consumo de alimento (CAL), debido a que existe un límite en la retención de lisina y la capacidad de retención en el animal; sin embargo, en el Cuadro 1 se observa que en cerdos en crecimiento alimentados con una mayor cantidad de lisina en la dieta, en comparación con el nivel recomendado por el NRC (1998), aumenta el consumo, obteniéndose una mayor GDP, aunque no necesariamente una mejor conversión alimenticia. En cuanto a la etapa de finalización, a pesar de que se observan ciertas tendencias a incrementar el consumo cuando las dietas contienen niveles deficientes o excesivos de proteína y/o lisina, no se cuenta con evidencias sólidas para obtener conclusiones (Cline *et al.*, 2000).

3.1.3.3 Conversión alimenticia

A partir del trabajo realizado por Oliveira *et al.* (2006) se observó un aumento en el nivel óptimo de lisina total para mejorar la conversión alimenticia (CA; Cuadro 1) de cerdos en crecimiento. Dicho valor es mayor al 1% de lisina total (NRC, 1998), llegándose a recomendar hasta 1.225% (Abreu *et al.*, 2007).

Para la etapa de finalización no existe una clara tendencia a mayor concentración de lisina a través de los años; sin embargo, todos los trabajos coinciden en que, si se busca optimizar la CA, se deben utilizar valores superiores al 0.75%.

3.1.3.4 Ganancia de carne magra (GCM)

La deposición de proteína corporal está estrechamente relacionada con síntesis de músculo o tejido magro, siendo el principal factor que determina los requerimientos diarios de AA esenciales (de Lange y Coudenys, 1996).

El NRC (1998) usa un modelo biológico para estimar los requerimientos de lisina basado principalmente en la síntesis de tejido magro. Según Loughmiller *et al.* (1998) las altas tasas de síntesis de tejido magro aumentan los requerimientos de lisina. Es por ello que se debe proporcionar un nivel óptimo de lisina en la dieta para maximizar la síntesis de tejido magro en cerdos en crecimiento y en finalización (Wei y Zimmerman, 1998). Para optimizar la GCM se requieren valores superiores a 1% de lisina total en crecimiento (Cuadro 1). Mientras que para cerdos en finalización los valores oscilan entre 0.79 y 1.00% de lisina total (Cuadro 2). Valores en ambos casos superiores al recomendado por el NRC (1998).

Cuadro 1. Niveles de lisina total encontrados para variables productivas de cerdos en etapa de crecimiento.

Autor	Rango de peso (kg)	Sexo	Nivel óptimo de lisina (%)			
			GDP	CAL	CA	GCM
NRC (1998)	20-50	H, M	0.95			
Paraksa <i>et al.</i> (1999)	20-40	M	1.25			1.25
Medina (2002)	20-50	M				1.18
Merino <i>et al.</i> (2005)	14-35	M	1.28	1.28		
Merino <i>et al.</i> (2005)	35-50	M	<1.01	<1.01		
Oliveira <i>et al.</i> (2006)	15-30	M	1.10		1.10	1.10
Abreu <i>et al.</i> (2007)	30-60	M			1.225	1.225
Kiefer <i>et al.</i> (2010)	27	M	1.20		1.20	
		entero				
Lopez <i>et al.</i> (2010)	20-45	H, M	0.85	0.85	1.04	0.85-1.04
Brazilian Tables for poultry and swine (Rostango <i>et al.</i> , 2011)	30-50	M	1.053			
Haese <i>et al.</i> (2011)	25-60	M				1.01
Gattás <i>et al.</i> (2012)	25-60	M	1.07		1.02	

GDP= Ganancia diaria de peso, CAL= Consumo de alimento, CA= Conversión alimenticia, GCM= Ganancia de carne magra.

Cuadro 2. Niveles de lisina total para variables productivas de cerdos en etapa de finalización.

Autor	Rango de peso (kg)	Sexo	Nivel óptimo de lisina (%)			
			GDP	CAL	CA	GCM
NRC (1998)	50-80	H, M	0.75			
NRC (1998)	80-120	H, M	0.60			
Loughmiller <i>et al.</i> (1998)	91-113	H	0.70		0.70	
Baker <i>et al.</i> (1999)	54-77	M	0.72			
Baker <i>et al.</i> (1999)	54-77	H	0.82			
Paraksa <i>et al.</i> (1999)	40-65	M	1.00			1.00
Paraksa <i>et al.</i> (1999)	65-90	M	0.95			0.95
Cline <i>et al.</i> (2000)	54-116	H	0.80-0.95		0.95	
Oliveira <i>et al.</i> (2000)	60-95	M			0.95-1.05	
Boren y Carlson (2001)	50-80	H, M	0.85			
Baker <i>et al.</i> (2002)	54-77	H	0.84			
Baker <i>et al.</i> (2002)	54-77	M	0.75			
Oliveira <i>et al.</i> (2003b)	95-110	M			0.76	0.79
Oliveira <i>et al.</i> (2003a)	110-125	M	0.80			
Abreu <i>et al.</i> (2007)	60-95	M	0.978		1.045	
Martinez <i>et al.</i> (2007)	47-90	H, M			0.76-0.85	0.89

Brazilian Tables for poultry and swine (Rostango <i>et al.</i> , 2011)	50-70	M	0.935
		H	1.235
Brazilian Tables for poultry and swine (Rostango <i>et al.</i> , 2011)	70-100	M	0.867
		H	1.136

GDP= Ganancia diaria de peso, CAL= Consumo de alimento, CA= Conversión alimenticia, GCM= Ganancia de carne magra.

3.1.3.5 Grasa dorsal

En la actualidad, con el mejoramiento genético en los cerdos para mayor deposición de tejido magro, se han reducido los niveles de grasa en la canal, pues la energía se usa preferentemente para sintetizar proteína (Cline *et al.*, 2000). Loughmiller *et al.* (1998) reportaron una reducción en la grasa dorsal (GD) al incrementar el nivel de lisina dietética. Esto coincide con lo encontrado en la presente revisión, ya que el valor de lisina total parece converger en 1.15% para cerdos en finalización, valor superior al que se sugiere utilizar para maximizar las variables productivas. Es claro que si se quieren cerdos más magros, el valor de lisina recomendado por el NRC (1998) no es el adecuado.

3.1.3.6 Área del músculo *longissimus* (AML)

Esta variable se usa para evaluar la calidad de la canal, pues está directamente relacionada con la cantidad de grasa y de carne magra; así, entre mayor sea el AML se tiene una menor deposición de grasa por el uso más eficiente de la energía y por consiguiente mayor deposición de tejido magro (NPPC, 1991).

Aunque no existen muchos estudios que hayan logrado establecer el mejor nivel para maximizar el AML, algunos de ellos (Cuadros 1 y 2) sugieren que al incrementar el

nivel de lisina en la dieta con respecto al valor recomendado por el NRC (1998), aumenta la síntesis de proteína y disminuye la de grasa. Sin embargo, los valores que se deben utilizar para optimizar el AML no coinciden.

3.1.3.7 Efecto del nivel de lisina en la concentración de urea en plasma

Algunos compuestos derivados del metabolismo del nitrógeno sirven para medir rápidamente la respuesta a cambios de concentración de los AA en la dieta; esta respuesta permite tener un criterio rápido y preciso para estimar los requerimientos de lisina dietética para cerdos en etapas específicas de crecimiento (Coma *et al.*, 1995). Uno de estos metabolitos es la concentración de urea en plasma (CUP), que varía con el aumento o la disminución en el contenido de proteína en la dieta y con el balance de AA de la proteína. Bajos niveles de urea en plasma indicarían el uso adecuado de AA en general, que permite su máxima utilización, y por el contrario, un uso ineficiente se podría inferir por altas concentraciones de urea; sin embargo, esto también podría resultar de un desbalance entre AA en la dieta (Friesen *et al.*, 1994).

El nivel adecuado de lisina en la dieta puede inferirse midiendo la concentración de urea en plasma (CUP), ya que en esta forma se transportan los excesos de nitrógeno al riñón para su excreción (Wei y Zimmerman, 1998). Friesen *et al.* (1994) coinciden con el valor de 0.95% de lisina total del NRC (1998) para cerdos en etapa de crecimiento. Sin embargo, en términos generales, el nivel que se ha logrado establecer es mayor que 1.00% (Cuadro 3).

Para cerdos en finalización, Coma *et al.* (1995) y Martínez *et al.* (2007) determinaron 0.72%, menor a 0.75% recomendado por el NRC (1998), debido probablemente a que no se respetó la relación con otros AA, por lo cual un incremento

en la concentración de lisina ocasiona un aumento en la CUP. Sin embargo, otros autores (Cuadro 4) concuerdan en que el nivel de lisina que se debe utilizar para reducir la CUP está entre 0.83 y 1.00% de lisina total.

Cuadro 3. Niveles de lisina total para características de la canal y concentración de urea en plasma (CUP) de cerdos en crecimiento.

Autor	Rango de peso (kg)	Sexo	Nivel óptimo de lisina (%)	
			AML	CUP
Friesen <i>et al.</i> (1994)				0.95
Paraksa <i>et al.</i> (1999)	20-40			1.14
Medina (2002)	20-50	M		1.18
Lopez <i>et al.</i> (2010)	20-45	H, M	1.13	0.85- 1.04

GD= Grasa dorsal inicial, AML = Área del músculo *longissimus*, CUP= concentración de urea en plasma

Cuadro 4. Niveles de lisina total para características de la canal y concentración de urea en plasma (CUP) de cerdos en finalización.

Autor	Rango de peso (kg)	Sexo	Nivel óptimo de lisina (%)		
			GD	AML	CUP
Loughmiller <i>et al.</i> (1998)	91-113	H	0.60		
Paraksa <i>et al.</i> (1999)	40-65	M			0.93
Paraksa <i>et al.</i> (1999)	65-90	M			0.83
Oliveira <i>et al.</i> (2000)	60-95	M	1.15		1.00
Cline <i>et al.</i> (2000)	54-116	H	Entre 1.10 y 1.25	0.90	
Perez <i>et al.</i> (2006)	93		1.15	0.95	
Abreu <i>et al.</i> (2007)	60-95	M			0.94
Martinez <i>et al.</i> (2007)	47	H, M			0.72

GD= Grasa dorsal inicial, AML = Área del músculo *longissimus*, CUP= concentración de urea en plasma

3.2 Uso de aditivos derivados de extractos vegetales en la alimentación de cerdos en engorda con dietas bajas en proteína

La demanda creciente de alimentos, consecuencia del incremento poblacional, ha provocado que los productores pecuarios mejoren sus procesos de producción integrando nuevos productos y servicios a sus explotaciones buscando aumentar la

productividad y reducir los costos de producción haciéndolos más competitivos. Ante esta situación, en el sector pecuario se han buscado alternativas para que los animales sean más eficientes en la utilización del alimento; una de ellas es el uso de aditivos en la nutrición animal (McDonald *et al.*, 2002). Además el creciente número de animales y su alta contribución de nitrógeno al ambiente, hace necesario la búsqueda de alternativas que puedan reducir este foco de contaminación. Dentro de las posibles soluciones se encuentra el uso de dietas bajas en proteína en la alimentación de cerdos, sin embargo, el uso de estas dietas muchas veces afecta el rendimiento productivo, dejando de ser atractivas para los productores; por tal motivo surge la necesidad de buscar alternativas que puedan compensar el uso de dietas bajas en proteína. Una de las posibles soluciones, podría ser el uso de extractos vegetales.

3.2.1 Dietas bajas en proteína para cerdos

La manipulación de la dieta ha mostrado ser un método eficiente para reducir la excreción de nitrógeno de cerdos en crecimiento y finalización; en esas manipulaciones se incluye la formulación de dietas sobre la base de proteína ideal y la reducción en el contenido de proteína en las dietas (Kornegay y Verstegen, 2001).

Una dieta baja en proteína (DBP) es la que proporciona todos los AA, al igual que las dietas estándar, pero sin excesos. Para disminuir la concentración de proteína de una dieta se utilizan AA sintéticos para igualar la concentración de los principales AA limitantes en los ingredientes (Mavromichalis, 2009). La reducción en el contenido de proteína asociada con una adecuada adición de AA sintéticos, especialmente L-lisina, muy común en dietas para cerdos, tiene dos

principales beneficios: primero, se mejora el balance de los AA de la dieta y como consecuencia se reduce la excreción de nitrógeno sin afectar su retención y la ganancia de peso corporal (Kerr *et al.*, 1995a); y segundo, se reduce la pérdida de energía por la excreción de nitrógeno en la orina y la pérdida de energía por calor (Le Bellego *et al.*, 2001).

3.2.1.1 Respuesta productiva de cerdos alimentados con dietas bajas en proteína

El contenido de PC en dietas con base en sorgo-pasta de soya adicionadas con AA sintéticos (lisina, treonina, metionina y triptófano) se ha reducido hasta en 4 unidades porcentuales, aunque la respuesta productiva se ve afectada en cerdos en crecimiento y finalización (Figuroa-Velasco *et al.*, 2004; Saldaña *et al.*, 2009). La disminución en 4% de proteína para cerdos en crecimiento, disminuye la ganancia diaria de peso (GDP) por la menor proteína aportada y el consumo de alimento (CAL) se incrementa; mientras que la conversión alimenticia (CA) aumenta a medida que se reduce el nivel de proteína (Tuitoek *et al.*, 1997; Martínez-Aispuro *et al.*, 2009).

En cerdos en finalización alimentados con DBP (12%) adicionadas con AA, tienen una velocidad de crecimiento, ganancia de carne magra y consumo de alimento similares a los obtenidos con cerdos alimentados con 16% de PC, concentración convencional para esta etapa (Kerr *et al.*, 2003). La ganancia de peso y CA se mantienen en cerdos de 60 kg de peso, alimentados con dietas con 10.4%, comparados con los que recibieron 15.4% PC (Liu *et al.*, 1994).

En la etapa de finalización, el CAL y la CA aumentan, mientras que la GDP y el área del músculo *longissimus* (AML) se reducen conforme disminuye la proteína de la dieta (de 14 hasta 9.5%; Figuroa *et al.*, 2008). La baja respuesta en el crecimiento

utilizando DBP+AA, puede atribuirse a la rápida absorción de AA sintéticos en relación con los AA derivados de proteína intacta, lo cual resulta en mayor oxidación de los AA libres (Batterham *et al.*, 1990). Sin embargo, se ha observado que la lisina y otros AA pueden usarse más eficientemente cuando la concentración en la dieta es deficiente (Chiba *et al.*, 1991), como sucede en las DBP donde la digestibilidad de los AA es mayor (Otto *et al.*, 2003).

3.2.1.2 Características de la canal en cerdos consumiendo dietas bajas en proteína

Los cerdos alimentados con DBP tienen menor proteína corporal y tasa de acumulación de proteína que los que consumen dietas estándar, lo cual puede deberse a la deficiencia de AA esenciales (Gómez *et al.*, 2002). La disminución en la ganancia de tejido magro (Figuroa *et al.*, 2002) y aumento en el grosor de la grasa dorsal (GD) de los cerdos alimentados con DBP (Kerr *et al.*, 1995b; Tuitoek *et al.*, 1997), se atribuye a la mayor disponibilidad de energía para la síntesis de lípidos y acumulación de tejido adiposo, resultado de la reducción en el gasto de energía para eliminar el exceso de proteína en la dieta (Knowles *et al.*, 1998; Gómez *et al.*, 2002). Los cerdos alimentados con dietas con una reducción de 4.5% en la proteína dietética, presentan tendencia a un mayor grosor de GD por el incremento en la energía neta disponible (Kendall *et al.*, 1998); consecuentemente, la retención de lípidos tiende a ser mayor (Atakora *et al.*, 2003). En el caso del área del músculo *longissimus* (AML), ésta disminuye linealmente al reducir la proteína cruda hasta en 4% (Figuroa *et al.*, 2002; Kerr *et al.*, 2003).

En lechones, la reducción de 5.5% en la concentración de la proteína de la dieta, asociada con una adecuada adición de AA, no afecta la acumulación

corporal de grasa y proteína (Le Bellego y Noblet, 2002). En cerdos en crecimiento-finalización se ha observado que al reducir en 4% la proteína en dietas basadas en sorgo-pasta de soya adicionadas con AA esenciales no afecta el porcentaje de carne magra y la ganancia de carne magra (Myer y Gorbet, 2002); además, en las dietas maíz-pasta de soya con una reducción similar se mantiene la ganancia de tejido magro y no aumenta la GD (Kerr *et al.*, 2003; Shriver *et al.*, 2003). Los cerdos en crecimiento y finalización alimentados con DBP y baja concentración de energía no aumentan el grosor de la GD e incluso incrementan el AML, pero la respuesta productiva no es la óptima (Figuroa-Velasco *et al.*, 2004). Además, Saldaña *et al.* (2009), al reducir la proteína en 4%, no encontraron efecto en las características de la canal de cerdos alimentados con dietas sorgo-pasta soya adicionadas con AA. Por otra parte, Reyes *et al.* (2012) reportan que en cerdos en finalización, las características de la canal no fueron afectadas por el nivel de PC en la dieta reduciendo hasta 4% la concentración de PC.

3.2.1.3 Dietas bajas en proteína y excreción de nitrógeno en cerdos

La concentración de urea en plasma (CUP) permite tener un criterio rápido y preciso para estimar los requerimientos de proteína para cerdos en etapas específicas de crecimiento, lo que significa que el metabolismo del nitrógeno tiene una rápida respuesta a los cambios en la dieta (Coma *et al.*, 1995; Figuroa *et al.*, 2008). Se supone que al disminuir la concentración de urea en plasma, la utilización del nitrógeno es máxima y por ello, su contenido en la dieta es óptimo.

Al reducir el contenido de proteína en la dieta adicionando AA sintéticos se reduce la excreción de nitrógeno manteniendo el comportamiento productivo (Le

Bellego *et al.*, 2001; Figueroa *et al.*, 2002; Shriver *et al.*, 2003); además, es una alternativa de bajo costo para controlar olores y la emisión de amoníaco en la producción porcina intensiva (Hayes *et al.*, 2004). Los cerdos alimentados con DBP durante la engorda reducen la emisión de amoníaco (Panetta *et al.*, 2006), proporcionalmente a la reducción en el contenido de proteína (Figueroa *et al.*, 2002; Powers *et al.*, 2007). Esto se debe a la menor excreción de nitrógeno fecal y urinario (Akemi *et al.*, 2002; Gómez *et al.*, 2002), que en la etapa de crecimiento puede reducirse hasta en 84.72 y 46.65% para cada caso, mientras que en finalización se reduce 59.8 y 29.9%, cuando se disminuye en 4% la proteína en la dieta (Tartrakoon *et al.*, 2004).

3.2.2 Uso de aditivos derivados de extractos vegetales en la alimentación de cerdos en engorda

En la porcicultura, los antibióticos son usados como promotores del crecimiento al reducir las poblaciones bacterianas intestinales patógenas y mejorar la disponibilidad de nutrientes para el animal. Sin embargo, ante el uso indiscriminado de estos compuestos, especialmente en producción porcina y avícola, se planteó el probable riesgo de transferencia de resistencia a los antibióticos entre las bacterias, en especial aquellas que producen padecimientos en el hombre (Shiva, 2007).

La prohibición del uso de antibióticos en la alimentación animal estimuló la búsqueda de alternativas. Entre las diferentes alternativas que se tienen para reemplazarlos están los probióticos, prebióticos, estimuladores de la inmunidad, acidificantes y extractos vegetales (Corro, 2002). Los mecanismos de acción de estas sustancias y de otras extraídas de diferentes plantas, no se conocen totalmente y varían

según la sustancia, pero algunos de los mecanismos propuestos son: disminución de la oxidación de los AA, acción antimicrobiana en contra de algunos microorganismos intestinales, favorecer la absorción intestinal, estimular la secreción de enzimas digestivas, aumentar la palatabilidad de los alimentos estimulando su ingestión, realizar modificaciones morfológicas del tracto gastrointestinal y mejorar el estado inmunológico del animal (Piva y Rossi, 1999).

Los extractos vegetales y sus compuestos se plantean como una alternativa para mejorar la eficiencia de utilización del alimento y reducir las pérdidas de nutrimentos, así como mejorar las variables productivas de cerdos en engorda sin afectar el producto final (Vanhemelrijck, 2002).

3.2.2.1 Uso de alcaloides en dietas bajas en proteína para cerdos en engorda

El porcentaje de PC en dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con AA sintéticos (lisina, treonina, metionina y triptófano) se ha reducido hasta en cuatro unidades porcentuales, aunque la respuesta productiva se reduce para cerdos en crecimiento y finalización (Figuroa-Velasco *et al.*, 2004).

El uso de los alcaloides representa una alternativa debido a sus funciones antibacteriales (Newton *et al.*, 2002), antiinflamatorias (Tanaka *et al.*, 1993) e inmunoregulatoras (Chaturvedi *et al.*, 1997).

Los alcaloides han sido incorporados a dietas para cerdos en engorda para reducir la degradación de AA, incrementar el consumo de alimento y como promotor de crecimiento (Tschirner *et al.*, 2003); para promover el consumo de alimento en cerdos por efecto de la modulación triptófano-serotonina (Mellor, 2001); para mejorar la

retención de proteína mediante la reducción de la descarboxilación de AA aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptófano; Drsata *et al.*, 1996).

3.2.2.2 Definición y clasificación de alcaloides

Se llaman alcaloides (de *álcali*, carbonatos de alcalinos, y *-oide*, parecido a, en forma de) a aquellos metabolitos secundarios de las plantas sintetizados, generalmente, a partir de AA, que tienen en común su hidrosolubilidad a pH ácido y su solubilidad en solventes orgánicos a pH alcalino. Los alcaloides son, en su definición fundamental, compuestos heterocíclicos con nitrógeno y, como su nombre lo indica, sustancias generalmente de carácter básico, aunque existen muchas excepciones. El término abarca sustancias pertenecientes a grupos no relacionados entre sí, de las que se conocen más de 20,000 diferentes, entre cuyos precursores se encuentran varios AA (Culvenor, 1973; Hagerman y Bluter, 1991). Según el estado químico del nitrógeno, se definen cuatro grupos: aminas secundarias, terciarias, y cuaternarias, y N-óxidos (Hagerman y Bluter, 1991). Estos compuestos están ampliamente distribuidos en el reino vegetal (25% de las plantas contienen alcaloides) y en algunas especies su concentración puede alcanzar 10% en las flores. Muchos alcaloides son la causa de intoxicaciones en humanos y animales. La forma más común es la intoxicación por ingestión o infusiones con hierbas con fines medicinales, siendo esta una causa importante de muerte, sobre todo en niños. Su presencia en vegetales hace posible su incorporación accidental en alimentos, creando una vía fácil de intoxicación (Robinson, 1981).

Los alcaloides son sustancias inodoras (Molyneux y Ralphs, 1992), lo que no resulta sorprendente si tenemos en cuenta que, en numerosas ocasiones, el olor

desagradable no se corresponde con el del tóxico (Augner, 1994). No obstante, una característica de muchos grupos de alcaloides presentes en las plantas forrajeras es su sabor amargo, que posiblemente constituye la base para su identificación y consiguiente rechazo por los animales herbívoros (Dupont *et al.*, 1994).

3.2.2.3 Principales alcaloides utilizados como aditivos en cerdos

Los alcaloides sanguinarina y queleritrina son conocidos por sus funciones antibacteriales (Eisenberg *et al.*, 1991; Colombo y Bosisio, 1996; Newton *et al.*, 2002), antiinflamatorias (Lenfeld *et al.*, 1981; Tanaka *et al.*, 1993) e inmuno-reguladoras (Agarwal *et al.*, 1991; Chaturvedi *et al.*, 1997).

Los mecanismos de acción de los alcaloides cuaternarios de benzofenantridina han sido estudiados en trabajos de investigación básica, entre los que cabe destacar los realizados en la Universidad de Kiel, Alemania (Tschirner *et al.*, 2003) y en la Republica Checa (Drsata *et al.*, 1996). Estos trabajos han demostrado un efecto positivo de la sanguinarina y queleritrina, al adicionarlos a dietas para cerdos en engorda para reducir la degradación de AA, incrementar el consumo de alimento y como promotor de crecimiento (Tschirner *et al.*, 2003). Estas mejoras productivas han sido relacionadas con mecanismos de acción de la sanguinarina y queleritrina, desactivando de forma irreversible la enzima descarboxilasa que actúa en los aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptófano) presentes en el intestino, favoreciendo así una mayor absorción y entrada al torrente sanguíneo de AA y, consecuentemente, la síntesis y deposición proteica en los tejidos (Drsata *et al.*, 1996). Además, la descarboxilación de los AA aromáticos puede resultar en la producción de aminas biogénicas, por lo que

una reducción de estos compuestos mejora la disponibilidad de nutrimentos esenciales disminuyendo problemas de salud animal (Roth y Kirchgessner, 1998).

En el caso del triptófano, una mayor absorción y presencia de este AA en la sangre favorece la síntesis de serotonina en el cerebro, la cual estimulará el apetito del animal para promover el consumo de alimento en cerdos por efecto de la modulación triptófano-serotonina (Mellor, 2001).

3.2.2.4 Uso de alcaloides en dietas bajas en proteína

No se han realizado muchas investigaciones sobre la evaluación de dietas bajas en proteína adicionadas con alcaloides. En una de ellas, Vieira *et al.* (2008) adicionaron *sanguinarina* a dietas bajas en proteína para pollos en engorda, observaron que el efecto de reducir la PC en la dieta fue contrarrestado por el uso del aditivo, ya que las variables productivas no fueron afectadas ($p>0.05$) por la reducción de la PC al adicionar alcaloides a dietas bajas en proteína. Los pollos alimentados con un menor nivel de PC (18.32%) con la inclusión de alcaloides no presentaron diferencias significativas en la ganancia diaria de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia, comparados con aquellos que recibieron las dietas con mayor contenido de PC (19.7%). Sin embargo, al adicionar alcaloides al máximo nivel de PC las aves no mejoraron las variables productivas. Esto probablemente sugiera que el uso de alcaloides en dietas bajas en proteína tiene un nivel óptimo que debe ser establecido en investigaciones futuras.

3.3 Uso de enzimas en no rumiantes

En años recientes la inclusión de enzimas endógenas ha sido común en las dietas para no rumiantes. De entre todos los aditivos, las enzimas pueden considerarse como uno de los aditivos que más progreso ha tenido. En la industria de alimentos balanceados en México se encuentran disponibles enzimas que actúan en diferentes sustratos. Algunos de los beneficios de las enzimas exógenas (carbohidrasas y fitasas) se pueden dar en la mejora de la digestibilidad de los nutrimentos del alimento, inactivación y/o destrucción de determinados factores antinutricionales, aumento de la digestibilidad de los polisacáridos no amiláceos y complementar las enzimas propias del lechón (Partridge *et al.*, 1998; Dale, 2009). Muchos de estos factores se hallan claramente interrelacionados y todos, en principio, podrían ser alterados en cierta medida mediante la utilización de enzimas exógenas.

3.3.1 Xilanasas

En general la carbohidrasas incluyen todas las enzimas que catalizan una reducción en el peso molecular de los carbohidratos, pero el mercado está dominado actualmente por dos enzimas: las xilanasas y las glucasas. Las xilanasas (endo 1, 4-xilanasas) se encuentran en la familia de las hidrolasas y en la subfamilia de las glicosidasas. Las xilanasas degradan polisacáridos no almidonosos (PNA), los cuales incluyen glucanos, xilanos, pentosas y arabinoxilanos.

Recientemente se han reportado efectos benéficos en la adición de xilanasas a la dieta de cerdos y pollos, los cuales son ligados a la cantidad de grasa, proteína y almidón indigestibles a nivel del intestino delgado (Cowieson y Bedford, 2009).

3.3.2 Obtención comercial de xilanasas

La mayor parte de las enzimas se obtienen mediante el uso de bacterias y hongos genéticamente modificados. Estos organismos han sido diseñados para sobreproducir la proteína de interés y pueden ofrecer entre 50 y 100 g de proteína activa por litro de fermentación, resultando un modelo ampliamente rentable para el fabricante. Las xilanasas pueden obtenerse a partir de organismos tales como *Pichia pastoris*, *Natugrain Blend*, *Aspergillus niger*, *Trichoderma longibrachiatium* y *Trichoderma reesei* (Jun *et al.*, 2010).

3.3.3 Adición de xilanasas en dietas para cerdos

Los efectos de las xilanasas son evaluados a través de la respuesta en el crecimiento, utilización de nutrimentos y análisis de la canal en cerdos. Sin embargo, no existen evidencias claras de la adición de xilanasas en cerdos. Hay reportes positivos del uso de xilanasas especialmente en dietas con alto contenido de polisacáridos no almidonosos (avena, cebada y trigo; Cadogan *et al.*, 2003; Barrera *et al.*, 2004; Kiarie *et al.*, 2007), mientras que otros autores no encontraron ninguna mejora con la utilización de esta enzima (Mavromichalis *et al.*, 2000; Olukosi *et al.*, 2007a,b; Woyengo *et al.*, 2008). Las diferentes respuestas en estos trabajos pueden atribuirse a las cantidades y tipos de cereales utilizados, la edad del animal, la deficiencia o exceso de nutrimentos y el rango de concentración de nutrimentos en la dieta donde la enzima puede expresar mejor su potencial. Esta observación es importante debido a que cerdos de mayor edad, tienen la capacidad de utilizar ingredientes fibrosos con mayor efectividad; mientras que cerdos jóvenes están limitados a utilizar ingredientes fibrosos debido a la

baja capacidad para digerirlos, pudiendo convertirse la suplementación de xilanasas en una actividad esencial en la formulación de raciones (Adeola y Cowieson, 2011).

3.3.4 Impacto de los polisacáridos no almidonosos (PNA) en la alimentación de cerdos

La principal razón del uso de las xilanasas es porque catalizan la hidrólisis de los glucanos, xilanos, pentosas y arabinoxilanos (carbohidratos que los monogástricos son incapaces de hidrolizar), carbohidratos presentes como parte de la pared celular, que sirven como una barrera del sustrato para entrar en contacto con las enzimas digestivas; estos carbohidratos también pueden estar presentes dentro del contenido celular lo cual puede interferir con la digestión y absorción de los nutrimentos. Nitrayova *et al.* (2009) reportaron una disminución de los PNA en dietas para cerdos conteniendo 96% de centeno; hubo una disminución de 74% de xilosa y un 14.4% en la presencia de PNA, cuando se adicionaron 200 mg/kg de xilanasas. Estos datos indican que la disminución de PNA es una de las principales características de las xilanasas.

Sin embargo, la liberación de estos nutrimentos no necesariamente representa un beneficio, especialmente cuando estos son todavía indigestibles. Uno de los modos de acción de las xilanasas es su capacidad para reducir la viscosidad por el consumo de ingredientes con alto contenido de PNA mejorando el comportamiento productivo en monogástricos (Żyła *et al.*, 1999; Danicke *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2000; Adeola y Bedford, 2004). Parece ser que la reducción de la viscosidad puede ser uno de los más importantes beneficios de la suplementación con xilanasas (Vahjen *et al.*, 2007). Algunos estudios muestran que las xilanasas atacan a las cadenas de arabinoxilanos,

reduciendo el grado de polimerización (Bengtsson *et al.*, 1992; Courtin y Delcour, 2002; Hu *et al.*, 2008).

3.3.5 Xilanasas y utilización de energía

Existen reportes en donde el uso de xilanasas mejora la utilización de la energía en cerdos (Yin *et al.*, 2000; Diebold *et al.*, 2004; Nortey *et al.*, 2007; Olukosi *et al.*, 2007b) mientras que en otros no se observa efecto (Olukosi *et al.*, 2007a).

La utilización de la energía se reduce con el incremento en el consumo de fibra (Stanogias y Pearcet, 1985; Nortey *et al.*, 2008). La posible explicación para esta reducción en el aprovechamiento de la energía es la pérdida de energía endógena, principalmente por problemas con la absorción, reducción del contacto enzima-sustrato, la reducción de la cantidad de energía de ingredientes fibrosos y la reducción en el consumo de alimento debido a la alta cantidad de fibra en el alimento y la limitada capacidad del estómago.

Si las xilanasas hidrolizan los PNA, estos pueden ser reversibles y la utilización de energía puede mejorar. Ciertamente se ha observado un incremento de mono y polisacáridos en el intestino después de utilizar xilanasas en cerdos (van der Meulen *et al.*, 2001). Este parece ser uno de los caminos por el cual las xilanasas mejoran la utilización de la energía, incrementando la producción de ácidos grasos volátiles (mejora integridad de mucosa intestinal, promueve el crecimiento de bacterias benéficas y aportan el 30% de energía) y la absorción de monosacáridos en el intestino (Li *et al.*, 1996).

A pesar de que se tiene la idea de que la viscosidad reduce la utilización de energía, la reducción de la viscosidad aumenta sólo un poco la utilización de energía.

MacLeod *et al.* (2008) observaron una utilización extra de energía metabolizable (EM) en pollos (5%) al reducir la viscosidad de la avena en el intestino en un 250%. Este resultado es similar al reportado por Adeola y Bedford (2004) trabajando con patos, al reducir la viscosidad en 70%, se obtuvo 4% más de EM.

3.3.6 Xilanasas y utilización de proteína y/o aminoácidos (AA)

La reducción de la digestibilidad de compuestos nitrogenados en monogástricos se asocia con la presencia de PNA debido al incremento en la pérdida de N endógeno y microbial, baja disponibilidad de N en la fibra e incremento en la excreción de N atrapado en las fibras de la digesta. Las pérdidas endógenas de N se calculan en 59% y las pérdidas exógenas alrededor de un 41% (Stanogias y Pearcet, 1985). La pérdida de enzimas pancreáticas puede resultar de igual forma en una reducción de N y AA (Schulze *et al.*, 1995).

La inclusión de xilanasas incrementa la digestibilidad de AA en dietas a base de trigo (Barrera *et al.*, 2004; Nortey *et al.*, 2007, 2008). Consecuentemente, la reducción de pérdidas endógenas y exógenas de N y AA, y un incremento en la hidrólisis de la proteína dietética son dos de los posibles modos de acción de las xilanasas en el mejoramiento de la utilización de N y AA; sin embargo, los resultados de los trabajos realizados son inconsistentes. Yin *et al.* (2000) reportaron sólo una pequeña reducción en la pérdida de AA en cerdos alimentados con trigo después de la adición con xilanasas, mientras que Rutherford *et al.* (2007) no observaron ningún efecto en pollos de engorda.

Es posible que las xilanasas mejoren la utilización de N y AA indirectamente, por el mayor acceso de las enzimas digestivas a la proteína dietaria (Tahir *et al.*, 2008).

Otro efecto indirecto fue demostrado en un estudio realizado por Yin *et al.* (2010) donde el uso de xilanasas incrementó la digestibilidad de los almidones y mejoró indirectamente la digestibilidad y absorción de N y AA. En estos trabajos se observa que los almidones con una mayor relación de amilosa: amilopectina son más resistentes a la digestión, reduciendo la digestibilidad a nivel intestinal, de tal manera que la reducción en la digestibilidad está asociada con una reducción de la digestibilidad de AA y la concentración de AA en plasma. También es probable que la pobre concentración de glucosa debido a la mayor cantidad de amilosa con respecto a la amilopectina reduzca la eficiencia en el transporte de AA, debido a que la glucosa es de suma importancia en el transporte de AA y la síntesis de proteínas (Roos *et al.*, 2009).

3.3.7 Matriz para el uso de xilanasas

Para optimizar la adición con enzimas, y reducir el desperdicio de estas, se debe establecer el valor (matriz) de energía y de otros nutrimentos en los cuales la enzima trabaja mejor. Esto se basa en la premisa que las enzimas liberan nutrimentos, que están indisponibles y que pueden ser considerados a la hora de formular raciones. Zhou *et al.* (2009) alimentando pollos con dietas con valores de energía decrecientes complementadas con xilanasas, observaron que la mejor respuesta de las xilanasas se obtuvo con la menor concentración de energía, indicando que la enzima es más benéfica cuando la cantidad de EM es subóptima. Por su parte Francesch y Geraert (2009) en dietas para pollos observaron que una reducción de hasta 85 kcal/kg de alimento y una reducción de PC de hasta 3% durante la fase de iniciación no afectaron el comportamiento productivo, gracias a el uso de xilanasas (Cowieson y Ravindran 2008a, b).

Estudios específicos pueden efectuarse para determinar la matriz de las xilanasas. Sin embargo, cada compañía provee matrices para el uso de enzimas a pesar de que esos modelos de predicción pueden ser muy restrictivos y pueden subestimar el potencial del uso de las enzimas (Cowieson *et al.*, 2006a, b). De igual manera la evaluación inapropiada de las xilanasas puede enmascarar su efecto. Por ejemplo Troche *et al.* (2007) alimentando pavos de engorda redujeron hasta 140 kcal de EM en la dieta y observaron que la complementación con carbohidrasas no compensó la deficiencia de energía.

3.3.8 Xilanasas en dietas con base en maíz y sorgo

Se ha demostrado que el maíz y sorgo tienen una variabilidad en la digestibilidad tan grande como la del trigo y la cebada (Leeson *et al.*, 1993; Collins *et al.*, 1998). Sin embargo, una combinación de enzimas (amilasas, proteasas y xilanasas) puede reducir esta variación y acelerar la tasa de pasaje en dietas basadas en maíz y sorgo en pollos de engorda, mejorando la ganancia de peso y la conversión alimenticia (Wyatt *et al.*, 1997a, b, 1999; Pack *et al.*, 1998). Cowieson y Ravindran (2008a, b) evaluaron la adición de xilanasas en pollos de engorda en dietas a base de maíz, observando que la ganancia de peso y la conversión de alimento se mejoraron mediante la adición de enzimas. Además, la digestibilidad de la proteína y EM mejoró 3.4%. En un trabajo previo Cowieson *et al.* (2007) observaron que la EM mejoró 3% mientras que la retención de nitrógeno lo hizo en 11.7% con la adición de xilanasas. Por su parte Francesch y Geraert (2009) alimentando pollos en iniciación con dietas a base de maíz reduciendo el nivel de EM en 85 kcal kg⁻¹ y de PC en 3%, observaron que la complementación con xilanasas y fitasas sostuvo la ganancia diaria de peso, el

consumo de alimento y la conversión alimenticia comparada con la dieta testigo, la cual cubría las necesidades de energía y proteína del animal.

4. Bibliografía

- Abreu, M. L. T., J. L. Donzele, O. R. F. Miranda, A. L. S. de Oliveira, F. Santos, e A. A. Pereira. 2007. Níveis de lisina digestível em rações, utilizado-se o conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 60 aos 95 kg. Rev. Bras. Zootec. 36: 54-61.
- Adeola, O., and M. R. Bedford. 2004. Exogenous dietary xylanase ameliorates viscosity-induced anti-nutritional effects in wheat based diets for White Pekin ducks (*Anas platyrinchos domesticus*). Br. J. Nutr. 92: 87–94.
- Adeola, O., and A. J. Cowieson. 2011. Board-invited review: Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve nonruminant animal production. J. Anim. Sci. 89: 3189–3218.
- Agarwal, S., M. A. Reynolds, S. Pou, D. E. Peterson, J. A. Charon, and J. B. Suzuki. 1991. The effect of sanguinarine on human peripheral blood neutrophil viability and functions. Oral Microb. and Immu. 6: 51-61.
- Akemi, Y., T. Eiji, F. Chieko, I. Minoru, I. Yuji, Y. I. Yohihilko, Y. Michi, and F. Shu. 2002. Effect of feeding a reduced protein, amino acid-supplemented diet on the excretion of urine and nitrogen, and the ammonia emission from slurry in growing pigs. Jap. J. Swi. Sci. 39. Abstr.
- Augner, M. 1994. Should a plant always signal its defense against herbivores? Oikos. 70: 322-332.

- Atakora, J. K. A., S. Möhn, and R. O. Ball. 2003. Low- protein diets reduce greenhouse gas production in finisher pigs while maintaining animal performance. 9th International Symposium on Digestive Physiology in Pigs, Banff, AB, Canada. 2: 296-298.
- Baker, D., R. Easter, G. Hollis, and V. Gabert. 1999. University of Illinois recommended nutrient allowances for all classes of swine. Department of Animal Science. Swine Nutrition Group. University of Illinois.
- Baker, D. H., R. Easter, G. Hollis, M. Ellis, and R. Zijlstra. 2002. Swine Health and Nutrition: Dietary nutrient allowances for swine. Feedstuffs Reference Issue and Buyers Guide. July 10, 2002. 74: 100-110.
- Barrera, M., M. Cervantes, W. C. Sauer, A. B. Araiza, N. Torrentera, and M. Cervantes. 2004. Ileal amino acid digestibility and performance of growing pigs fed wheat-based diets supplemented with xylanase. *J. Anim. Sci.* 82: 1997–2003.
- Batterham, E. S., L. M. Andersen, D. R. Baigent, and E. White. 1990. Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs: Effect of dietary lysine concentration on efficiency of lysine retention. *Br. J. Nutr.* 64: 81-94.
- Bengtsson, S., P. Aman, and R. E. Anderson. 1992. Structural studies on water-soluble arabinoxylans in rye grain using enzymatic hydrolysis. *Carbohydr. Polym.* 17: 277–284.
- Boren, A. C., and S. Carlson. 2001. Nutrient Requirements of Swine and Recommendations for Missouri. University Extension, University of Missouri-Columbia.

- Cadogan, D. J., M. Choct, and R. G. Campbell. 2003. Effects of storage time and exogenous xylanase supplementation of new season wheats on the performance of young male swine. *Can.J. Anim. Sci.* 83: 105–112.
- Chaturvedi, M. M., A. Kumar, B. G. Darnay, G. B. N. Chainy, S. Agarwal, and B. B. Agarwal. 1997. Sanguinarine (pseudochelerythrine) is a potent inhibitor of NP-kappa B activation, I kappa B alpha phosphorylation, and degradation. *Journal of Biol. Chem.* 272: 30129-30134.
- Chiba, L. I., A. J. Lewis, and E. R. Peo. 1991. Amino acid and energy interrelationships in pigs weighing 20 to 50 kilograms: 1. Rate and efficiency of weight gain. *J. Anim. Sci.* 69: 694–707.
- Church, D. C., W. G. Pond, y K. R. Pond. 2002. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. Segunda edición.* Ed. Limusa. México, D.F. 635 p.
- Cline, T. R., G. L. Cromwell, T. D. Crenshaw, R. C. Ewan, C. R. Hamilton, A. J. Lewis, D. C. Mahan, and L. L. Southern. 2000. Further assessment of the dietary requirements of finishing gilts. *J. Anim. Sci.* 78: 987-992.
- Collins, N. E., E. T. Moran, and H. L. Stilborn. 1998. Corn hybrid and bird maturity affect apparent metabolizable energy values. *Poult. Sci. Abstr.* 77: 42-42.
- Colombo, M. L., and E. Bosisio. 1996. Pharmacological activities of *Chelidoniummajus* L. (Papaveraceae). *Pharmac. Research* 33:127-134.
- Coma, J., D. Carrion, and D. R. Zimmerman. 1995. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine the lysine requirement of pig. *J. Anim. Sci.* 73: 472-481.
- Cooper, D. R., J. F. Patience, R. T. Zijlstra, and M. Rademacher. 2001. Effect of energy and lysine intake in gestation on sow performance. *J. Anim. Sci.* 79: 2367-2377.

- Corro, M. 2002. Los aditivos antibióticos promotores de crecimiento de los animales. Situación actual y posibles alternativas. Acceso: 3 marzo de 2012. <http://www.exopol.com/general/circulares/90circ.html>.
- Courtin, C. M., and J. A. Delcour. 2002. Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. *J. Cereal Sci.* 35: 225–243.
- Cowieson, A. J., T. Acamovic, and M. R. Bedford. 2006a. Supplementation of corn-soy based diets with an *Escherichia coli* derived phytase: Effects on broiler chick performance and the digestibility of amino acids and the metabolizability of minerals and energy. *Poult. Sci.* 85: 1389–1397.
- Cowieson, A. J., D. N. Singh, and O. Adeola. 2006b. Prediction of ingredient quality and the effect of a combination of xylanase, amylase, protease and phytase in the diets of broiler chicks. Growth performance and digestible nutrient intake. *Br. Poult. Sci.* 47: 477–489.
- Cowieson, A. J., A. Ravindran, and V. Ravindran. 2007. Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: growth performance and digestibility of energy, minerals and amino acids. *Br. Poult. Sci.* 49: 37-49.
- Cowieson, A. J., and V. Ravindran. 2008a. Effect of exogenous enzymes in maize-based diets varying in nutrient density for young broilers: Growth performance and digestibility of energy, minerals and amino acids. *Br. Poult. Sci.* 49: 37–44.
- Cowieson, A. J., and V. Ravindran. 2008b. Sensitivity of broiler starters to three doses of an enzyme cocktail in maize- based diets. *Br. Poult. Sci.* 49: 340–346.

- Cowieson, A. J., and M. R. Bedford. 2009. The effect of phytase and carbohydrase on ileal amino acid digestibility in monogastric diets: Complementary mode of action? *Worlds Poult. Sci. J.* 65: 609–624.
- Culvenor, C. C. 1973. Alkaloids. In: G. W. Butler and R. W. Bailey (Ed.) *Chemistry and Biochemistry of Herbage*. 1: 375-446. Academic Press. London, U. K.
- Dale, N. 2009. Enzimas para la avicultura: mitos y realidades. *Revista Industria Avícola*. 56(2): 22-24.
- Danicke, S., W. Bottcher, H. Jeroch, J. Thielebein, and O. Simon. 2000. Replacement of soybean oil with tallow in rye-based diets without xylanase increases protein synthesis in small intestine of broilers. *J. Nutr.* 130: 827–834.
- de Lange, K., and K. Coudenys. 1996. Interactions between nutrition and the expression of genetic performance potentials in grower-finisher pigs. Ping Liand, Department of Animal Science. University of Guelph. Accesado: 10 abril de 2013. <http://www.nsis.com/Conferences/1996/delange.htm>
- Diebold, G., R. Mosenthin, H.-P. Piepho, and W. C. Sauer. 2004. Effect of supplementation of xylanase and phospholipase to a wheat-based diet for weanling swine on nutrient digestibility and concentrations of microbial metabolites in ileal digesta and feces. *J. Anim. Sci.* 82: 2647–2656.
- Drsata, J., J. Ulrichova, and D. Walterova. 1996. Sanguinarine and chelerythrine as inhibitors of aromatic amino acid descarboxylase. *J. Enzyme Inhib.* 10:231-237.
- Dupont, M. S., M. Múzquiz, I. Estrella, G. R. Fenwick, and K. R. Price. 1994. Relationship between the sensory properties of lupin seed with alkaloid and tannin content. *J. Sci. Food Agric.* 65: 95-100.

- Eisenberg, A. D., D. A. Young, J. Fan-Hsu, and L. M. Spitz. 1991. Interaction of sanguinarine and zinc on oral streptococci and actinomyces species. *Caries Research* 25: 185-190.
- Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, R. S. Gómez, and R. M. Diedrichsen. 2002. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diet or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 80: 2911-2919.
- Figuroa-Velasco, J. L., M. Cervantes-Ramírez, J. M. Cuca-García, y M. Méndez-López. 2004. Respuesta de cerdos en crecimiento y finalización a dietas con baja proteína y energía. *Agrociencia* 38: 383-394.
- Figuroa, J. L., M. Martínez, J. E. Trujillo, V. Zamora, J. L. Cordero, and M. T. Sánchez-Torres. 2008. Plasma urea nitrogen concentration and growth performance of finishing pigs fed sorghum-soybean meal, low-protein diets. *J. Appl. Anim. Res.* 33: 7-12.
- Fontes, D. O., J. L. Donzele., A. S. Ferreira. 2000. Níveis de lisina para leitões selecionadas geneticamente para deposição de carne magra, dos 60 aos 95 kg. *R. Bras. Zootec.* 29: 784-793.
- Francesch, M., and P. A. Geraert. 2009. Enzyme complex containing carbohydrases and phytase improves growth performance and bone mineralization of broilers fed reduced nutrient corn soybean- based diets. *Poult. Sci.* 88: 1915–1924.
- Friesen, K. G., J. L. Nelsen, R. D. Goodband, M. D. Tokach, J. A. Unruh, D. H. Kropf, and B. J. Kerr. 1994. Influence of dietary lysine on growth and carcass composition of high-lean-growth gilts fed from 34 to 72 kg. *J. Anim. Sci.* 62: 1761-1770.

- Gattás, G., F. C. de Oliveira, F. F. Barbosa, J. L. Donzele, A. S. Ferreira e O. R. F. de Miranda. 2012. Níveis de lisina digestível em dietas para suínos machos castrados dos 60 aos 100 dias de idade. *R. Bras. Zootec.* 41: 91-97.
- Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller, and H. Y. Chen. 2002. Growth performance, diet apparent digestibility, and plasma metabolite concentrations of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 644-653.
- Haese, D., J. L. Donzele, O. R. F. de Miranda, A. Saraiva, F. C. de Oliveira, J. L. Kill, M. L. T. J. L. Abreu. 2011. Digestible lysine for barrows of genetic lines selected for meat deposition from 60 to 100 days of age. *R. Bras. Zootec.* 40: 1941-1946.
- Hagerman, A. E., and L. G. Butler. 1991. Tannins and lignins. In: G.A. Rosenthal and M. R. Berenbaum (Ed.) *Herbivores: Their Interactions with Secondary Plant Metabolites*. Vol. I: The Chemical Participants. Pp: 355-388. Academic Press, New York, N. Y.
- Hayes, E. T., A. B. G. Leek, T. P. Curran, V. A. Dodd, O. T. Carton, V. E. Beattie, and J. V. O'Doherty. 2004. The influence of diet crude protein level on odor and ammonia emissions from finishing pig houses. *Biores.Tech.* 91: 309-315.
- Health Catalog. 2000. L-Lysine and Nutrition: Health Supplements: Standard Vitamins and Nutrina. California, USA. <http://www.healthcatalog.com/> Consultado el 4 de Junio 2012.
- Herr, C. T., D. C. Kendall, K. A. Bowers, and B. T. Richert. 2000. Evaluating feed energy levels for grow-finish pigs. Swine Day. Department of Animal Sciences. Purdue University. Pp. 35-38.

- Hu, Y., Z. Wang, and S. Xu. 2008. Treatment of corn bran dietary fiber with xylanase increases its ability to bind bile salts, in vitro. *Food Chem.* 106: 113–121.
- Jun, He., Y. Jia, W. Li, Y. Bing, and C. Daiwen. 2010. Functional characterization of a recombinant xylanase from *Pichia pastoris* and effect of the enzyme on nutrient digestibility in weaned pigs. *Br. J. Nutr.* 103: 1507–1513.
- Kendall, D. C., K. M. Lemenager, B. T. Richert, A. L. Sutton, J. W. Frank, B. A. Belstra, and D. Bundy. 1998. Effects of intact protein diets versus reduced crude protein diets supplemented with synthetic amino acids on pig performance and ammonia levels in swine buildings. Purdue University. Swine Day. Pp. 141-146.
- Kerr, B. J., and R. A. Easter. 1995a. Effect of feeding reduced protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 73: 3000-3008.
- Kerr, B. J., F. K. McKeith, and R. A. Easter. 1995b. Effects on performance and carcass characteristic of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein, amino acids-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 73: 433-440.
- Kerr, B. J., J. T. Yen, J. A. Nienaber, and R. A. Easter. 2003. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 1998-2007.
- Kiarie, E., C. M. Nyachoti, B. A. Slominski, and G. Blank. 2007. Growth performance, gastrointestinal microbial activity, and nutrient digestibility in early-weaned swine fed diets containing flaxseed and carbohydrase enzyme. *J. Anim. Sci.* 85: 2982–2993.

- Kiefer, C., J. L. Donzele., e O. R. F. de Miranda. 2010. Lisina digestível para suínos machos não castrados de alto potencial genético em fase de crescimento. *Ciência Rural*, Santa Maria. 40: 1630-1635.
- Knowles, T. A., L. L. Southern, and T. D. Bidner. 1998. Ratio of total sulfur amino acids to lysine for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 1081-1090.
- Kornegay, E. T., and M. W. A. Verstegen. 2001. Swine nutrition and environmental pollution and odor control. In: *Swine Nutrition*, 2nd ed. A. J. Lewis and L. L. Southern (Editors). CRC Press LLC, Boca Raton, FL. Pp. 609-613.
- Le Bellego, L., J. van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. 2001. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 1259-1271.
- Le Bellego, L., and J. Noblet. 2002. Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets. *Livest. Prod. Sci.* 76: 45-58.
- Leeson, S., Yersin, A., Volker, L., 1993. Nutritive value of the 1992 corn crop. *J. Appl. Poult. Res.* 2: 208-213.
- Lenfeld, J., M. Kroutil, E. Marsalek, J. Slavik, V. Preininger, and V. Simanek. 1981. Antiinflammatory activity of quaternary benzophenanthridine alkaloids from *Chelidoniummajus*. *Planta Med.* 43: 161-165.
- Li, S., W. C. Sauer, S. X. Huang, and V. M. Gabert. 1996. Effect of β -glucanase supplementation to the hullless barley- or wheat-soybean meal diets on the digestibilities of energy, protein, β -glucans, and amino acids. *J. Anim. Sci.* 74: 1649–1656.
- Liu, C. Y., A. L. Grant, K. H. Kim, S. Q. Ji, D. L. Hancock, D. B. Anderson, and S. E. Mills. 1994. Limitations of ractopamine to affect adipose tissue metabolism in swine. *J. Anim. Sci.* 72: 62-67.

- López, M., J. L. Figueroa, M. J. González, L. A. Miranda, V. Zamora, y J. L. Cordero. 2010. Niveles de lisina y treonina digestible en dietas sorgo- pasta de soya para cerdos en crecimiento. *Archivos de Zootecnia*. 59: 205-216.
- Loughmiller, J. A., J. L. Nelssen, R. D. Goodband, M. D. Tokach, E. C. Titgemeyer, and I. H. Kim. 1998. Influence of dietary lysine on growth performance and carcass characteristics of late-finishing gilts. *J. Anim. Sci.* 76:1075-1080.
- MacLeod, M. G., J. Valentine, A. Cowan, A. Wade, L. McNeill, and K. Bernard. 2008. Naked oats: Metabolisable energy yield from a range of varieties in broilers, cockerels and turkeys. *Br. Poult. Sci.* 49: 368–377.
- Martínez, M., J. L. Figueroa, M. J. González, J. L. Landero, and R. Medina. 2007. Optimal biological level of total lysine for finishing pigs fed sorghum- soybean meal diets. *J. Anim. Vet. Adv.* 6: 1146-1151.
- Martínez-Aispuro, M., J. L. Figueroa-Velasco, J. E. Trujillo-Coutiño, V. Zamora- Zamora, J.L. Cordero- Mora, M. T. Sánchez-Torres, y L. Reyna-Santamaría. 2009. Respuesta productiva y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo–pasta de soya con baja proteína. *Vet. Méx.* 40: 27-38.
- Mavromichalis, I., J. D. Hancock, B. W. Senne, T. L. Gugle, G. A. Kennedy, R. H. Hines, and C. L. Wyatt. 2000. Enzyme supplementation and particle size of wheat in diets for nursery and finishing swine. *J. Anim. Sci.* 78: 3086–3095.
- Mavromichalis, I. 2009. Low-protein diets. Your portal on global pig nutrition. Accesado: 1 de Marzo 2011. <http://www.pigprogress.net/weblog/nutrition/low-Protein-diets-id2562.html>

- McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, y C. A. Morgan. 2002. *Nutrición Animal*. Sexta edición. Editorial Acribia. México, D. F. Pp. 523-534.
- Medel, P., y A. Fuentetaja. 2000. Efecto del perfil genético, del sexo, el peso al sacrificio y de la alimentación sobre la productividad y la calidad de la canal y de la carne de cerdos grasos. *Memorias del XVI Curso de Especialización FEDNA*. Madrid, España. Pp. 113-139.
- Medina G. R. 2002. Optimización biológica y económica de niveles de lisina total en dietas para cerdos en crecimiento. Tesis de Maestría en Producción Animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Pp. 91.
- Mellor, S. 2001. Natural appetizers from plants. *Feed Mix* 9:21-31.
- Merino, C., B., S. Gómez, y J. Cuarón. 2005. Requerimientos de lisina digestible de cerdos de 14 a 50 kg de peso corporal sujetos a diferentes condiciones de manejo y alojamiento. *Tec. Pecuaria. Méx.* 43: 139-153.
- Molyneux, R. J., and M. H. Ralphs. 1992. Plant toxins and palatability to herbivores. *J. Range Manage.* 45:13-18.
- Myer, R. O., and D. W. Gorbet. 2002. Crystalline amino acid supplementation of grain sorghum-based, low-protein diets for growing and finishing swine. *J. Anim. Sci.* 80: 41 (Abstr.).
- National Pork Producers Council (NPPC). 1991. Procedures to evaluate market hogs. 3rd ed. National Pork Producers Council. Des Moines. IA, USA. Pp. 16.
- National Research Council (NRC). 1998. *Nutrient Requirements of Swine*. 10th Ed. National Academy Press, Washington, D. C.
- Newton, S. M., C. Lau, S. S. Gurcha, G. S. Besra, and C. W. Wright. 2002. The evaluation of forty plant species for in vitro antimycobacterial activities; isolation of

active constituents from *Psoraleacorylifolia* and *Sanguinaria canadensis*. J. Ethnopharmacol. 79: 57-67.

Nitrayova, S., J. Heger, P. Patraš, H. Kluge, and J. Brož. 2009. Effect of xylanase on apparent ileal and total tract digestibility of nutrients and energy of rye in young swine. Arch. Anim. Nutr. 63: 281–291.

Nortey, T. N., J. F. Patience, P. H. Simmins, N. L. Trottier, and R. T. Zijlstra. 2007. Effects of individual or combined xylanase and phytase supplementation on energy, amino acid, and phosphorus digestibility and growth performance of grower swine fed wheat-based diets containing wheat millrun. J. Anim. Sci. 85: 1432–1443.

Nortey, T. N., J. F. Patience, J. S. Sands, N. L. Trottier, and R. T. Zijlstra. 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 swine. J. Anim. Sci. 86: 3450– 3464.

Oliveira, F. D. de., J. L. Donzele, A. S. Ferreira, de O. R. F. Miranda, C. A. G. Gomes. 2000. Níveis de Lisina para leiotas seleccionadas genéticamente para deposição de carne magra, dos 60 aos 95 kg. Rev. Bras. Zootec. 29: 784- 793.

Oliveira, A. L. S de ., J. L. Donzele, O. R. F. de Miranda, A. S. Ferreira, A. M. S. Moita, e R. A. R. Generoso. 2003a. Lisina em rações para suínos machos castrados selecionados para deposição de carne magra na carcaça dos 110 aos 125 kg. R. Bras. Zootec. 32: 150- 155.

Oliveira, A. L. S de., J. L. Donzele, O. R. F. de Miranda, A. S. Ferreira, A. M. S. Moita, F. C. de Oliveira, e L. S. Freitas. 2003b. Lisina em rações para suínos machos

castrados selecionados para deposição de carne magra na carcaça dos 95 aos 110 kg. R. Bras. Zootec. 32: 337-343.

Oliveira, A. L. S de., J. L. Donzele, O. R. F. de Miranda, M. L. T. Abreu, A. S. Ferreira, F. C. de Oliveira, e D. Haese. 2006. Exigência de lisina digestível para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 15 aos 30. R. Bras. Zootec. 35: 2338-2334.

Olukosi, O. A., M. R. Bedford, and O. Adeola. 2007a. Xylanase in diets for growing swine and broiler chicks. Can. J. Anim. Sci. 87: 227–235.

Olukosi, O. A., J. S. Sands, and O. Adeola. 2007b. Supplementation of carbohydrases or phytase individually or in combination to diets for weanling and growing-finishing swine. J. Anim. Sci. 85: 1702–1711.

Otto, E. R., M. Yokoyama, P. K. Ku, N. K. Ames, and N. L. Trottier. 2003. Nitrogen balance and ileal amino acid digestibility in growing pigs fed diets reduced in protein concentration. J. Anim. Sci. 81: 1743–1753.

Pack, M., M. R. Bedford, and C. L. Wyatt. 1998. Feed enzymes may improve corn, sorghum diets. Feedstuffs 18: 19.

Panetta, D. M., W. J. Powers, H. Xin, B. J. Kerr, and K. J. Stalder. 2006. Nitrogen excretion and ammonia emissions from pigs fed modified diets. J. Environ. Qual. 35: 1297-1308.

Paraksa, N., U. Kanto, and S. Choenchon. 1999. Requirements of ileal digestible lysine for European growing and finishing pigs under tropical conditions. Kasetsar J. (Nat. Sci.). 33: 213-223.

- Partridge, G.G., P.F. Alcántara, and D. Creswell. 1998. Effect of xylanase addition to corn/soybean meal/wheat pollard diets for grower/finisher pigs. In: Proceedings of the Eighth World Conference on Animal Production. Seoul, Korea. Pp. 626–627.
- Pink, D., R. Elango, W. T. Dixon, and R. O. Ball. 2003. Lysine catabolism in the neonatal piglet during postnatal stages of growth and development. FASEB. J. 17: 702 (Abstract).
- Piva, G., and R. Rossi. 1999. Future prospects for the non-therapeutic use of antibiotics. In: Recent Progress in Animal Production Science. 1. Proceedings of the A. S. P. A. XII Congress. G. Piva, G. Bertoni, F. Masoero, P. Bani and L. Calamari (ed). Pp. 279-317. Piacenza, Italy.
- Powers, W. J., S. B. Zamzow, and B. J. Kerr. 2007. Reduced crude protein effects on aerial emissions from swine. Appl. Eng. Agr. 23: 539-546.
- Quest Vitamins. 2000. L-lysine. Disponible en: <http://www.questhealthlibrary.com>. Consultado el 1 de Junio de 2012.
- Reyes, V. I., J. L. Figueroa, J. L. Cordero, and M. T. Sánchez-Torres. 2012. Probiótico fecinor (*Enterococcus faecium*) adicionado a dietas estándar y con baja proteína para cerdos en engorda. Archivos de Zootecnia 61(236): 589-598.
- Robinson T. 1981. The Biochemistry of Alkaloids. 2ª ed. Springer, Nueva York, N. Y.
- Roos, S., O. Lagerlof, M. Wennergren, T. L. Powell, and T. Jansson. 2009. Regulation of amino acid transporters by glucose and growth factors in cultured primary human trophoblast cells is mediated by mTOR signaling. Am. J. Physiol. Cell Physiol. 297: 723–731.
- Rostango, H. S., L. F. T. Albino, J. L. Donzeme, P. C. Gomez, de R. F. Oliveira, D. C. Lopez, A. S. Ferreira, S. R. T. Barreto, and R. F. Euclides. 2011. Brazilian Tables

for Poultry and Swine. Composition of feedstuffs and Nutritional Requirements. 3rd edition. Universidade Federal de Viçosa- Departamento de Zootecnia. Editor: Horacio Santiago Rostagno; Translated by Bettina Gertum Becker. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. Pp. 251.

Roth, F. X., and M. Kirchgessner. 1998. Organic acids as feed additives for young pigs: nutritional and gastrointestinal effects. *J. Animal and Feed Sci.* 8: 25–33.

Rutherford, S. M., T. K. Chung, and P. J. Moughan. 2007. The effect of a commercial enzyme preparation on apparent metabolizable energy, the true ileal amino acid digestibility, and endogenous ileal lysine losses in broiler chickens. *Poult. Sci.* 86: 665–672.

Saldaña, E., J. Figueroa, V. Zamora, M. Sánchez, y J. Cordero. 2009. Respuesta de porcinos en crecimiento alimentados con dietas a base de sorgo-pasta de soya con bajo nivel de proteína y suplementadas con manano-oligosacáridos o nucleótidos. *Rev. Fac. Agron.* 5: 85-93.

Schulze, H., P. van Leeuwen, M. W. Verstegen, and J. W. van den Berg. 1995. Dietary level and source of neutral detergent fiber and ileal endogenous nitrogen flow in swine. *J. Anim. Sci.* 73: 441–448.

Shiva, R. C. M. 2007 Estudio de la actividad antimicrobiana de extractos naturales y ácidos orgánicos. Posible alternativa a los antibióticos promotores de crecimiento. Tesis doctoral. Departament de Sanitati d' anatomía animals. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España.

Shriver, J. A., S. D. Carter, A. L. Sutton, B. T. Richert, B. W. Senne, and L. A. Pettey. 2003. Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid

- supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 492-502.
- Stanogias, G., and G. R. Pearcet. 1985. The digestion of fibre by swine. *Br. J. Nutr.* 53: 513–530.
- Susenbeth, A., T. Dickel, A. Diekenhorst, and D. Hohler. 1999. The effect of energy intake, genotype, and body weight on protein retention in pigs when dietary lysine is the first-limiting factor. *J. Anim. Sci.* 77:2985-2989.
- Tahir, M., F. Saleh, A. Ohtsuka, and K. Hayashi. 2008. An effective combination of carbohydrases that enables reduction of dietary protein in broilers: Importance of hemicellulase. *Poult. Sci.* 87: 713–718.
- Tanaka, T., K. Metori, S. Mineo, M. Hirotsani, T. Furuya, and S. Kobayashi. 1993. Inhibitory effects of berberine-type alkaloids on elastase. *Planta Medica* 59: 200-202.
- Tartrakoon, W., K. Wuthijaree, and K. Udomsri. 2004. Reduction of N-excretion in growing-finishing pigs using low- protein diets. Rural Poverty Reduction through Research for Development. Deutscher Tropentag, October 5-7, Berlin. Pp. 211 (Abstr).
- Troche, C., X. Sun, A. P. McElroy, J. Remus, and C. L. Novak. 2007. Supplementation of Avizyme 1502 to corn-soybean meal wheat diets fed to turkey tom poults: The first fifty-six days of age. *Poult. Sci.* 86: 496–502.
- Tuitoek, K., L. G. Young, F. M. De Lange, and B. J. Kerr. 1997. The effect of reducing excess dietary amino acids on growing-finishing pig performance: an evaluation of the ideal protein concept. *J. Anim. Sci.* 75: 1575-1583.

- Tschirner, K., A. Susenbeth, and S. Wolfram. 2003. Influence of Sangrovit® supplementation on nitrogen balance and feed intake in growing pigs. 9. Symposium Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft. Disponible en: www.fal.de. Consultado el 1 mayo de 2012.
- Vahjen, W., T. Osswald, K. Schafer, and O. Simon. 2007. Comparison of a xylanase and a complex of non starch polysaccharide- degrading enzymes with regard to performance and bacterial metabolism in weaned piglets. Arch. Anim. Nutr. 61: 90–102.
- van der Meulen, J., J. Inborr, and J. G. M. Barker. 2001. Effects of cell wall degrading enzymes on carbohydrate fractions and metabolites in stomach and ileum of swine fed wheat bran based diets. Arch. Anim. Nutr. 54: 101–115.
- Vanhemelrick, H. 2002. Proposal for a regulation of the European and of the Council on Additives for use in animal nutrition. Accesado: 4 de junio de 2012. http://www.ifahsec.org/Europe/Prees_releases/pdf/news08.pdf.
- Vieira, S. L., J. Berres, R. N. Reis, O. A. Oyarzábal, J. B. L. Coneglian, D. M. Freitas, J. E. M. Peña, and C. A. Torres. 2008. Studies with sanguinarine like alkaloids as feed additive in broiler diets. Braz. J. of Poultry Sci. 10: 67-71.
- Wei, R., and D. R. Zimmerman. 1998. Lysine requirements of PIC barrows during growing-finishing period. Department of Animal Science, Iowa State University, Ames, IA. Pp. 39-41.
- Woyengo, T. A., J. S. Sands, W. Guenter, and C. M. Nyachoti. 2008. Nutrient digestibility and performance responses of growing pigs fed phytase- and xylanase-supplemented wheat-based diets. J. Anim. Sci. 86: 848–857.

- Wyatt, C. L., E. Moran, and M. R. Bedford. 1997a. Utilizing feed enzymes to enhance the nutritional value of corn based broiler diets. *Poult. Sci.* 76: 39-39.
- Wyatt, C. L., M. Soto-Salanova, and M. Pack. 1997b. Applying enzymes to sorghum based broiler diets. *Proc. Aust. Poult. Sci. Symp. Sydney.* 9: 116-118.
- Wyatt, C. L., M. R. Bedford, and L. A. Waldron. 1999. Role of enzymes in reducing variability in nutritive value of maize using the ileal digestibility method. *Proc. Aust. Poult. Sci. Symp.* 11: 108-111.
- Yin, Y. L., J. D. G. McEvoy, H. Schulze, U. Hennig, W. B. Souffrant, and K. J. McCracken. 2000. Apparent digestibility (ileal and overall) of nutrients and endogenous nitrogen losses in growing swine fed wheat (var. Soissons) or its by-products without or with xylanase supplementation. *Livest. Prod. Sci.* 62: 119–132.
- Yin, F., Z. Zhang, J. Huang, and Y. Yin. 2010. Digestion rate of dietary starch affects systemic circulation of amino acids in weaned swine. *Br. J. Nutr.* 103: 1404–1412.
- Zhang, Z., R. R. Marquardt, and W. Guenter. 2000. Evaluating the efficacy of enzyme preparations and predicting the performance of leghorn chicks fed rye-based diets with a dietary viscosity assay. *Poult. Sci.* 79: 1158–1167.
- Zhou, Y., Z. Jiang, D. Lv, and T. Wang. 2009. Improved energy utilizing efficiency by enzyme preparation supplement in broiler diets with different metabolizable energy levels. *Poult. Sci.* 88: 316–322.
- Żyła, K., D. Gogol, J. Koreleski, S. Świątkiewicz, and D. R. Ledoux. 1999. Simultaneous application of phytase and xylanase to broiler feeds based on wheat: *In vitro* measurements of phosphorus and pentose release from wheats and wheat-based feeds. *J. Sci. Food Agric.* 79: 1832–1840.

CAPÍTULO I

NIVELES ÓPTIMOS BIOLÓGICOS DE LISINA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN

NIVELES ÓPTIMOS BIOLÓGICOS DE LISINA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN

José Alfredo Martínez Aispuro¹, José Luis Figueroa Velasco^{1*}, José Luis Cordero Mora¹, Agustín Ruíz Flores², María Teresa Sánchez-Torres¹, María Esther Ortega Cerrilla¹, Carlos Narciso Gaytán¹

RESUMEN

Se evaluó el efecto de cuatro niveles de lisina total para cerdos en crecimiento (0.95, 1.05, 1.15 y 1.25%) y finalización (0.75, 0.85, 0.95 y 1.05%) en el comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma, manteniendo constante la relación de treonina, metionina y triptófano con respecto a lisina (base ideal). Los animales fueron distribuidos en un diseño completamente al azar con seis repeticiones, un cerdo fue la unidad experimental. Se determinaron los niveles óptimos biológicos (NOB) para las variables en que hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos. En la etapa de crecimiento no hubo diferencias ($P > 0.05$) en las variables productivas y características de la canal. En finalización se detectaron diferencias ($P < 0.05$) únicamente para el comportamiento productivo. El NOB para ganancia diaria de peso, conversión alimenticia y ganancia de carne magra fue 0.88% de lisina total; mientras que para consumo de alimento fue 0.961% de lisina total. Se concluyó que el valor recomendado de lisina total por el NRC (1998) de 0.75% no es el adecuado para cerdos en finalización.

Palabras clave: lisina total, cerdos en crecimiento-finalización, sorgo, pasta de soya.

¹Programa de Ganadería. Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México- Texcoco. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Tel. (595) 9520200 Ext. 1724, 1727. alfredo_aispuro@yahoo.com. Autor para correspondencia: Dr. José Luis Figueroa Velasco jlfigueroa@colpos.mx. ²Posgrado en Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México- Texcoco. Chapingo, Estado de México. CP 56230. Tel. y Fax (595) 9521621. aruizf1959@hotmail.com

ABSTRACT

The effect of four levels of total lysine both on growing (0.95, 1.05, 1.15 and 1.25%) and finishing (0.75, 0.85, 0.95 and 1.05%) pigs was evaluated on growth performance, carcass characteristics, and plasma urea nitrogen concentration. Ratios of threonine, methionine and tryptophan to lysine (ideal base) remained constant. Animals were distributed in a completely randomized design with six replicates; a pig was the experimental unit. Optimum biological levels (OBL) for the variables that showed statistical differences among treatments were determined. In the growing phase there were no significant differences ($P>0.05$) for both growth performance and carcass characteristics. In the finishing phase there were significant differences ($P<0.05$) for growth performance variables. The OBL for average daily gain, feed:gain ratio and fat free gain was 0.88% total lysine; meanwhile the OBL for average daily feed intake was 0.961% total lysine. It was concluded that the recommended value of total lysine, depends on the variable you want to optimize. Besides to be kept constant relative to methionine, threonine and tryptophan, when increasing the amount of lysine in the diet.

Key words: total lysine, growing-finishing pigs, sorghum grain, soybean meal.

INTRODUCCIÓN

La lisina es el primer aminoácido (AA) limitante en dietas para cerdos en engorda en la mayoría de los ingredientes que se utilizan para preparar alimentos balanceados (NRC, 1998; Fontes *et al.*, 2000). La recomendación de la concentración de lisina del NRC (1998) pudiera no ser adecuada actualmente, debido al progreso genético en las características productivas obtenido en los últimos años, ya que la industria porcina no sólo ha avanzado en la obtención de líneas genéticas más precoces con mejores

índices de conversión de alimento, sino también hacia la obtención de cerdos con canales más magras. Los requerimientos de los cerdos han sido establecidos acorde a su potencial genético para obtener la máxima respuesta productiva (Stahly *et al.*, 1991).

Se ha observado que diferentes cantidades de lisina reducen la concentración de urea en plasma, indicando una mejor utilización de los AA (Coma *et al.*, 1995). Esto ocasiona que el incremento en el nivel de lisina mejore el consumo de alimento (Cline *et al.*, 2000), aumente la ganancia de peso (Ferreira *et al.*, 2005), mejore la retención de proteína corporal (Fontes *et al.*, 2000) y el área del músculo *longissimus* (Hahn *et al.*, 1995); sin embargo, los resultados no han sido consistentes y esto depende de la variable de estudio con la que se determine (Martínez *et al.*, 2007; López *et al.*, 2010). Los requerimientos de lisina para los cerdos durante la engorda dependerán del criterio de respuesta esperada, ya que el nivel de lisina dependerá de la variable productiva (ganancia de peso, conversión alimenticia, características de la canal y retención de proteína en el músculo) que se quiera optimizar (NRC, 1998).

En investigaciones que se han realizado para determinar el mejor nivel de lisina en la dieta (Coma *et al.*, 1995; Hahn *et al.*, 1995; Cline *et al.*, 2000; Fontes *et al.*, 2000; Ferreira *et al.*, 2005; López *et al.*, 2010), a pesar de que se incrementó el nivel de lisina, la cantidad de los demás AA se mantuvo igual en las dietas experimentales, sin considerar que la relación entre AA se establece a partir del requerimiento de lisina (NRC, 1998). Knowles *et al.* (1998) consideran que los AA azufrados son limitantes, por tanto es importante mantener una óptima proporción entre los AA esenciales y lisina. Por lo anterior, es importante evaluar el comportamiento productivo de los cerdos conservando la relación establecida entre los aminoácidos, ya que cuando la concentración de alguno de estos (como lisina) se incrementa en la dieta, únicamente

con la adición de todos los aminoácidos simultáneamente se podrá mejorar la retención de nitrógeno por el animal (Baker, 1997).

Esta investigación tuvo como objetivo determinar el nivel óptimo de lisina total para variables productivas, características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento y finalización alimentados con dietas con base en sorgo-pasta de soya, manteniendo constante la relación de treonina, triptófano y metionina con respecto a lisina total.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en Texcoco, Estado de México, a una altitud de 2250 m. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de 15.2°C y precipitación media anual de 644.8 mm (García, 1988).

Tratamientos. Los tratamientos estudiados fueron cuatro niveles de lisina total tanto en la etapa de crecimiento (0.95, 1.05, 1.15 y 1.25%) como en la de finalización (0.75, 0.85, 0.95 y 1.05%) con la adición de AA sintéticos. La relación entre lisina y los AA treonina, triptófano y metionina, en cada una de las dietas, se mantuvo constante. Para la discusión de los resultados se consideraron los niveles de lisina determinados en laboratorio y no los calculados, ya que se estableció el nivel óptimo biológico de las variables a partir de valores determinados en laboratorio. Las dietas fueron formuladas con el comando *Solver* de Excel (Microsof Excel, 2007) para cubrir o exceder los requerimientos sugeridos por el NRC (1998). Las dietas fueron formuladas con base en sorgo-pasta de soya y adicionadas con AA sintéticos (L-Lisina-HCl, DL-Metionina, L-Triptófano y L-Treonina); el nivel de energía metabolizable (3.265 Mcal kg⁻¹) se mantuvo

constante en todos los tratamientos y etapas (Cuadros 1 y 2). Para la determinación del perfil de AA totales en las dietas se utilizó un cromatógrafo líquido de alta respuesta (HPLC). La proteína cruda fue determinada por el método de macrokjeldahl (AOAC, 1990). La concentración de calcio fue determinada por espectrofotómetro de absorción atómica (Karl *et al.*, 1979).

Animales y diseño estadístico. Se utilizaron 24 cerdos híbridos (Landrace×Yorkshire×Duroc) en las etapas de crecimiento y finalización, con peso vivo inicial (PVI) de 23.3 ± 3.4 kg, distribuidos en un diseño completamente al azar en cuatro tratamientos, con seis repeticiones y un animal por unidad experimental. Los cerdos se alojaron en corrales individuales equipados con comedero tipo tolva y bebedero de chupón. El periodo de evaluación fue de 29 d para crecimiento y 34 d para finalización. El alimento y el agua se ofrecieron a libre acceso.

Variables de respuesta. Las variables de respuesta fueron: comportamiento productivo (consumo de alimento, CAL; ganancia diaria de peso, GDP; conversión alimenticia, CA; ganancia diaria de carne magra, GCM; y peso vivo final de los cerdos, PVF); características de la canal (grasa dorsal {GD} inicial {GDI} y final {GDF}; porcentaje de carne magra {PCM} inicial {PCMI} y final {PCMF}; área del músculo *longissimus* {AML} inicial {AMLI} y final {AMLF}); y concentración de urea en plasma (CUP) al final de cada etapa del experimento.

Las variables GDP y CAL se midieron cada 7 días y con esta información se calculó la conversión alimenticia. La GD y AML se midieron utilizando un ultrasonido de tiempo real SonoVet 600 marca MEDISON (Medison, Inc., Cypress, CA, USA) al inicio y al final de cada etapa. Con estos datos y con los pesos inicial y final se estimó la GCM utilizando la ecuación del NPPC (1991) y el PCM usando parte de la misma ecuación.

Al final de cada etapa se obtuvieron muestras de sangre de la vena cava anterior con tubos *vacutainer* con heparina, que se colocaron en hielo hasta centrifugarse a 2,500 rpm durante 20 min para separar el plasma del paquete celular. El plasma se transfirió a tubos de polipropileno y se guardó en un congelador a -20°C hasta la determinación de la urea en plasma (Chaney y Marbach, 1962).

Análisis estadístico. Las variables CAL, GDP, CA, GCM, PVF, GD, PCM, AML y CUP se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS (2010) utilizando el PVI como covariable. Se estimaron coeficientes en modelos de regresión que incluyeron efectos lineales, cuadráticos y/o cúbicos; así como curvas de respuesta con modelos de regresión tomando en cuenta el coeficiente de determinación (R^2), que se utilizó como criterio para determinar el mejor modelo para ser utilizado en los modelos econométricos con los cuales se calcularon los niveles óptimos biológicos (NOB) de lisina que optimizaran (minimizaran o maximizaran) las variables de respuesta. Se realizó la comparación de medias utilizando la prueba de Tukey (SAS, 2010). El NOB se calculó con el comando *Solver* de Microsoft Excel (2007) para las variables que presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0.05$).

El modelo econométrico para calcular el NOB fue el siguiente: Función Objetivo: Minimizar o Maximizar $Y = f(\text{lisina})$ bajo las siguientes restricciones: $AX \geq B$; $AX - \text{lisina} = 0$; $X \geq 0$, condición de no negatividad. En donde: Y es el parámetro, $f(\text{lisina})$ es la curva respuesta del modelo de regresión, en función del nivel de lisina, A es el aporte nutrimental de lisina de los ingredientes, X representa los ingredientes, y B representa los requerimientos nutrimentales sugeridos por el NRC (1998) para cerdos en crecimiento y finalización.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al realizar el análisis de concentración de AA en las dietas, se observó en ambas etapas que los valores formulados con el comando *Solver* de Microsoft Excel (2007) para cubrir o exceder los requerimientos sugeridos por el NRC (1998) no coinciden del todo con los determinados en laboratorio. Los valores encontrados fueron: 0.94, 1.01, 1.18 y 1.20% para crecimiento (Cuadro 1); y 0.78, 0.80, 0.93 y 1.00% para finalización, para los tratamientos 1 al 4, respectivamente (Cuadro 2).

Etapas de Crecimiento

No hubo diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos para las variables productivas y las características de la canal (Cuadros 3 y 4). En el trabajo realizado por López *et al.* (2010) se observó que el nivel de lisina total afectó negativamente el CAL, GDP y CA, cuando la concentración de lisina fue menor (0.76 y 0.85%) que 0.95%, nivel recomendado por el NRC (1998), pero no encontraron diferencias entre estas variables cuando se utilizaron mayores niveles de lisina (1.04 y 1.13%), por lo cual se puede inferir que el valor más apropiado para esta etapa es cercano al 0.95%. Merino *et al.* (2005) concluyeron que el mejor nivel de lisina para las variables productivas CAL, GDP y CA de cerdos en crecimiento (35-50 kg) es igual o menor que 1.01% de lisina total, manteniendo la relación entre AA con respecto a lisina. De igual forma, en los valores indicados en *Brazilian Tables for Poultry and Swine* (Rostango *et al.*, 2011), el nivel de lisina total recomendado en la dieta es de 1.053%. Esto concuerda con los resultados del presente estudio, donde se obtuvo una respuesta cuadrática para las variables productivas estudiadas, observándose que el mejor valor para estas variables fue 1.01% de lisina total manteniendo fija la relación de AA con respecto a lisina; sin embargo, el coeficiente de determinación (R^2) es muy bajo como para concluir que este

valor sea el más aproximado al requerimiento de lisina. Probablemente los niveles utilizados en el presente experimento no fueron los adecuados para observar efectos del nivel de lisina en las variables productivas. Para GCM tampoco hubo diferencias significativas ($P>0.05$) entre tratamientos, posiblemente debido a un exceso de proteína, limitando el efecto de la lisina, por lo cual existiría un gasto extra de energía para eliminar N, en lugar de destinarlo a la síntesis de tejido magro (Cline *et al.*, 2000).

En cuanto a las características de la canal, en trabajos previos (Hansen y Lewis, 1993; López *et al.*, 2010) no se encontraron efectos ($P>0.05$) al aumentar o reducir el nivel de lisina con respecto al recomendado por NRC (1998) para cerdos en crecimiento, coincidiendo con lo obtenido en este estudio. Esto probablemente se debe a que los niveles utilizados no fueron lo suficientemente extremos como para alterar la composición corporal del animal, ya que Paraksa *et al.* (1999) observaron una reducción de la grasa dorsal y aumento del AML con un nivel de 1.25% de lisina total.

Etapas de Finalización

Se observaron diferencias ($P<0.05$) entre tratamientos para CAL, GDP, CA y GCM (Cuadro 5), por lo que se determinaron los NOB para estas variables. En el análisis de regresión, se observaron diferencias ($P<0.05$) para GDP y se observó que el modelo que más se ajusta para obtener el NOB de lisina total fue el cuadrático, con la siguiente ecuación: $Y_{ij} = -17.811 + 41.969(\text{Lisina}) - 23.618(\text{lisina} \cdot \text{lisina}) + 0.00628(\text{PVI}=58.025 \text{ kg})$, con $R^2=0.67$. El análisis de optimización determinó el NOB en 0.888% para una GDP máxima de 1.197 kg d⁻¹.

El nivel de lisina mostró un efecto cuadrático para CA ($p \leq 0.05$). La ecuación que se obtuvo con el modelo ajustado para CA fue: $Y_{ij} = -26.485 - 53.120(\text{lisina}) -$

29.863(lisina*lisina) + 0.0022(PVI= 58.025 kg), con $R^2=0.51$. El NOB de lisina total para minimizar la CA fue 0.89% para un valor de 2.996.

En CAL hubo diferencias significativas ($P\leq 0.05$) entre tratamientos; el modelo cuadrático explicó mejor esta variable, con la ecuación: $Y_{ij} = -32.752 + 78.915(\text{lisina}) - 44.483(\text{lisina}*\text{lisina}) + 0.0234(\text{PVI}=58.025 \text{ kg})$, con $R^2=0.35$. El análisis de optimización, estimó que el NOB de lisina total para maximizar el CAL fue 0.961% con un valor de 3.361 kg d⁻¹.

El incremento de lisina en la dieta mejoró la CA y aumentó la GDP y el CAL en cerdos durante la etapa de finalización. Esto concuerda con Cline *et al.* (2000) quienes encontraron que el aumento de lisina en la dieta con respecto al nivel recomendado por el NRC (1998) mejora dichos parámetros, concluyendo que dicho valor se encuentra entre 0.80 y 0.95% de lisina; mientras que Oliveira *et al.* (2003) reportaron 0.80%; y Abreu *et al.* (2007) 0.978% de lisina total. A pesar de que Coma *et al.* (1995) y Martínez *et al.* (2007) no encontraron diferencias significativas al evaluar distintos niveles de lisina (de 0.56 a 0.95%), observaron tendencias lineales y/o cuadráticas al incrementar el nivel de lisina en la dieta, respecto al valor recomendado por el NRC (1998), y así mejorar las variables productivas.

Se encontraron diferencias entre tratamientos ($P<0.05$) para GCM. En el análisis de regresión se encontró que el modelo con mejor ajuste para predecir el NOB de la GCM fue el que incluyó el término cuadrático: $Y_{ij} = -7.073 + 16.513(\text{lisina}) - 9.380(\text{lisina}*\text{lisina}) + 0.0042(\text{PVI}=58.025 \text{ kg})$, con $R^2=0.54$. En el análisis de optimización se observó que el NOB de lisina total para maximizar GCM fue 0.88% con una ganancia de 0.44 kg d⁻¹ de carne magra. Coffey *et al.* (1995) encontraron que los cerdos con alto potencial genético para crecimiento magro requieren altos niveles de

lisina en la dieta (0.80 a 0.95%) para maximizar la GCM. Por su parte, Loughmiller *et al.* (1998) establecieron el valor de 0.70% de lisina; posteriormente, Oliveira *et al.* (2003) en 0.79%; en tanto que Martínez *et al.* (2007), como en el presente estudio, el NOB de lisina para cerdos en finalización fue 0.88%, notándose un incremento a través de los años a partir del nivel de 0.75% recomendado por el NRC (1998).

A grandes rasgos puede observarse que el valor recomendado de lisina total por el NRC (1998), de 0.75%, no es el adecuado para cerdos en finalización para ninguna de las variables productivas. Los valores para GDP, CA y GCM de este trabajo, convergen en 0.88% de lisina, valor muy cercano al nivel recomendado por *Brazilian Tables for Poultry and Swine* (Rostango *et al.*, 2011) para cerdos de 70 a 100 kg (0.867% lisina total). Por otra parte, el nivel de lisina para optimizar el CAL (0.961%) del presente estudio, es muy cercano al nivel recomendado por *Brazilian Tables for Poultry and Swine* (Rostango *et al.*, 2011) para cerdos de 50 a 70 kg de peso vivo (0.935% lisina total). A diferencia de lo que encontraron Martínez *et al.* (2007), al utilizar valores de lisina similares, pero sin mantener fija la relación de lisina con los otros aminoácidos (metionina, treonina y triptófano) no obtuvieron una mejor respuesta productiva. Esto sugiere que debe respetarse la relación entre AA al incrementar el nivel de lisina.

La concentración de lisina dietética no tuvo efecto ($P>0.05$) en las características de la canal (GDF, AMLF, y PCMF; Cuadro VI). Esto concuerda con Witte *et al.* (2000), quienes al utilizar dietas con base en maíz-pasta de soya, no encontraron efecto del nivel de lisina en el AMLF y la cantidad de grasa corporal de cerdos en finalización. Sin embargo, los resultados no son concluyentes debido a que no se logró establecer un valor de lisina para estas variables. Pérez *et al.* (2006) observaron que el nivel de GD fue menor ($P\leq 0.05$) con 1.15% de lisina en la dieta comparado con 0.95 y 1.05%;

mientras que el PCMF se incrementó al aumentar la concentración de lisina en la dieta ($P \leq 0.05$); sin embargo, existió una tendencia a disminuir el AMLF al elevar el nivel de lisina. Esta respuesta es diferente a los resultados encontrados por Schinckel *et al.* (2003), quienes observaron una tendencia a aumentar el AMLF a medida que se incrementó el nivel de lisina (0.82 y 1.08%).

Concentración de Urea en Plasma

El nivel de lisina dietética no tuvo efecto ($P > 0.05$) en la concentración de urea en plasma (CUP), en ninguna de las dos etapas estudiadas (Cuadros 4 y 6). Durante la etapa de crecimiento, la ausencia de diferencias puede deberse a que no existió un déficit de AA y hubo un balance adecuado entre ellos, debido a que la relación de AA se mantuvo constante en las dietas utilizadas al aumentar la lisina. A diferencia de lo planteado por Abreu *et al.* (2007) y López *et al.* (2010) quienes, al incrementar la cantidad de lisina en la dieta sin mantener constante la relación con los demás AA, provocaron un desequilibrio entre ellos, lo que trajo como consecuencia que existiera una CUP más alta en niveles extremos de lisina total (0.76 y 1.13%).

En la etapa de finalización la CUP no se redujo ni aumentó con el incremento de lisina, debido probablemente a que se mantuvo la relación de éste AA con treonina, metionina y triptófano, teniendo un mejor balance de AA. Coma *et al.* (1995) y Martínez *et al.* (2007) determinaron que el NOB para CUP fue 0.72% de lisina total, pero como no se respetó la relación con los otros AA, un incremento en la concentración de lisina ocasionó un aumento en la CUP. Se puede inferir que el NOB para la CUP para cerdos en finalización, es menor al nivel de lisina recomendado por el NRC (1998) de 0.75%, ya que a pesar de que la concentración de lisina en este estudio fue superior en todos los tratamientos, los niveles de urea en plasma no se alteraron.

CONCLUSIONES

No fue posible establecer el mejor nivel de lisina para cerdos en crecimiento. El valor recomendado de lisina total por el NRC (1998) de 0.75% no es el adecuado para cerdos en finalización. El NOB para GDP, CA y GCM fue 0.88% de lisina total. El NOB para el CAL fue 0.961% de lisina total. Se recomienda mantener la relación de lisina con treonina, metionina y triptófano en una proporción ideal, cuando se aumente el nivel de lisina en la dieta.

BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, M. L. T., J. L. Donzele, O. R. F. Miranda, A. L. S. de Oliveira, F. Santos, e A. A. Pereira. 2007. Níveis de lisina digestível em rações, utilizado-se o conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaça dos 60 aos 95 kg. Rev. Bras. Zootecn. 36: 54-61.
- Association of Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official Methods of Analysis. 15th Edn. Arlington, VA, USA. pp. 128.
- Baker, D. H. 1997. Ideal amino acid profiles for swine and poultry and their applications in feed formulation. BioKyowa Technical Review No.9, Pp. 1-24.
- Chaney, A. L., and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clin. Chem. 8: 130-132.
- Cline, T. R., G. L. Cromwell, T. D. Crenshaw, R. C. Ewan, C. R. Hamilton, A. J. Lewis, D. C. Mahan, and L. L. Southern. 2000. Further assessment of the dietary requirements of finishing gilts. J. Anim. Sci. 78: 987-992.

- Coffey, J., D. Carrion, and D. R. Zimmerman. 1995. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine the lysine requirement of pigs. *J. Anim. Sci.* 73: 472-481.
- Coma, J., D. Carrion, and D. R. Zimmerman. 1995. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine the lysine requirement of pigs. *J. Anim. Sci.* 73: 472-481.
- Ferreira, R. A., O. R. F. de Miranda, D. J. de Lopes, A.C. de Viera, S. F. C. de Oliveira, F. D. de Oliveira, e S. E. Paes. 2005. Reducto do nível de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em rações para suínos machos castrados mantidos em ambiente termoneutro dos 30 aos 60 kg. *Rev. Bras. Zootecnia.* 34: 548:556.
- Fontes, O. D. de., J. L. Donzele, O. R. F. de Miranda, C. G. Silva, e P. Aragão. 2000. Níveis de lisina para leitoas selecionadas geneticamente para deposição de carne magra, dos 30 aos 60 kg, mantendo constante a relação entre lisina e metionia+cistina, treonina, triptofano, isoleucina e valina. *R. Bras. Zootecn.* 29: 776-783.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). 4^a edición. México D. F. Pp. 217
- Hahn, J. D., R. R. Biehl, and D. H. Baker. 1995. Ideal digestible lysine level for early- and late-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 73: 773-784.
- Hansen, B. C. and A. J. Lewis. 1993. Effects of dietary protein concentration (corn: soybean meal ratio) on the performance and carcass characteristics of growing boars, barrows and gilts. *J. Anim. Sci.* 71: 2122- 2132.

- Karl, R. F., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. Funk, y J. H. Corad. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. 2a Ed. Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Florida. Gainesville. Florida, USA.
- Knowles, T. A., L. L. Southern, and T. D. Bidner. 1998. Ratio of total sulfur amino acids to lysine for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 1081-1090.
- López, M., J. L. Figueroa, M. J. González, L. A. Miranda, V. Zamora, y J. L. Cordero. 2010. Niveles de lisina y treonina digestible en dietas sorgo- pasta de soya para cerdos en crecimiento. *Archivos de Zootecnia* 59: 205-216.
- Loughmiller, J. A., J. L. Nelssen, R. D. Goodband, M. D. Tokach, E. C. Titgemeyer, and I. H. Kim. 1998. Influence of dietary lysine on growth performance and carcass characteristics of late-finishing gilts. *J. Anim. Sci.* 76: 1075-1080.
- Martínez, M., J. L. Figueroa, M. J. González, J. L. Landero, and R. Medina. 2007. Optimal biological level of total lysine for finishing pigs fed sorghum- soybean meal diets. *J. Anim. Vet. Advances* 6: 1146-1151.
- Merino, C. B., R. S. Gómez, e I. J. A. Cuarón. 2005. Requerimientos de lisina digestible de cerdos de 14 a 50 kg de peso corporal sujetos a diferentes condiciones de manejo y alojamiento. *Téc. Pec. Méx.* 43: 139-153.
- Microsoft Excel. 2007. Microsoft Corporation. 1985- 2001. USA. Redmond, WA, USA.
- National Pork Producers Council (NPPC). 1991. Procedures to evaluate market hogs. 3rd ed. National Pork Producers Council. Des Moines. IA, USA. Pp. 16.
- National Research Council (NRC). 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th Ed. National Academy Press, Washington, D.C.

- Oliveira, A. L. S. de., J. L. de Donzele, O. R. F. de Miranda, A. S. Ferreira, A. M. S. Moita, F. C. de Oliveira, e L. S. Freitas. 2003. Lisina em rações para suínos machos castrados selecionados para deposição de carne magra na carcaça dos 95 aos 110 kg. R. Bras. Zootec. 32: 337-343.
- Paraksa, N., K. Uthai, and C. Suchaet. 1999. Requirement of ileal digestible lysine for european growing and finishing pigs under tropical conditions. Kasetsart J. Nat. Sci. 33: 216-223.
- Pérez, A., N. E. Obispo, J. Palma, y C. F. Chicco. 2006. Efectos de la ractopamina y lisina sobre la deposición de grasa en cerdos seleccionados magros en la fase de engorde. Zootecnia Tropical. 24: 435-455.
- Rostango, H. S., L. F. T. Albino, J. L. Donzeme, P. C. Gomez, de R. F. Oliveira, D. C. Lopez, A. S. Ferreira, S. R. T. Barreto, R. F. Euclides. 2011. Brazilian Tables for Poultry and Swine. Composition of feedstuffs and Nutritional Requeriments. 3rdedition. Universidade Federal de Vicosa- Departamento de Zootecnia. Editor: Horacio Santiago Rostagno; Translated by Bettina Gertum Becker. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. Pp. 251.
- Statistical Analysis System (SAS). 2010. The SAS system for Windows V8. SAS 9.3 Institute, Cary, NC, USA.
- Schinckel, A. P., C. T. Herr, B. T. Richert, J. C. Forrest, and M. E. Einstein. 2003. Ractopamine treatment biases in the prediction of pork carcass composition. J. Anim. Sci. 81:16-28.
- Stahly, T. S., G. L. Cromwell, and D. Terhune. 1991. Responses of high, medium and low lean growth genotypes to dietary amino acid regimen. J. Anim. Sci. 69: 364 (Abstract).

Witte, D. P., M. Millis, F. K. McKeith, and E. R. Wilson. 2000. Effect of dietary lysine and environmental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork. *J. Anim. Sci.* 78: 1272-1276.

Cuadro1. Composición de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento

Ingrediente (%)	Tratamiento			
	T1	T2	T3	T4
Sorgo	73.276	74.349	74.093	73.829
Pasta de Soya	21.657	20.858	20.702	20.475
Aceite de soya	1.533	1.408	1.569	1.760
L-Lisina	0.226	0.396	0.444	0.452
DL-Metionina	0.007	0.073	0.128	0.193
L-Triptófano	0.000	0.000	0.078	0.222
L-Treonina	0.015	0.087	0.151	0.228
Premezcla de vitaminas ^A	0.225	0.225	0.225	0.225
Premezcla de minerales ^B	0.225	0.225	0.225	0.225
Sal común	0.300	0.300	0.300	0.300
CaCO ₃	0.659	0.744	0.739	0.733
Fosfato dicálcico	1.877	1.335	1.345	1.358
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00
Análisis calculado (%)				
EM (Mcalkg ⁻¹)	3.265	3.265	3.265	3.265
Proteína Cruda	16.50	16.50	16.60	16.70
Calcio	0.70	0.70	0.70	0.70
Fosforo	0.6	0.6	0.6	0.6
Lisina	0.95	1.06	1.15	1.25
Treonina	0.61	0.67	0.73	0.80
Triptófano	0.19	0.20	0.21	0.23
Metionina	0.54	0.60	0.65	0.71
Arginina	0.26	0.32	0.38	0.44
Histidina	0.98	0.96	0.95	0.94
Isoleucina	0.42	0.42	0.41	0.41
Leucina	0.70	0.69	0.69	0.68
Valina	1.63	1.61	1.60	1.59
Metionina +cistina	0.78	0.77	0.77	0.76
Análisis determinado (%)				
Proteína Cruda	16.67	17.32	17.29	17.30
Calcio	0.72	0.74	0.73	0.75
Lisina	0.94	1.01	1.18	1.20
Treonina	0.66	0.79	0.79	0.91
Metionina +Cistina	0.57	0.67	0.67	0.78
Metionina	0.29	0.38	0.39	0.51
Arginina	1.02	1.05	1.01	0.99
Histidina	0.43	0.43	0.42	0.41
Isoleucina	0.71	0.72	0.69	0.67
Leucina	1.69	1.66	1.68	1.62
Valina	0.82	0.82	0.78	0.77

^A Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D₃, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg.

^B Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales para cerdos en finalización

Ingrediente (%)	Tratamiento			
	T1	T2	T3	T4
Sorgo	83.767	83.544	83.570	83.596
Pasta de Soya	10.872	10.737	10.216	9.673
Aceite de soya	1.444	1.584	1.770	1.965
L-Lisina	0.342	0.452	0.461	0.470
DL-Metionina	0.045	0.066	0.133	0.201
L-Triptófano	0.000	0.014	0.168	0.322
L-Treonina	0.067	0.139	0.211	0.296
Premezcla de vitaminas ^A	0.300	0.300	0.300	0.300
Premezcla de minerales ^B	0.300	0.300	0.300	0.300
Sal común	0.300	0.300	0.300	0.300
CaCO ₃	0.995	0.989	0.975	0.960
Fosfato dicálcico	1.566	1.575	1.595	1.615
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00
Análisis calculado (%)				
EM (Mcal·kg ⁻¹)	3.265	3.265	3.265	3.265
Proteína Cruda	13.00	13.10	13.10	13.10
Calcio	0.7	0.7	0.7	0.7
Fosforo	0.6	0.6	0.6	0.6
Lisina	0.75	0.85	0.95	1.05
Treonina	0.51	0.58	0.64	0.71
Triptófano	0.15	0.15	0.17	0.19
Metionina	0.25	0.27	0.34	0.40
Arginina	0.67	0.66	0.65	0.63
Histidina	0.32	0.32	0.31	0.31
Isoleucina	0.53	0.52	0.51	0.50
Leucina	1.39	1.38	1.36	1.34
Valina	0.61	0.61	0.59	0.58
Metionina +cistina	0.47	0.49	0.55	0.61
Análisis determinado (%)				
Proteína Cruda	12.43	12.23	12.19	12.17
Calcio	0.75	0.74	0.75	0.76
Lisina	0.78	0.80	0.93	1.00
Treonina	0.53	0.56	0.61	0.69
Metionina +Cistina	0.50	0.48	0.53	0.58
Metionina	0.26	0.26	0.31	0.37
Arginina	0.68	0.64	0.62	0.61
Histidina	0.32	0.30	0.30	0.29
Isoleucina	0.51	0.49	0.47	0.46
Leucina	1.35	1.35	1.32	1.27
Valina	0.61	0.58	0.57	0.54

^A Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D₃, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg.

^B Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

Cuadro 3. Comportamiento productivo de cerdos en crecimiento, alimentados con cuatro niveles de lisina

Lisina (%)	Comportamiento productivo [‡]					
	GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	PI (kg)	PF (kg)	GCM (kg)
0.94	0.862± 0.041	2.256± 0.111	2.636± 0.084	35.600±1.679	59.501±1.181	0.322±0.019
1.01	0.841± 0.041	2.205± 0.111	2.625± 0.083	33.900±1.678	58.905±1.173	0.326±0.019
1.18	0.740± 0.040	2.058± 0.111	2.771± 0.084	35.633±1.678	55.973±1.872	0.261±0.019
1.20	0.800± 0.041	2.160± 0.113	2.720± 0.085	32.833±1.938	57.703±1.195	0.292±0.019
Efecto (R ²)						
Lineal	0.131	0.061	0.375	-	-	0.093
Cuadrático	0.268	0.110	0.422	-	-	0.317
Cúbico	0.268	0.110	0.422	-	-	0.317

^{abc} Medias con distinta letra son diferentes (p≤0.05)

[‡] En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

PC = Proteína cruda, GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, PI = Peso inicial, PF = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 4. Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento, alimentados con cuatro niveles de lisina

Lisina (%)	Características de la canal						CUP mg dL ⁻¹
	GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI (%)	PCMF (%)	
0.94	3.55 ± 0.27	6.92 ± 0.41	15.73 ± 0.87	25.65 ± 1.28	45.29± 0.67	42.01± 0.67	10.52 ± 3.36
1.01	3.30 ± 0.26	6.87 ± 0.41	14.96± 0.86	25.95 ± 1.28	45.06 ± 0.68	42.39 ± 0.68	13.16 ± 3.36
1.18	3.38 ± 0.27	7.42 ± 0.42	16.34± 0.87	24.31 ± 1.29	46.03 ± 0.67	41.91 ± 0.67	15.21 ± 3.38
1.20	3.75 ± 0.27	6.94 ± 0.42	16.40± 0.88	25.03 ± 1.30	45.85 ± 0.68	42.09± 0.68	8.64 ± 3.55
Efecto (R ²)							
Lineal	-	0.097	-	0.012	-	0.194	0.058
Cuadrático	-	0.142	-	0.053	-	0.203	0.057
Cúbico	-	0.142	-	0.053	-	0.203	0.057

^{abc} Medias con distinta letra son diferentes (p≤0.05)

‡ En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

PC = Proteína cruda, GDI= Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLI = Área del músculo *longissimus* inicial, AMLF = Área del músculo *longissimus* final, PCMI = Carne magra inicial, PCMF = Carne magra final, CUP= Concentración de urea en plasma.

Cuadro 5. Comportamiento productivo de cerdos en finalización, alimentados con cuatro niveles de lisina

Lisina (%)	Comportamiento productivo [‡]					
	GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	PI (kg)	PF (kg)	GCM (kg)
0.78	0.924± 0.034 ^a	3.091± 0.135 ^{ab}	3.338± 0.060 ^a	60.416±1.854	89.435±1.164a	0.351±0.020 ^{ab}
0.80	1.007± 0.032 ^a	3.278± 0.130 ^{ab}	3.253± 0.057 ^a	58.461±1.851	92.271±1.119a	0.381±0.019 ^{bc}
0.93	1.158± 0.033 ^b	3.522± 0.131 ^b	3.039± 0.058 ^b	56.916±2.851	97.419±1.121b	0.421±0.019 ^c
1.00	0.902± 0.034 ^a	3.041± 0.133 ^a	3.365± 0.059 ^a	56.333±1.851	88.708±1.141a	0.308±0.019 ^a
Efecto (R ²)						
Lineal	0.020	0.061	0.024	-	-	0.130
Cuadrático	0.665	0.347	0.510	-	-	0.543
Cúbico	0.666	0.347	0.514	-	-	0.544

^{abc} Medias con distinta letra son diferentes (p≤0.05)

[‡] En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

PC = Proteína cruda, GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, PI = Peso inicial, PF = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 6. Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en finalización, alimentados con cuatro niveles de lisina

Lisina (%)	Características de la canal						CUP mg dL ⁻¹
	GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI (%)	PCMF (%)	
0.78	6.90 ± 0.44	10.89 ± 0.51	24.93 ± 1.16	33.53 ± 3.19	41.80 ± 0.76	40.82 ± 0.52	6.63 ± 2.12
0.80	7.48 ± 0.42	11.17 ± 0.49	24.26 ± 1.61	36.42 ± 3.07	41.72 ± 0.73	39.72 ± 0.50	4.73 ± 2.14
0.93	6.87 ± 0.43	10.97 ± 0.50	25.29 ± 1.12	37.21 ± 3.10	42.37 ± 0.74	39.54 ± 0.51	5.45 ± 2.11
1.00	6.89 ± 0.43	10.78 ± 0.51	26.47 ± 1.13	36.09 ± 3.13	42.51 ± 0.75	40.30 ± 0.51	4.79 ± 2.12
Efecto (R ²)							
Lineal	-	0.014	-	0.010	-	0.017	0.075
Cuadrático	-	0.019	-	0.027	-	0.133	0.075
Cúbico	-	0.025	-	0.038	-	0.178	0.075

^{abc} Medias con distinta letra son diferentes (p≤0.05)

‡ En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

PC = Proteína cruda, GDI = Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLI = Área del músculo *longissimus* inicial, AMLF = Área del músculo *longissimus* final, PCMI = % Carne magra inicial, PCMF = % Carne magra final, CUP= Concentración de urea en plasma.

CAPÍTULO II

DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA ADICIONADAS CON ALCALOIDES PARA CERDAS EN CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN

**DIETAS BAJAS EN PROTEÍNA ADICIONADAS CON ALCALOIDES PARA CERDAS
EN CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN
LOW-PROTEIN DIETS SUPPLEMENTED WITH ALKALOIDS FOR GROWING-
FINISHING GILTS**

José Alfredo Martínez Aispuro², José Luis Figueroa Velasco^{1*}, José Luis Cordero Mora¹, Agustín Ruíz Flores², María Teresa Sánchez-Torres Esqueda¹, María Esther Ortega Cerrilla¹

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento productivo de cerdas en crecimiento-finalización, alimentadas con dietas bajas en proteína adicionadas con una mezcla de los alcaloides *sanguinarine*, *chelerythrine*, *protopine*, y *allocryptopine*, entre otros. Se utilizaron 20 cerdas cruzadas (LandracexYorkshirexDuroc) en un diseño completamente al azar en un arreglo factorial 2x2, en las etapas de crecimiento y finalización con peso inicial de 23.3±3.4 kg. Se evaluaron dos niveles de proteína (14.5 y 12.5% en crecimiento; y 12.0 y 9.5% en finalización) adicionadas con aminoácidos sintéticos, con o sin la inclusión de alcaloides. La inclusión de alcaloides a la dieta de crecimiento con 14.5% de PC aumentó la GDP ($p \leq 0.07$) y el CAL ($p \leq 0.04$). Sin embargo, en finalización, la GDP, el CAL, la CA, y la GCM no fueron afectados por la inclusión de alcaloides a la dieta ($P > 0.10$). En ambas etapas disminuyó la concentración de urea en plasma al reducir la PC de la dieta. El uso de alcaloides en dietas con 14.5% proteína para cerdas en crecimiento mejora el comportamiento productivo; mientras que

²Programa de Ganadería. Colegio de Posgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México. Tel. (595) 9520200 Ext. 1724, 1727. alfredo_aispuro@yahoo.com. Autor para correspondencia: Dr. José Luis Figueroa Velasco jlfigueroa@colpos.mx. ²Posgrado en Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México- Texcoco. Chapingo, Estado de México. CP 56230. Tel. y Fax (595) 9521621. aruizf1959@hotmail.com

en finalización no mejoró la respuesta productiva ni las características de la canal de las cerdas.

Palabras clave: alcaloides, dietas con baja proteína, cerdas en engorda.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the growth performance of growing-finishing gilts fed low-protein diets supplemented with a mixture of alkaloids sanguinarine, chelerythrine, protopine, allocryptopine, among others. Twenty hybrid (Landrace×Yorkshire×Duroc) gilts of 23.3 ± 3.4 kg were randomly allotted to one of four diets in a 2×2 factorial arrangement to evaluate the effect of two low-protein diets (14.5 and 12.5% in growing; 12.0 and 9.5% in finishing phase) supplemented with crystalline amino acids, with or without the inclusion of alkaloids. Inclusion of alkaloids in 14.5% CP growing diet increased average daily gain ($p\leq 0.07$) and average daily feed intake ($p\leq 0.04$). However, in finishing phase, the addition of alkaloids to low-protein diets did not affect any variable ($P>0.10$). In both growing and finishing phases plasma urea nitrogen concentration decreased when crude protein was reduced in the diet. The use of alkaloids in 14.5% CP diets for growing gilts improved growth performance. For finishing gilts, feeding low-protein diets with alkaloids did not improve growth performance and carcass characteristics.

Key words: alkaloids, low-protein diets, finishing gilts.

INTRODUCCIÓN

Los cerdos alimentados con dietas bajas en proteína (DBP) adicionadas con aminoácidos (AA) sintéticos excretan menos nitrógeno en las excretas y reducen la pérdida de energía (Le Bellego *et al.*, 2003). La disminución del contenido de proteína

cruda (PC) en dietas con base en cereal-pasta de soya evita la necesidad de eliminar el nitrógeno derivado de los excesos de AA que se observan en dietas estándar; también disminuye la necesidad de sintetizar urea y excretarla en la orina. El porcentaje de PC en dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con AA sintéticos (lisina, treonina, metionina y triptófano) se ha reducido hasta en cuatro unidades porcentuales, aunque la respuesta productiva se ve afectada para cerdos en crecimiento y finalización (Figuroa-Velasco *et al.*, 2004). Martínez-Aispuro *et al.* (2009) reportan que al disminuir la cantidad de proteína (de 14.5 a 11.5%) para cerdos en crecimiento, la ganancia diaria de peso (GDP) disminuye. El consumo de alimento (CAL) no es afectado; mientras que la conversión alimenticia (CA) se incrementa a medida que se reduce el nivel de proteína. En la etapa de finalización, el CAL y la CA aumentan, mientras que la GDP y el área del músculo *longissimus* (AML) se reducen conforme disminuye la proteína de la dieta (de 14 hasta 9.5%; Figuroa *et al.*, 2008). Sin embargo, se observa un efecto positivo en la concentración de urea en plasma en ambas etapas, notándose una reducción conforme la cantidad de proteína en la dieta es menor (Figuroa *et al.*, 2008; Martínez-Aispuro *et al.*, 2009). Por ello, se requieren alternativas que ayuden a optimizar el uso de la proteína disponible.

El uso de aditivos derivados de extractos vegetales (como los alcaloides) representa una alternativa. Los alcaloides *sanguinarine* y *chelerythrine*, son conocidos por sus funciones antibacteriales (Eisenberg *et al.*, 1991; Colombo y Bosisio, 1996; Newton *et al.*, 2002), antiinflamatorias (Lenfeld *et al.*, 1981; Tanaka *et al.*, 1993) e inmunoregulatoras (Agarwal *et al.*, 1991; Chaturvedi *et al.*, 1997).

El *sanguinarine* ha sido incorporado a dietas para cerdos en engorda para reducir la degradación de AA, incrementar el consumo de alimento y como promotor de

crecimiento (Tschirner *et al.*, 2003); para promover el consumo de alimento en cerdos por efecto de la modulación triptófano-serotonina (Mellor, 2001); para mejorar la retención de proteína mediante la reducción de la descarboxilación de AA aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptófano), lo que aparentemente se debe a la inactivación térmica (Drsata *et al.*, 1996). Además, la descarboxilación de los AA aromáticos puede resultar en la producción de aminas biogénicas, por lo que una reducción de estos compuestos mejora la disponibilidad de nutrimentos esenciales (Roth y Kirchgessner, 1998) y reduce problemas de salud al animal.

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el comportamiento productivo, las características de la canal y la concentración de urea en plasma de cerdas en engorda (crecimiento-finalización) alimentadas con dietas bajas en proteína adicionadas con AA sintéticos y alcaloides vegetales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en las instalaciones porcícolas de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado en Texcoco, Estado de México, a una altitud de 2,250 m. El clima es de tipo Cb (Wo) (W) (i') g (García, 1988).

Tratamientos. Los tratamientos estudiados estuvieron compuestos por la combinación de dos niveles bajos de proteína adicionadas con AA sintéticos, con o sin la inclusión de 2 kg ton⁻¹ de un compuesto comercial que contenía una mezcla de los alcaloides *sanguinarine*, *chelerytrine*, *protopine*, y *allocryptopine*, entre otros, extraídos de *Macleaya cordata*, de la familia *Papaveraceae*. Las dietas fueron formuladas con el comando *Solver* de Excel (Microsoft Excel, 2007) para cubrir o exceder los requerimientos sugeridos por NRC (1998), excepto para proteína cruda (PC). Los

tratamientos en crecimiento fueron: T1) dieta con 14.5% de PC; T2) dieta con 14.5% de PC e inclusión de alcaloides; T3) dieta con 12.5% de PC; T4) dieta con 12.5% de PC e inclusión de alcaloides. En finalización: T1) dieta con 12% de PC; T2) dieta con 12% de PC e inclusión de alcaloides; T3) dieta con 9.5% de PC; T4) dieta con 9.5% de PC e inclusión de alcaloides. Las dietas fueron formuladas con base en sorgo-pasta de soya, y adicionadas con AA sintéticos (L-Lisina·HCl, DL-Metionina, L-Triptófano y L-Treonina) para cubrir los niveles recomendados por el NRC (1998); el nivel de energía metabolizable ($3.265 \text{ Mcal kg}^{-1}$) se mantuvo constante para todos los tratamientos y etapas (Cuadros 1 y 2).

Animales. Se utilizaron 20 cerdas híbridas (Landrace×Yorkshire×Duroc) en las etapas de crecimiento y finalización con un peso inicial de $23.3 \pm 3.4 \text{ kg}$. Se alojaron en corrales individuales equipados con comedero tipo tolva y bebedero de chupón. Cada tratamiento tuvo 5 repeticiones, 1 animal por repetición. El alimento y el agua se ofrecieron a libre acceso.

Variables de respuesta. Las variables de respuesta fueron: comportamiento productivo (consumo de alimento, CAL; ganancia diaria de peso, GDP; conversión alimenticia, CA; ganancia diaria de carne magra, GCM; y peso vivo final de los cerdos, PVF); características de la canal (grasa dorsal {GD} inicial {GDI} y final {GDF}; porcentaje de carne magra {PCM} inicial {PCMI} y final {PCMF}; área del músculo *longissimus* {AML} inicial {AMLI} y final {AMLF}); y concentración de urea en plasma (CUP) al final de cada etapa del experimento.

Las variables GDP y CAL se midieron cada 7 días y con esta información se calculó la conversión alimenticia. La GD y AML se midieron utilizando un ultrasonido de tiempo real SonoVet 600 marca MEDISON (Medison, Inc., Cypress, CA, USA) al inicio y al final de cada etapa. Con estos datos y con los pesos inicial y final se estimó GCM utilizando la ecuación del NPPC (National Pork Producers Council, 1991), y el PCM usando parte de la misma ecuación.

Al final de cada etapa se obtuvieron muestras de sangre de la vena cava anterior con tubos *vacutainer* con heparina, que se colocaron en hielo hasta centrifugarse a 2,500 rpm por 20 min para separar el plasma del paquete celular. El plasma se transfirió a tubos de polipropileno que luego se guardaron en un congelador a -20°C.

Análisis químicos. La proteína cruda fue determinada por el método de macrokjeldahl (AOAC, 1990). La concentración de calcio y fósforo fue determinada con un espectrofotómetro de absorción atómica (Karl *et al.*, 1979; Perkin Elmer 4000, serie Lambda 2, Perkin Elmer Inc., Norwalk, CT, USA). La determinación de la urea en plasma se realizó de acuerdo a la metodología planteada por Chaney y Marbach (1962).

Diseño y análisis estadístico. Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x2 (2 niveles de PC y 2 niveles de alcaloides) para cada etapa, con el peso inicial como covariable. Se realizó la comparación de medias con contrastes específicos para todas las variables en las etapas evaluadas. Para crecimiento fueron los siguientes: dieta con 14.5% proteína vs. dieta con 12.5% proteína; dieta con 14.5% proteína vs. dieta con 14.5% proteína más alcaloides; dieta con 12.5% proteína vs. dieta con 14.5% proteína más alcaloides; dietas sin alcaloides vs. dietas con alcaloides. Para la etapa de finalización los contrastes fueron: dieta con 12% proteína vs. dieta con

9.5% proteína; dieta con 12% proteína vs. dieta con 12% proteína más alcaloides; dieta con 9.5% proteína vs. dieta con 9.5% proteína más alcaloides; dietas sin alcaloides vs. dietas con alcaloides. Para determinar si hubo efecto de tratamiento se utilizó el valor $P \leq 0.1$. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa *Statistical Analysis System* (SAS, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento

La inclusión de los alcaloides a la dieta con 14.5% de PC (Cuadro 3) aumentó la GDP ($p \leq 0.07$) y el CAL ($p \leq 0.04$), aunque el mayor consumo no se reflejó en una mejor CA, ya que no se detectaron diferencias significativas ($p > 0.10$) para esta variable. Al adicionar los alcaloides a las dietas con 12.5% no se observó mejora en las variables productivas ($p > 0.10$). La GDP ($p \leq 0.05$), CA ($p \leq 0.10$) y GCM ($p \leq 0.05$) fueron afectadas negativamente por la reducción de PC en la dieta.

El AML final se redujo ($P < 0.10$) al disminuir la PC en las dietas (Cuadro 4). La CUP disminuyó ($P < 0.10$) cuando se redujo el nivel de PC en la dieta de 14.5 a 12.5%. El uso de los alcaloides no influyó en las características de la canal ni la CUP ($P > 0.10$) tanto en las cerdas alimentadas con 14.5% como en las de 12.5% de PC.

En este experimento se utilizaron dos niveles de proteína (14.5 y 12.5%) para la etapa de crecimiento, ambos por debajo de lo recomendado por el NRC (1998). Estudios previos en los que se disminuyó la PC de la dieta hasta en cuatro unidades porcentuales con la adición de AA sintéticos para cerdos en crecimiento, se obtuvieron resultados similares en las variables productivas (Figuroa *et al.*, 2003; Figuroa-Velasco *et al.*, 2004). Sin embargo, en otros estudios en que se disminuyó más de 3.5

unidades porcentuales, se afectaron algunas de las variables productivas. Tuitoek *et al.* (1997) reportaron que no encontraron diferencias significativas en las variables productivas; resultados parecidos a los observados cuando se alimentaron cerdos con dietas reducidas hasta en 3.6 unidades porcentuales de PC. Saldaña *et al.* (2009), al reducir en cuatro unidades porcentuales el nivel de PC encontraron que no se afectó el CAL pero si la GDP y la CA en cerdos en crecimiento.

Los resultados del presente estudio confirman que la respuesta productiva se afecta con la reducción de PC en más de 3.5 unidades porcentuales. Además, el uso de alcaloides en la dieta con 12.5% de PC no mejoró las variables productivas, debido probablemente a la limitada concentración de AA. Sin embargo, cuando se utilizaron alcaloides en la dieta con 14.5% de PC, la GDP y el CAL pudieron mejorarse debido a que la concentración de PC fue suficiente para que estos compuestos manifestaran una mejor utilización de los AA y se hubiera favorecido el estatus nutricional. Esto coincide con los resultados observados por Tschirner *et al.* (2003), quienes al adicionar alcaloides (*sanguinarine*) a dietas para cerdos en engorda, reportaron una reducción en la degradación de AA, incremento del CAL y actividad como promotor de crecimiento. Además, Vieira *et al.* (2008), al adicionar *sanguinarine* a dietas bajas en proteína para pollos de engorda, observaron que el impacto de reducir la PC en la dieta fue contrarrestado por el uso del aditivo, ya que las variables productivas no fueron afectadas ($p>0.05$) por la reducción de la PC.

El grosor de la GD final y la proporción de carne magra en la canal (PCM final) no fueron afectadas al reducir la proteína cruda de la dieta de 14.5 hasta 12.5%, lo cual coincide con lo encontrado por Figueroa *et al.* (2002, 2003), quienes redujeron la PC de 16 hasta 11% en dietas maíz-pasta de soya, y por Martínez-Aispuro *et al.* (2009) al

disminuir la PC de 16.5 hasta 11.5% en dietas sorgo-pasta de soya. Sin embargo, Le Bellego *et al.* (2001) y Gómez *et al.* (2002) difieren de lo anterior, ya que al reducir la PC entre 3.6 y 5.0 unidades porcentuales, observaron un incremento en el grosor de la GD en cerdos en crecimiento, debido posiblemente a una mayor retención de energía en forma de grasa con el uso de dietas bajas en proteína.

Finalización

La GDP, el CAL, la CA, y la GCM (Cuadro 5) no se afectaron por la inclusión de alcaloides en las dietas ($P>0.10$). La reducción del contenido de PC en las dietas afectó la GDP ($P\leq 0.06$) y el CAL ($P\leq 0.05$); sin embargo, esto no se reflejó en una mayor CA. La GCM se redujo ($P\leq 0.01$) al utilizar dietas con 12.5% de PC, igual que en la etapa de crecimiento.

Las GD final, PCM final y AML final no fueron afectadas ($P>0.10$) por la adición de alcaloides a la dieta (Cuadro 6). El AML final se redujo ($P\leq 0.01$) al disminuir la PC en las dietas, pero no afectó ($P>0.10$) la GD final ni el PCM final ($P>0.10$).

La respuesta nula con el uso de alcaloides durante la etapa de finalización probablemente se debe a que existe un nivel crítico en la reducción de proteína para que estos compuestos favorezcan el balance de AA en el tubo digestivo, por lo que si la PC se reduce por debajo de ese nivel no existe respuesta al uso de alcaloides. Vieira *et al.* (2008) realizaron un trabajo similar en pollos de engorda en el que adicionaron alcaloides a dietas bajas en proteína. Los pollos alimentados con un menor nivel de PC con la inclusión de alcaloides no presentaron diferencias significativas en la respuesta productiva comparada con aquellos que recibieron las dietas con mayor contenido de PC; sin embargo, al adicionar alcaloides al máximo nivel de PC las aves mejoraron las variables productivas. Esto probablemente es debido a que el uso de alcaloides en

dietas bajas en proteína tiene un nivel óptimo que debe determinarse en investigaciones futuras. La GD final y el PCM final de la canal no se afectaron por la disminución de la PC en la dieta de cerdos en finalización. Se ha encontrado que al disminuir en más de 6 unidades porcentuales la PC en la dieta no hay diferencias para estas variables en cerdos (Figuroa *et al.*, 2004; Zamora *et al.*, 2009). La reducción del AML final al disminuir el nivel de PC probablemente se debe a que se requiere mayor concentración de algunos AA para la síntesis de proteína muscular.

Urea en plasma

La concentración de urea en plasma (CUP) disminuyó ($P \leq 0.10$) cuando se redujo el nivel de PC de 14.5 a 12.5% PC en la etapa de crecimiento y en la etapa de finalización de 12.0 a 9.5% PC; mientras que la CUP no se afectó ($P > 0.10$) por el uso de alcaloides. Para ambas etapas, la disminución de urea indica que la excreción de nitrógeno es menor al reducir la PC de la dieta; sin embargo, se deben adicionar AA sintéticos para no afectar la síntesis de proteína o provocar desequilibrios entre AA (Zervas y Zijlstra, 2002). Resultados previos a esta investigación (Figuroa *et al.*, 2002; Trujillo-Coutiño *et al.*, 2007; Martínez-Aispuro *et al.*, 2009) indican que al reducir la proteína de la dieta disminuye la concentración de urea en plasma, lo cual indica una mayor eficiencia en la utilización del nitrógeno.

CONCLUSIONES

La adición de alcaloides a dietas con 14.5% de proteína cruda para cerdos en crecimiento mejora el comportamiento productivo; sin embargo, debajo de ese nivel no hubo ninguna mejora. Para cerdos en finalización alimentados con dietas bajas en proteína, la adición de alcaloides no mejora la respuesta productiva.

BIBLIOGRÁFIA

- Agarwal, S., M. A. Reynolds, S. Pou, D. E. Peterson, J. A. Charon, and J. B. Suzuki. 1991. The effect of sanguinarine on human peripheral blood neutrophil viability and functions. *Oral Microb. and Immu.* 6: 51-61.
- Association of Analytical Chemists (AOAC). 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th Edn. Arlington, VA, USA. Pp. 128.
- Chaney, A. L., and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132.
- Chaturvedi, M. M., A. Kumar, B. G. Darnay, G. B. N. Chainy, S. Agarwal, and B. B. Agarwal. 1997. Sanguinarine (pseudochelerythrine) is a potent inhibitor of NP-kappa B activation, I kappa B alpha phosphorylation, and degradation. *J. Biol. Chem.* 272: 30129-30134.
- Colombo, M. L., and E. Bosisio. 1996. Pharmacological activities of *Chelidonium majus* L. (Papaveraceae). *Pharmacol. Res.* 33: 127-134.
- Drsata, J., J. Ulrichova, and D. Walterova. 1996. Sanguinarine and chelerythrine as inhibitors of aromatic amino acid decarboxylase. *J. Enzyme Inhib.* 10:231-237.
- Eisenberg, A. D., D. A. Young, J. Fan-Hsu, and L. M. Spitz. 1991. Interaction of sanguinarine and zinc on oral streptococci and actinomyces species. *Caries Res.* 25: 185-190.
- Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, R. S. Gómez, and R. M. Diedrichsen. 2002. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diet or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 80: 2911-2919.

- Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, and R. M. Diedrichsen. 2003. Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine, and valine. *J. Anim. Sci.* 81: 1529-1537.
- Figuroa-Velasco, J. L., M. Cervantes-Ramírez, J. M. Cuca-García, y M. Méndez-López. 2004. Respuesta de cerdos en crecimiento y finalización a dietas con baja proteína y energía. *Agrociencia* 38: 383-394.
- Figuroa, J. L., M. Martínez, J. E. Trujillo, V. Zamora, J. L. Cordero, and M. T. Sánchez-Torres. 2008. Plasma urea nitrogen concentration and growth performance of finishing pigs fed sorghum-soybean meal, low-protein diets. *J. Appl. Anim. Res.* 33(1): 7-12.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). 4ª edición. México, D. F. 217 p.
- Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller, and H. Y. Chen. 2002. Growth performance, diet apparent digestibility, and plasma metabolite concentrations of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J. Anim. Sci.* 80: 644-653.
- Karl, R. F., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. Funk, y J. H. Corad. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. 2a Ed. Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Florida. Gainesville. Florida, USA.
- Le Bellego, L., J. van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. 2001. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 1259-1271.

- Le Bellego, L., C. Relandeau, y S. Van Cauwenberghe. 2003. Requerimientos de treonina para cerdos. Beneficios del aporte de L-treonina. Informe técnico No. 10. Ajinomoto Animal Nutrition. www.lysine.com. Accesado el 23 de Febrero del 2013.
- Lenfeld, J., M. Kroutil, E. Marsalek, J. Slavik, V. Preininger, and V. Simanek. 1981. Antiinflammatory activity of quaternary benzophenanthridine alkaloids from *Chelidonium majus*. *Planta Med.* 43: 161-165.
- Martínez-Aispuro, M., J. L. Figueroa-Velasco, J. E. Trujillo-Coutiño, V. Zamora-Zamora, J.L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres, y L. Reyna-Santamaría. 2009. Respuesta productiva y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo–pasta de soya con baja proteína. *Vet. Méx.* 40: 27-38.
- Mellor, S. 2001. Natural appetisers from plants. *Feed Mix* 9: 21-31.
- Microsof Excel. 2007. Microsoft Corporation. 1985- 2001. USA. Redmond WA, USA.
- Newton, S. M., C. Lau, S. S. Gurcha, G. S. Besra, and C. W. Wright. 2002. The evaluation of forty plant species for *in vitro* antimycobacterial activites; isolation of active constituents from *Psoralea corylifolia* and *Sanguinaria canadensis*. *J. Ethnopharmacol.* 79: 57-67.
- NPPC (National Pork Producers Council). 1991. Procedures to evaluate market hogs. 3rd ed. National Pork Producers Council. Des Moines. IA, USA. Pp. 16 .
- NRC (National Research Council). 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th ed. National Academy Press, Washington, D. C.
- Roth, F. X., and M. Kirchgessner. 1998. Organic acids as feed additives for young pigs: nutritional and gastrointestinal effects. *J. Anim. Feed Sci.* 8: 25–33.

- Saldaña, E., J. Figueroa, V. Zamora, M. Sánchez, y J. Cordero. 2009. Respuesta de porcinos en crecimiento alimentados con dietas a base de sorgo-pasta de soya con bajo nivel de proteína y suplementadas con manano-oligosacáridos o nucleótidos. *Rev. Fac. Agron.* 35: 85-93.
- Statistical Analysis System (SAS). 2010. The SAS system for Windows V8. SAS 9.3 Institute, Cary, NC, USA.
- Tanaka, T., K. Metori, S. Mineo, M. Hirotsu, T. Furuya, and S. Kobayashi. 1993. Inhibitory effects of berberine-type alkaloids on elastase. *Planta Medica* 59: 200-202.
- Trujillo-Coutiño, J. E., J. L. Figueroa-Velasco, M. Martínez- Aispuro, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres, M. Cuca-García, y M. Cervantes-Ramírez. 2007. Concentración de urea en plasma y respuesta productiva de cerdos en iniciación alimentados con dietas sorgo-pasta de soya bajas en proteína. *Agrociencia* 41: 597-607.
- Tuitoeck, K., L. G. Young, F. M. de Lange, and B. J. Kerr. 1997. The effect of reducing excess dietary amino acids on growing-finishing pig performance: an evaluation of the ideal protein concept. *J. Anim. Sci.* 75: 1575-1583.
- Tschirner, K., A. Susenbeth, and S. Wolfram. 2003. Influence of Sangrovit® supplementation on nitrogen balance and feed intake in growing pigs. 9. Symposium Vitamine und Zusatzstoffe in der Ernährung von Mensch und Tier. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft. Disponible en: www.fal.de.
Accesado el 1 mayo de 2012.

- Vieira, S. L., J. Berres, R. N. Reis, O. A. Oyarzábal, J. B. L. Coneglian, D. M. Freitas, J. E. M. Peña, and C. A. Torres. 2008. Studies with sanguinarine like alkaloids as feed additive in broiler diets. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 10: 67-71.
- Zamora, V., J. L. Figueroa, J. L. Cordero, M. Rugerio, L. Reyna y M. T. Sánchez-Torres. 2009. Adición de glucomananos a dietas con baja proteína a base de sorgo-pasta de soya para cerdos en crecimiento y finalización. *Rev. Cient. FCV-LUZ* 20: 274-283.
- Zervas, S., and R. T. Zijlstra. 2002. Effects of dietary protein and fermentable fiber on nitrogen excretion patterns and plasma urea in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 3247-3256.

Cuadro 1. Composición de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento.

INGREDIENTE (%)	Tratamiento			
	T1	T2	T3	T4
Sorgo	81.590	81.164	86.354	87.016
Pasta de Soya	14.700	14.794	8.510	8.364
Aceite de soya	0.861	0.995	1.310	1.102
L-Lisina	0.453	0.452	0.471	0.473
DL-Metionina	0.023	0.023	0.053	0.052
L-Triptófano	0.001	0.000	0.217	0.219
L-Treonina	0.109	0.109	0.202	0.202
Premezcla de vitaminas ^A	0.150	0.150	0.150	0.150
Premezcla de minerales ^B	0.150	0.150	0.150	0.150
Alcaloides	0.000	0.200	0.000	0.200
Sal común	0.300	0.300	0.300	0.300
CaCO ₃	0.874	0.871	0.669	0.829
Fosfato Dicálcico	0.788	0.791	1.615	0.943
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Análisis calculado (%)				
EM (Mcal/kg)	3.265	3.265	3.265	3.265
Proteína cruda	14.50	14.50	12.50	12.50
Ca	0.6	0.6	0.60	0.60
P	0.48	0.48	0.48	0.48
Lisina	0.95	0.95	0.95	0.95
Treonina	0.61	0.61	0.61	0.61
Triptófano	0.17	0.17	0.17	0.17
Metionina	0.25	0.25	0.25	0.25
Arginina	0.78	0.79	0.60	0.60
Histidina	0.36	0.36	0.30	0.30
Isoleucina	0.59	0.59	0.49	0.49
Leucina	1.49	1.49	1.34	1.34
Valina	0.68	0.68	0.57	0.57
Metionina+cistina	0.49	0.49	0.46	0.46
Análisis determinado %				
Proteína cruda	14.60	14.70	12.63	12.47
Ca	0.63	0.60	0.67	0.65
P	0.44	0.46	0.48	0.45
COSTO \$ kg ⁻¹ ^C	4.49	4.50	4.64	4.88

^A Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg.

^B Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

^C Calculado con base al precio de los ingredientes vigentes en julio de 2011.

Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales para cerdos en finalización.

INGREDIENTE (%)	Tratamiento			
	T1	T2	T3	T4
Sorgo	88.658	88.231	94.037	94.037
Pasta de Soya	7.611	7.704	0.000	0.000
Aceite de soya	0.735	0.869	1.628	1.866
L-Lisina	0.406	0.400	0.421	0.421
DL-Metionina	0.003	0.004	0.041	0.041
L-Triptófano	0.033	0.037	0.306	0.306
L-Treonina	0.108	0.108	0.223	0.223
Premezcla de vitaminas ^A	0.150	0.150	0.150	0.150
Premezcla de minerales ^B	0.150	0.150	0.150	0.150
Alcaloides	0.000	0.200	0.000	0.200
Sal común	0.400	0.400	0.400	0.400
CaCO ₃	0.967	0.965	0.826	0.943
F. Dicalcico	0.779	0.783	1.818	1.126
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Análisis Calculado (%)				
EM (Mcal/kg)	3.265	3.265	3.278	3.298
PC	12.00	12.00	9.50	9.50
Ca	0.50	0.50	0.60	0.60
P	0.45	0.45	0.50	0.50
Lisina	0.75	0.75	0.75	0.75
Treonina	0.51	0.51	0.51	0.51
Triptófano	0.14	0.14	0.14	0.14
Metionina	0.20	0.20	0.20	0.20
Arginina	0.58	0.58	0.36	0.36
Histidina	0.29	0.29	0.22	0.22
Isoleucina	0.48	0.48	0.35	0.35
Leucina	1.33	1.33	1.14	1.14
Valina	0.56	0.56	0.43	0.43
Metionina+cistina	0.40	0.40	0.36	0.36
Análisis determinado %				
Proteína cruda	11.95	12.20	9.64	9.73
Ca	0.53	0.55	0.52	0.59
P	0.45	0.42	0.49	0.48
COSTO \$ kg ⁻¹ ^C	4.42	4.44	4.89	4.93

^A Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg.

^B Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

^C Calculado con base en el precio de los ingredientes vigentes en julio de 2011.

Cuadro 3. Comportamiento productivo de cerdas en crecimiento, alimentadas con dos niveles de proteína y dos niveles de alcaloides en dietas con baja proteína.

TRAT	PC (%)	ALCALOIDES (%)	Comportamiento productivo [‡]					
			GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	PI (kg)	PF (kg)	GCM (kg)
1	14.5	0	0.654±0.052	1.476±0.077	2.279±0.143	22.400±1.679	46.159±1.901	0.299±0.022
2	14.5	0.2	0.801±0.051	1.729±0.076	2.177±0.140	25.000±1.678	51.946±1.876	0.340±0.022
3	12.5	0	0.600±0.059	1.493±0.088	2.566±0.162	22.600±1.938	44.802±2.164	0.256±0.025
4	12.5	0.2	0.629±0.051	1.504±0.077	2.397±0.141	25.150±1.678	45.941±1.887	0.262±0.023
Nivel de significancia estadística de los contrastes								
14.5% PC vs 12.5% PC			0.05	0.21	0.10		0.08	0.02
14.5% PC vs 14.5% PC + alcaloides			0.07	0.04	0.62		0.06	0.23
12.5% PC vs 12.5% PC + alcaloides			0.72	0.93	0.45		0.70	0.86
sin alcaloides vs. con alcaloides			0.15	0.15	0.40		0.13	0.37

[‡] En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, PI = Peso inicial, PF = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 4. Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdas en crecimiento, alimentadas con dos niveles de proteína y dos niveles de alcaloides en dietas con baja proteína.

TRAT	PC (%)	ALCALOIDES (%)	Características de la canal						Urea mg dL ⁻¹
			GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI (%)	PCMF (%)	
1	14.5	0	1.85±0.21	3.74±0.37	10.54±0.59	19.74±1.11	47.24±1.02	43.89±0.50	10.17±1.45
2	14.5	0.2	2.17±0.20	4.56±0.36	10.87±0.58	22.12±1.10	44.68±1.01	43.18±0.49	10.72±1.41
3	12.5	0	2.41±0.24	3.87±0.42	10.78±0.67	18.57±1.26	45.43±1.17	43.38±0.57	4.76±1.75
4	12.5	0.2	1.91±0.21	3.79±0.36	10.54±0.59	18.47±1.10	45.52±1.02	42.98±0.49	5.74±1.64
Nivel de significancia estadística de los contrastes									
14.5% PC vs 12.5% PC					0.40		0.05	0.49	0.01
14.5% PC vs 14.5% PC + alcaloides					0.15		0.16	0.34	0.79
12.5% PC vs 12.5% PC + alcaloides					0.87		0.95	0.61	0.71
sin alcaloides vs. con alcaloides					0.38		0.37	0.33	0.64

‡ En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDI= Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLI = Área del músculo *longissimus* inicial, AMLF = Área del músculo *longissimus* final, PCMI = Porcentaje de carne magra inicial, PCMF = Porcentaje de carne magra final.

Cuadro 5. Comportamiento productivo de cerdas en finalización, alimentadas con dos niveles de proteína y dos niveles de alcaloides en dietas con baja proteína.

TRAT	PC (%)	ALCALOIDES (%)	Comportamiento productivo [‡]					
			GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	PI (kg)	PF (kg)	GCM (kg)
1	12.0	0	0.815±0.043	2.716±0.144	3.389±0.173	46.159±1.901	76.294±1.849	0.305±0.015
2	12.0	0.2	0.849±0.040	2.601±0.133	3.072±0.160	51.946±1.876	80.949±2.080	0.306±0.014
3	9.5	0	0.718±0.049	2.193±0.164	3.094±0.197	44.802±2.164	77.407±2.172	0.226±0.017
4	9.5	0.2	0.737±0.036	2.376±0.121	3.227±0.146	45.941±1.887	77.325±1.754	0.234±0.013
Nivel de significancia estadística de los contrastes								
12.0% PC vs 9.5% PC			0.06	0.05	0.73		0.53	0.01
12.0% PC vs 12.0% PC + alcaloides			0.54	0.54	0.18		0.15	0.98
9.5% PC vs 9.5% PC + alcaloides			0.75	0.37	0.58		0.98	0.71
sin alcaloides vs. con alcaloides			0.52	0.81	0.58		0.33	0.78

[‡] En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, PI = Peso inicial, PF = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 6. Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdas en finalización, alimentadas con dos niveles de proteína y dos niveles de alcaloides en dietas con baja proteína.

TRAT	PC (%)	ALCALOIDES (%)	Características de la canal						Urea mg dL ⁻¹	
			GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI (%)	PCMF (%)		
1	12.0	0	3.74±0.37	8.53±0.85	19.74±1.11	32.93±1.77	43.89±0.50	41.04±0.77	12.77±2.02	
2	12.0	0.2	4.56±0.36	10.34±0.79	22.12±1.10	34.67±1.64	43.18±0.49	40.79±0.70	12.85±2.17	
3	9.5	0	3.87±0.42	10.73±0.98	18.57±1.26	28.07±2.02	43.38±0.57	39.39±0.95	5.98±2.51	
4	9.5	0.2	3.79±0.36	10.20±0.73	18.47±1.10	27.37±1.50	42.98±0.49	40.60±0.76	7.51±2.24	
Nivel de significancia estadística (P) de los contrastes										
12.0% PC vs 9.5% PC					0.32		0.01		0.12	0.04
12.0% PC vs 12.0% PC + alcaloides					0.13		0.46		0.81	0.97
9.5% PC vs 9.5% PC + alcaloides					0.65		0.77		0.19	0.63
sin alcaloides vs. con alcaloides					0.45		0.76		0.24	0.71

‡ En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDI= Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLI = Área del músculo *longissimus* inicial, AMLF = Área del músculo *longissimus* final, PCMI = Porcentaje de carne magra inicial, PCMF = Porcentaje de carne magra final.

CAPÍTULO III

EVALUACIÓN DE XILANASAS EN DIETAS TÍPICAS SORGO-PASTA DE SOYA EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CERDOS EN INICIACIÓN

EVALUACIÓN DE XILANASAS EN DIETAS TÍPICAS SORGO-PASTA DE SOYA EN EL COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CERDOS EN INICIACIÓN

José Alfredo Martínez Aispuro³, José Luis Figueroa Velasco^{1*}, José Luis Cordero Mora¹, Agustín Ruíz Flores², María Teresa Sánchez-Torres Esqueda¹, María Esther Ortega Cerrilla¹

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el efecto de incluir xilanasas en dietas bajas en energía metabolizable (EM) y proteína cruda (PC) para cerdos en la etapa de iniciación en parámetros productivos y características de la canal. Se realizaron dos experimentos, en el primero se evaluaron 4 niveles de EM con o sin la inclusión de xilanasas (3.350 Mcal kg⁻¹, 3.350 Mcal kg⁻¹ + xilanasas, 3.315 Mcal kg⁻¹+ xilanasas, 3.280 Mcal kg⁻¹ + xilanasas y 3.245 Mcal kg⁻¹ + xilanasas). En el experimento 2 se evaluaron dos niveles de PC (18 y 20 %) y 2 niveles de EM (3.350 y 3.245 Mcal) con o sin la inclusión de xilanasas. En el experimento 1 se observó que la suplementación con xilanasas compensa la reducción de EM en 105 kcal con respecto al NRC (2012), debido a que tanto los valores para el comportamiento productivo como características de la canal no fueron afectados por la reducción de energía ($p \geq 0.1$). En el experimento 2, tanto el comportamiento productivo como las características de la canal no fueron afectados por la reducción de EM y PC ($p \geq 0.1$). La adición de xilanasas en dietas con base en sorgo-pasta de soya para cerdos en iniciación mantiene la respuesta

³Programa de Ganadería. Colegio de Posgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México. Tel. (595) 9520200 Ext. 1724, 1727. alfredo_aispuro@yahoo.com. Autor para correspondencia: Dr. José Luis Figueroa Velasco jfigueroa@colpos.mx. ²Posgrado en Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México- Texcoco. Chapingo, Estado de México. CP 56230. Tel. y Fax (595) 9521621. aruizf1959@hotmail.com

productiva y las características de la canal en comparación con dietas con EM y proteína estándar.

Palabras clave: xilanasas, energía metabolizable, proteína cruda, polisacáridos no almidonosos.

EVALUATION OF XYLANASES IN STANDARD SORGHUM-SOYBEAN MEAL DIETS ON GROWTH PERFORMANCE OF NURSERY PIGS

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the growth performance of nursery pigs fed low-crude protein (CP) and low-metabolizable energy (ME) diets supplemented with xylanases in two experiments. In experiment 1, four ME levels were evaluated with or without the addition of xylanases (3.350 Mcal kg⁻¹, 3.350 Mcal kg⁻¹ + xylanases, 3.315 Mcal kg⁻¹ + xylanases, 3.280 Mcal kg⁻¹ + xylanases and 3.245 Mcal kg⁻¹ + xylanases). In experiment 2, two levels of CP (18 and 20%) and two levels of ME (3.350 and 3.245 Mcal) with or without the inclusion of xylanases were evaluated. In Experiment 1 it was found that supplementation with xylanases compensates the reduction of 105 kcal of ME with respect to NRC (2012) recommendation, since values for both the productive performance and carcass characteristics were not affected by the reduction of energy level ($p>0.1$). In experiment 2, growth performance and carcass characteristics were not affected by the reduction of EM and PC ($p>0.1$). Xylanases supplementation in diets based on sorghum-soybean meal for nursery pigs maintains the productive performance and carcass characteristics compared to pigs fed diets with standard CP and ME.

Keywords: xylanases, metabolizable energy, crude protein, non-starch polysaccharides.

INTRODUCCIÓN

El uso de xilanasas en cerdos de engorda mejora los parámetros productivos en dietas con alto contenido de polisacáridos no almidonosos (avena, cebada y trigo; Cadogan *et al.*, 2003; Barrera *et al.*, 2004; Kiarie *et al.*, 2007; Cowieson y Bedford, 2009) debido a que se mejora la digestibilidad y disponibilidad de nutrimentos como la energía, proteína y aminoácidos (AA) que existen dentro de las células, mediante la ruptura de la pared celular de los granos formados por polisacáridos no almidonosos (PNA), integrados por moléculas complejas que actúan como una barrera física en el tracto intestinal, lo que facilita la acción de las enzimas endógenas, lugar donde se encapsulan azúcares, nitrógeno y AA, acelerando la hidrólisis de PNA, disminuyendo la viscosidad intestinal y obteniendo una cantidad extra de energía y AA, lo que permite que se produzca una digestión más rápida y completa (Żyła *et al.*, 1999; Danicke *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2000; Bedford, 2000; Adeola y Bedford, 2004; Diebold *et al.*, 2005; Choct, 2006; Wayengo *et al.*, 2008).

Existen reportes en donde el uso de xilanasas mejora la utilización de la energía en cerdos (Yin *et al.*, 2000; Diebold *et al.*, 2004; Olukosi *et al.*, 2007; Nortey *et al.*, 2007), debido a que se ha observado un incremento en la producción de ácidos grasos volátiles y mayor disponibilidad de mono y polisacáridos en el intestino después de utilizar xilanasas en cerdos (Li *et al.*, 1996; van der Meulen *et al.*, 2001).

La reducción de la digestibilidad de compuestos nitrogenados en monogástricos se asocia con la presencia de PNA debido al incremento en la pérdida de N endógeno y

microbial, baja disponibilidad de N en la fibra e incremento en la excreción del N atrapado en las fibras de la digesta. La inclusión de xilanasas incrementa la digestibilidad de AA y N en dietas con base en trigo en dietas para cerdos (Barrera *et al.*, 2004; Nortey *et al.*, 2007, 2008). Es posible que las xilanasas mejoren la utilización de N y AA indirectamente por el incremento en el acceso de las enzimas digestivas a la proteína dietaria (Tahir *et al.*, 2008).

Aunque se ha demostrado que el maíz y el sorgo tienen una variabilidad en la digestibilidad de energía, PC y a AA similar a la del trigo, avena y cebada (Leeson *et al.*, 1993; Collins *et al.*, 1998), no se encontraron estudios del uso de xilanasas en dietas de cerdos con base en sorgo.

Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue determinar si la adición de xilanasas mejora la respuesta productiva, características de la canal y reduce la concentración de urea en plasma de cerdos en iniciación, alimentados con dietas a base en sorgo-pasta de soya, reduciendo el nivel de energía y/o proteína.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, ubicada en Texcoco, Estado de México, a una altitud de 2250 m. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 15.2°C y precipitación media anual de 644.8 mm (García, 1988). Se realizaron dos experimentos para observar el efecto de las xilanasas en dietas a base de sorgo y soya en cerdos en etapa de iniciación.

Experimento 1. Se evaluaron cuatro niveles de energía metabolizable (EM) con la adición de xilanasas de acuerdo a la cantidad señalada por la casa comercial (Trouw

Nutrition®) para la etapa de iniciación (3.350 Mcal kg⁻¹, 3.350 Mcal kg⁻¹ + xilanasas, 3.315 Mcal kg⁻¹+ xilanasas, 3.280 Mcal kg⁻¹ + xilanasas y 3.245 Mcal kg⁻¹ + xilanasas). Las dietas fueron formuladas con el comando *Solver* de Excel (Microsoft Excel, 2007) para cubrir o exceder los requerimientos sugeridos por el NRC (2012). Las dietas fueron formuladas con base en sorgo-pasta de soya y adicionadas con AA sintéticos (L-Lisina·HCl, DL-Metionina, L-Triptófano y L-Treonina); el nivel de los otros nutrientes se mantuvo constante en todos los tratamientos (Cuadro 1). Se utilizaron 40 cerdos (20 hembras y 20 machos castrados) híbridos (Landrace×Yorkshire×Duroc), con peso vivo inicial (PVI) de 11.22±1.36 kg, en un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos, ocho repeticiones (4 hembras y 4 machos por tratamiento) y un animal como unidad experimental. Los cerdos se alojaron en corrales individuales equipados con comedero tipo tolva y bebedero de chupón. El periodo de evaluación duró 28 d. El alimento y el agua se ofrecieron a libre acceso.

Experimento 2. Se procedió a evaluar el nivel más bajo de energía (nivel que mostró un comportamiento similar al nivel de EM recomendado por el NRC (2012) utilizado en el experimento 1, en combinación con dietas bajas en proteína (González-Reyes, 2013) suplementadas con xilanasas de acuerdo a la cantidad recomendada por la casa comercial (Trouw Nutrition®). Se probaron cuatro tratamientos que consistieron en diferente concentración de energía y proteína en la dieta: T1 (3.350 Mcal kg⁻¹ y 20.0% de PC, ambos niveles recomendados por el NRC (2012)), T2 (3.245 Mcal kg⁻¹ y nivel de PC recomendado por el NRC (2012) + xilanasas), T3 (nivel de EM recomendado por el NRC (2012) y 18.1% de PC+ xilanasas) y T4 (3.245 Mcal kg⁻¹ y 18.1% PC+ xilanasas). Las dietas fueron formuladas con el comando *Solver* de Excel (Microsoft Excel, 2007) para cubrir o exceder los requerimientos indicados por el NRC

(2012). Las dietas fueron formuladas con base en sorgo-pasta de soya y adicionadas con AA sintéticos (L-Lisina·HCl, DL-Metionina, L-Triptófano y L-Treonina; Cuadro 2). Se utilizaron 40 cerdos (20 hembras y 20 machos castrados) híbridos (LandracexYorkshirexDuroc), con peso vivo inicial (PVI) de 10.1 ± 1.8 kg, en un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos, ocho repeticiones y un animal como unidad experimental. Los cerdos se alojaron en corrales individuales equipados con comedero tipo tolva y bebedero de chupón. El periodo de evaluación duró 18 d. El alimento y el agua se ofrecieron a libre acceso.

Análisis químicos. La proteína cruda fue determinada por el método de macrokjeldahl (AOAC, 1990). La concentración de calcio y fósforo fue determinada con un espectrofotómetro de absorción atómica (Karl *et al.*, 1979; Perkin Elmer 4000, serie Lambda 2, Perkin Elmer Inc., Norwalk, CT, USA).

Variables de respuesta. Las variables de respuesta fueron: comportamiento productivo (consumo de alimento, CAL; ganancia diaria de peso, GDP; conversión alimenticia, CA; ganancia diaria de carne magra, GCM; y peso vivo final de los cerdos, PVF); características de la canal (grasa dorsal {GD} inicial {GDI} y final {GDF}; porcentaje de carne magra {PCM} inicial {PCMI} y final {PCMF}; área del músculo *longissimus* {AML} inicial {AMLI} y final {AMLF}); y concentración de urea en plasma (CUP) al final de cada etapa del experimento.

Las variables GDP y CAL se midieron cada 7 d y con esta información se calculó la conversión alimenticia. La GD y AML se midieron utilizando un ultrasonido de tiempo real (SonoVet 600 MEDISON, Medison, Inc., Cypress, CA, USA) al inicio y al final de cada etapa. Con esta información y con los pesos inicial y final se estimó la GCM

utilizando la ecuación del NPPC (National Pork Producers Council, 1991) y el PCM usando la misma ecuación.

Al final de la etapa se obtuvieron muestras de sangre de la vena cava anterior con tubos *vacutainer* con heparina, que se colocaron en hielo hasta centrifugarse a 2,500 rpm por 20 min para separar el plasma del paquete celular. El plasma se transfirió a tubos de polipropileno y se almacenó en un congelador a -20 °C hasta la determinación de la urea en plasma (Chaney y Marbach, 1962).

Análisis estadístico. Los datos de los experimentos se analizaron por sexo (machos y hembras) y de manera global. Las variables CAL, GDP, CA, PF, GCM, PCMI, PCMF, AMLI, AMLF, GD y CUP del experimento 1 fueron analizadas utilizando un diseño experimental completamente al azar, mientras que las mismas variables en el experimento 2 con un diseño experimental similar en un arreglo factorial 2x2 (2 niveles de PC y 2 niveles de EM) mediante el procedimiento GLM (SAS, 2010). La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey del mismo paquete utilizando contrastes individuales; mientras que el efecto de la inclusión de xilanas en el experimento 1 se evaluó con contrastes ortogonales para detectar tendencias lineales, cuadráticas o cúbicas (SAS, 2010). En todos los análisis estadísticos se utilizaron el peso inicial (PI) y el sexo del animal como covariables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los machos y las hembras en los experimentos 1 y 2 no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) para las variables estudiadas, por lo cual se procedió a realizar el análisis estadístico de manera global.

Experimento 1. No se detectaron diferencias significativas ($p>0.05$) entre tratamientos para las variables productivas (Cuadro 3), ni se observaron tendencias lineales, cuadráticas o cúbicas ($p>0.05$). La inclusión de xilanasas en la dieta mantuvo de manera similar los parámetros productivos en todos los tratamientos a pesar de la reducción en la cantidad de energía.

El PCM final, AML final y la concentración de urea en plasma no fueron afectadas ($P>0.10$) por la adición de xilanasas a la dieta (Cuadro 4). La GD final tendió a incrementarse linealmente ($P=0.03$) en las dietas adicionadas con xilanasas, conforme se redujo la concentración de energía. Mientras que se observó una mayor concentración de GD final en la dieta con $3.350 \text{ Mcal kg}^{-1}$, en comparación con la dieta de $3.350 \text{ Mcal kg}^{-1}$ a la cual se le adicionó las xilanasas ($P<0.05$).

El uso de xilanasas compensó la reducción de energía de hasta 105 kilocalorías en las dietas durante la etapa de iniciación en la mayoría de las variables; debido a que se ha encontrado que el uso de xilanasas mejora los parámetros productivos aumentando la digestibilidad de la energía y/o compensando una deficiencia de esta en cerdos alimentados principalmente con ingredientes que tienen un alto contenido de polisacáridos no almidonosos (Yin *et al.*, 2000; Diebold *et al.*, 2004; Olukosi *et al.*, 2007; Nortey *et al.*, 2007, 2008; Fang *et al.*, 2007).

La posible explicación, es que la reducción en el aprovechamiento de la energía es por la pérdida de ésta, principalmente por problemas con la absorción, reducción del contacto enzima-sustrato, la reducción de la cantidad de energía de ingredientes fibrosos y la reducción en el consumo de alimento debido a la alta cantidad de fibra en el alimento y la limitada capacidad del estómago para digerir estos nutrimentos (Stanogias y Pearcet, 1985; Nortey *et al.*, 2008).

Si las xilanasas hidrolizan los PNA, estos pueden ser digestibles mejorando la utilización de energía; observado un incremento de mono y polisacáridos en el intestino después de utilizar xilanasas en cerdos (van der Meulen *et al.*, 2001). Este puede ser una de las vías por lo cual las xilanasas mejoran la utilización de la energía, ya que cambian la absorción de monosacáridos en el intestino (Li *et al.*, 1996).

Experimento 2. No se detectaron diferencias significativas ($p>0.05$) entre tratamientos para las variables productivas ni características de la canal (Cuadros 5 y 6) mediante la prueba de Tukey, ni con contrastes individuales ($p>0.05$). La inclusión de xilanasas en la dieta mantuvo los parámetros productivos y características de la canal similares en todos los tratamientos a pesar de que la cantidad de energía y proteína se redujo. Lo cual sugiere que mediante el uso de xilanasas la cantidad de energía y proteína en dietas para cerdos en la etapa de iniciación, pueden reducirse en 105 kcal y dos unidades porcentuales, respectivamente, sin afectar las variables estudiadas. Esto presumiblemente debido a que la inclusión de xilanasas incrementa la digestibilidad de AA en dietas con base en ingredientes con alto contenido de polisacáridos no almidonosos (trigo, cebada y centeno) reflejándose en mejoras en la GDP, la CA y el consumo de alimento (Mavromichalis *et al.*, 2002; Barrera *et al.*, 2004; Diebold *et al.*, 2004; Nortey *et al.*, 2007, 2008; Jun *et al.*, 2010). Es posible que las xilanasas mejoren la utilización de N y AA indirectamente, por el incremento en el acceso de las enzimas digestivas a la proteína dietaría (Tahir *et al.*, 2008). Otro efecto indirecto fue demostrado en un estudio realizado por Yin *et al.* (2010) donde el uso de xilanasas incrementó la digestibilidad de los almidones mejorando indirectamente la digestibilidad y absorción de N y AA. En estos estudios se observó que los almidones con una mayor relación de amilosa:amilopectina son más resistentes a la digestión, reduciendo la digestibilidad a

nivel intestinal, de tal manera que esta reducción se asocia con una disminución de la digestibilidad de AA y de la concentración de AA en plasma. También es probable que una menor concentración de glucosa disponible (a causa del incremento de la relación amilosa:amilopectina) reduzca la eficiencia en el transporte de AA, ya que la glucosa es de vital importancia en el transporte de AA y la síntesis de proteínas (Roos *et al.*, 2009).

Urea en plasma

Para la concentración de urea en plasma, en el experimento 1 (Cuadro 4) no se observaron diferencias significativas cuando se redujo la cantidad de energía en la dieta, sin embargo, en el experimento 2 (Cuadro 6) cuando la cantidad de proteína se redujo los niveles de urea en plasma se redujeron. Resultados de estudios previos a esta investigación (Figuroa *et al.*, 2002; Trujillo-Coutiño *et al.*, 2007; Martínez-Aispuro *et al.*, 2009) indican que al reducir la proteína de la dieta disminuye la concentración de urea en plasma, lo cual se traduce en una mayor eficiencia en la utilización del nitrógeno.

CONCLUSIÓN

La adición de xilanasas en dietas a base de sorgo-pasta de soya para cerdos en iniciación compensa la reducción de energía y proteína, manteniendo la respuesta productiva y las características de la canal en comparación con dietas con EM y proteína estándar.

BIBLIOGRAFÍA

Association of Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official Methods of Analysis. 15th Edn. Arlington, VA, USA. Pp. 128.

- Adeola, O., and M. R. Bedford. 2004. Exogenous dietary xylanase ameliorates viscosity-induced anti-nutritional effects in wheat based diets for White Pekin ducks (*Anas platyrinchos domesticus*). *Br. J. Nutr.* 92: 87–94.
- Barrera, M., M. Cervantes, W. C. Sauer, A. B. Araiza, N. Torrentera, and M. Cervantes. 2004. Ileal amino acid digestibility and performance of growing pigs fed wheat-based diets supplemented with xylanase. *J. Anim. Sci.* 82: 1997–2003.
- Bedford, M. R. 2000. Exogenous enzymes in monogastric nutrition—Their current value and future benefits. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 86: 1–13.
- Cadogan, D. J., M. Choct, and R. G. Campbell. 2003. Effects of storage time and exogenous xylanase supplementation of new season wheats on the performance of young male swine. *Can. J. Anim. Sci.* 83: 105–112.
- Chaney, A. L., and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132.
- Choct, M. 2006. Enzymes for the feed industry: past, present and future. *World's Poultry Sci. J.* 62: 5–15.
- Collins, N. E., E. T. Moran, and H. L. Stilborn. 1998. Corn hybrid and bird maturity affect apparent metabolizable energy values. *Poult. Sci. Abstr.* 77: 42.
- Cowieson, A. J., and M. R. Bedford. 2009. The effect of phytase and carbohydrase on ileal amino acid digestibility in monogastric diets: Complementary mode of action? *Worlds Poult. Sci. J.* 65: 609–624.
- Danicke, S., W. Bottcher, H. Jeroch, J. Thielebein, and O. Simon. 2000. Replacement of soybean oil with tallow in rye-based diets without xylanase increases protein synthesis in small intestine of broilers. *J. Nutr.* 130: 827–834.

- Diebold, G., R. Mosenthin, H.-P. Piepho, and W. C. Sauer. 2004. Effect of supplementation of xylanase and phospholipase to a wheat-based diet for weanling swine on nutrient digestibility and concentrations of microbial metabolites in ileal digesta and feces. *J. Anim. Sci.* 82: 2647–2656.
- Diebold, G., R. Mosenthin, W. C. Sauer, M. E. Dugan, and K. A. Lien. 2005. Supplementation of xylanase and phospholipase to wheat-based diets for weaner pigs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 89: 316-25.
- Fang, Z. F., J. Peng, Z. L. Liu, and Y. G. Liu. 2007. Responses of non-starch polysaccharide-degrading enzymes on digestibility and performance of growing pigs fed a diet based on corn, soya bean meal and Chinese double-low rapeseed meal. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 91: 361-368.
- Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, R. S. Gómez, and R. M. Diedrichsen. 2002. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diet or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 80: 2911-2919.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). 4ª edición. México, D. F. 217 p.
- Jun, H., J. Yin, L. Wang, B. Yu, and D. Chen. 2010. Functional characterisation of a recombinant xylanase from *Pichia pastoris* and effect of the enzyme on nutrient digestibility in weaned pigs. *Br. J. of Nutr.* 103: 1507–1513.
- Karl, R. F., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. Funk, y J. H. Corad. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. 2a Edn. Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Florida. Gainesville. Florida, USA.

- Kiarie, E., C. M. Nyachoti, B. A. Slominski, and G. Blank. 2007. Growth performance, gastrointestinal microbial activity, and nutrient digestibility in early-weaned swine fed diets containing flaxseed and carbohydrase enzyme. *J. Anim. Sci.* 85: 2982–2993.
- Leeson, S., Yersin, A., Volker, L., 1993. Nutritive value of the 1992 corn crop. *J. Appl. Poult. Res.* 2: 208-213.
- Li, S., W. C. Sauer, S. X. Huang, and V. M. Gabert. 1996. Effect of β -glucanase supplementation to the hullless barley- or wheat-soybean meal diets on the digestibilities of energy, protein, β -glucans, and amino acids. *J. Anim. Sci.* 74: 1649–1656.
- Martínez-Aispuro, M., J. L. Figueroa-Velasco, J. E. Trujillo-Coutiño, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres, y L. Reyna-Santamaría. 2009. Respuesta productiva y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo–pasta de soya con baja proteína. *Vet. Méx.* 40: 27-38.
- Mavromichalis, I., J. D. Hancock, B. W. Senne, T. L. Gugle, G. A. Kennedy, R. H. Hines and C. L. Wyatt . 2002. Enzyme supplementation and particle size of wheat in diets for nursery and finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 78: 3086-3095.
- Microsof Excel. 2007. Microsoft Corporation. 1985- 2001. USA. Redmond WA, USA.
- Nortey, T. N., J. F. Patience, P. H. Simmins, N. L. Trottier, and R. T. Zijlstra. 2007. Effects of individual or combined xylanase and phytase supplementation on energy, amino acid, and phosphorus digestibility and growth performance of grower swine fed wheat-based diets containing wheat millrun. *J. Anim. Sci.* 85: 1432–1443.

- Nortey, T. N., J. F. Patience, J. S. Sands, N. L. Trottier, and R. T. Zijlstra. 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 swine. *J. Anim. Sci.* 86: 3450–3464.
- NPPC (National Pork Producers Council). 1991. Procedures to evaluate market hogs. 3rd ed. National Pork Producers Council. Des Moines. IA, USA. 16 p.
- NRC (National Research Council). 2012. Nutrient Requirements of Swine. 11th ed. National Academy Press, Washington, D. C.
- Olukosi, O. A., J. S. Sands, and O. Adeola. 2007. Supplementation of carbohydrases or phytase individually or in combination to diets for weanling and growing-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 85: 1702–1711.
- González-Reyes, M. 2013. Meta- análisis de dietas con baja proteína adicionadas con aminoácidos sintéticos para cerdos en engorda. Tesis doctoral. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México.
- Roos, S., O. Lagerlof, M. Wennergren, T. L. Powell, and T. Jansson. 2009. Regulation of amino acid transporters by glucose and growth factors in cultured primary human trophoblast cells is mediated by mTOR signaling. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* 297: 723–731.
- Statistical Analysis System (SAS). 2010. The SAS system for Windows V8. SAS 9.3. Institute, Cary, NC, USA.
- Stanogias, G., and G. R. Pearcet. 1985. The digestion of fibre by swine. *Br. J. Nutr.* 53: 513–530.

- Tahir, M., F. Saleh, A. Ohtsuka, and K. Hayashi. 2008. An effective combination of carbohydrases that enables reduction of dietary protein in broilers: Importance of hemicellulase. *Poult. Sci.* 87: 713–718.
- Trujillo-Coutiño, J. E., J. L. Figueroa-Velasco, M. Martínez-Aispuro, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres, M. Cuca-García, y M. Cervantes-Ramírez. 2007. Concentración de urea en plasma y respuesta productiva de cerdos en iniciación alimentados con dietas sorgo-pasta de soya bajas en proteína. *Agrociencia* 41: 597-607.
- van der Meulen, J., J. Inborr, and J. G. M. Barker. 2001. Effects of cell wall degrading enzymes on carbohydrate fractions and metabolites in stomach and ileum of swine fed wheat bran based diets. *Arch. Anim. Nutr.* 54: 101–115.
- Wayengo, T. A., J. S. Sands, W. Guenter, and C. M. Nyachoti. 2008. Nutrient digestibility and performance responses of growing pigs fed phytase and xylanase supplemented wheat-based diets. *J. Anim. Sci.* 86: 848-857.
- Yin, Y. L., J. D. G. McEvoy, H. Schulze, U. Hennig, W. B. Souffrant, and K. J. McCracken. 2000. Apparent digestibility (ileal and overall) of nutrients and endogenous nitrogen losses in growing swine fed wheat (var. Soissons) or its by-products without or with xylanase supplementation. *Livest. Prod. Sci.* 62: 119–132.
- Yin, F., Z. Zhang, J. Huang, and Y. Yin. 2010. Digestion rate of dietary starch affects systemic circulation of amino acids in weaned swine. *Br. J. Nutr.* 103: 1404–1412.
- Zhang, Z., R. R. Marquardt, and W. Guenter. 2000. Evaluating the efficacy of enzyme preparations and predicting the performance of leghorn chicks fed rye-based diets with a dietary viscosity assay. *Poult. Sci.* 79: 1158–1167.

Żyła, K., D. Gogol, J. Koreleski, S. Świątkiewicz, and D. R. Ledoux. 1999. Simultaneous application of phytase and xylanase to broiler feeds based on wheat: *In vitro* measurements of phosphorus and pentose release from wheats and wheat-based feeds. *J. Sci. Food Agric.* 79: 1832–1840.

Cuadro 1. Composición de las dietas (experimento 1).

INGREDIENTE (%)	T1	T2	T3	T4	T5
Sorgo	65.32	65.32	66.13	66.95	66.44
Pasta de Soya	29.20	29.20	29.03	28.87	28.49
Salvado de trigo	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30
Aceite de soya	1.76	1.76	1.09	0.42	0.00
L-Lisina	0.60	0.60	0.62	0.62	0.63
DL-Metionina	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
L-Triptófano	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
L-Treonina	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Premezcla de vitaminas ^A	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Premezcla de minerales ^B	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Xilanasas	0.00	0.005	0.005	0.005	0.005
Fitasa	0.01	0.01	0.01	0.010	0.01
Sal común	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
CaCO ₃	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
Ortofosfato de calcio	0.70	0.70	0.70	0.70	0.69
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Análisis calculado (%)					
EM (Mcal/kg)	3.350	3.350	3.315	3.280	3.245
Proteína cruda	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Ca	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
P	0.54	0.54	0.54	0.54	0.55
Lisina	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
Treonina	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Triptófano	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Metionina	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
Leucina	1.57	1.57	1.57	1.58	1.58
Valina	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83
Metionina+cistina	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
Análisis determinado %					
Proteína cruda	19.89	19.86	19.84	19.94	19.67
Ca	0.68	0.67	0.70	0.72	0.69
P	0.50	0.54	0.48	0.51	0.53
COSTO \$ kg ⁻¹ ^C	6.19	6.10	6.08	5.97	5.88

^A Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D₃, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg.

^B Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

^C Calculado con base en el precio de los ingredientes vigentes en octubre 2012.

Cuadro 2. Composición de las dietas (experimento 2).

INGREDIENTE (%)	T1	T2	T3	T4
Sorgo	65.32	70.68	66.43	72.25
Pasta de Soya	29.18	23.20	28.49	22.58
Salvado de trigo	0.00	0.00	0.00	0.87
Aceite de soya	1.75	1.84	0.00	0.00
L-Lisina	0.61	0.90	0.63	0.92
DL-Metionina	0.16	0.21	0.16	0.21
L-Triptófano	0.026	0.054	0.026	0.054
L-Treonina	0.15	0.23	0.15	0.23
Premezcla de vitaminas ^A	0.150	0.150	0.150	0.150
Premezcla de minerales ^B	0.150	0.150	0.150	0.150
Xilanasas	0.000	0.005	0.005	0.005
Fitasa	0.01	0.01	0.01	0.01
Sal común	0.49	0.49	0.49	0.49
CaCO ₃	1.28	1.29	1.28	1.29
Ortofosfato de calcio	0.70	0.76	0.69	0.75
Total	100.00	100.00	100.00	100.00
Análisis calculado (%)				
EM (Mcal/kg)	3.350	3.350	3.245	3.245
Proteína cruda	20.00	18.00	20.00	18.00
Ca	0.70	0.70	0.70	0.70
P	0.54	0.53	0.55	0.54
Lisina	1.29	1.28	1.29	1.28
Treonina	0.87	0.85	0.87	0.85
Triptófano	0.26	0.26	0.26	0.26
Metionina	0.45	0.48	0.45	0.48
Leucina	1.57	1.44	1.57	1.44
Valina	0.83	0.73	0.82	0.73
Metionina+cistina	0.76	0.76	0.76	0.76
Análisis determinado %				
Proteína cruda	19.53	17.48	19.73	17.58
Ca	0.68	0.70	0.65	0.68
P	0.52	0.56	0.53	0.55
COSTO \$ kg⁻¹ ^C	6.19	6.18	5.87	5.87

^A Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D₃, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg.

^B Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

^C Calculado con base en el precio de los ingredientes vigentes en marzo 2013.

Cuadro 3. Comportamiento productivo de cerdos en iniciación, alimentados con dietas bajas en EM complementadas con xilanasas

TRAT	EM	XILANASA (%)	Comportamiento productivo [‡]					
			GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	PI (kg)	PF (kg)	GCM (kg)
1	3350	0.000	0.609± 0.032	0.977± 0.057	1.599± 0.040	11.549±0.468	27.649±0.871	0.244±0.014
2	3350	0.005	0.603±0.035	0.979± 0.063	1.614± 0.043	11.036±0.468	27.493±0.947	0.226±0.015
3	3315	0.005	0.654± 0.032	1.082± 0.057	1.659± 0.039	11.311±0.468	28.853±0.866	0.242±0.014
4	3280	0.005	0.565± 0.031	0.958± 0.057	1.691± 0.039	11.086±0.468	26.470±0.863	0.215±0.014
5	3245	0.005	0.606± 0.029	0.991±0.053	1.635±0.037	10.810±0.501	27.565±0.807	0.233±0.013
Significancia de los contrastes								
Lineal			0.46	0.31	0.31	-	0.46	0.65
Cuadrático			0.19	0.34	0.50	-	0.19	0.50
Cúbico			0.22	0.43	0.47	-	0.22	0.26

[‡] En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, PI = Peso inicial, PF = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 4. Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en iniciación, alimentados con dietas bajas en EM complementadas con xilanasas

TRAT	EM (%)	XILANASA (%)	Características de la canal						Urea mg dL ⁻¹
			GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI (%)	PCMF (%)	
1	3350	0.000	1.71± 0.15	3.12± 0.13	6.20± 0.19	13.35± 0.56	57.30± 0.57	47.02± 0.52	16.28± 3.28
2	3350	0.005	2.01±0.17	2.69±0.15	6.69±0.21	11.74±0.61	57.87±0.62	45.84±0.56	23.32±3.57
3	3315	0.005	1.82± 0.15	3.12± 0.13	6.77± 0.19	12.51± 0.56	58.43± 0.57	45.45± 0.51	16.53± 3.27
4	3280	0.005	1.44± 0.15	3.14± 0.13	6.02± 0.19	12.03± 0.56	57.54± 0.56	46.27± 0.51	15.40± 3.26
5	3245	0.005	1.75± 0.14	3.00± 0.12	6.62± 0.18	12.77± 0.52	58.54± 0.53	46.66± 0.48	15.62± 3.04
Significancia de los contrastes									
Lineal			-	0.03	-	0.56	-	0.52	0.19
Cuadrático			-	0.25	-	0.63	-	0.12	0.18
Cúbico			-	0.97	-	0.23	-	0.73	0.66
3350kcal vs 3350+ xilanasas			-	0.04	-	0.06	-	0.14	0.16

‡ En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDI= Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLI = Área del músculo *longissimus* inicial, AMLF = Área del músculo *longissimus* final, CMI = Carne magra inicial, CMF = Carne magra final.

Cuadro 5. Comportamiento productivo de cerdos en iniciación, alimentados con dietas bajas en EM y PC complementadas con xilanasas

TRAT	EM	PC	XILANASA (%)	Comportamiento productivo [‡]					
				GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	PI (kg)	PF (kg)	GCM (kg)
1	3350	20	0.000	0.394± 0.030	0.770± 0.057	1.927± 0.145	10.349±0.760	17.202±0.542	0.147±0.013
2	3350	18	0.005	0.435±0.023	0.712± 0.063	1.645± 0.112	9.880±0.590	17.92±0.421	0.171±0.010
3	3245	20	0.005	0.425± 0.030	0.735± 0.057	1.725± 0.147	10.760±0.760	17.747±0.549	0.176±0.013
4	3245	18	0.005	0.433± 0.026	0.817± 0.057	1.932± 0.126	9.659±0.659	17.900±0.473	0.164±0.011

[‡] En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, PI = Peso inicial, PF = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 6. Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en iniciación, alimentados con dietas bajas en EM y PC complementadas con xilanasas

TRAT	EM (%)	PC	XILANASA (%)	Características de la canal						Urea mg dL ⁻¹
				GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI (%)	PCMF (%)	
1	3350	20	0.000	1.12± 0.14	2.14± 0.14	5.00± 0.31	7.81± 0.31	58.38± 0.88	49.55± 0.72	15.63± 1.80 ^a
2	3350	18	0.005	1.23±0.11	2.12±0.11	4.99±0.24	8.43±0.24	58.22±0.68	50.13±0.56	9.11±1.39 ^b
3	3245	20	0.005	1.06± 0.14	1.94± 0.14	4.84± 0.31	8.73± 0.31	58.85± 0.89	51.10± 0.73	15.16±1.82 ^a
4	3245	18	0.005	1.31± 0.12	2.40± 0.12	4.95± 0.27	8.19± 0.27	58.03± 0.77	49.26± 0.63	9.16± 1.56 ^b

[‡] En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

^{a,b} valores con diferente letra, son significativamente diferentes (p≤0.05)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDI= Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLI = Área del músculo *longissimus* inicial, AMLF = Área del músculo *longissimus* final, PCMI = Carne magra inicial, PCMF = Carne magra final.