



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia

**NIVELES DE LISINA Y TREONINA DIGESTIBLE
EN DIETAS PARA CERDOS EN CRECIMIENTO**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

P R E S E N T A

MARICELA LÓPEZ RIVERA



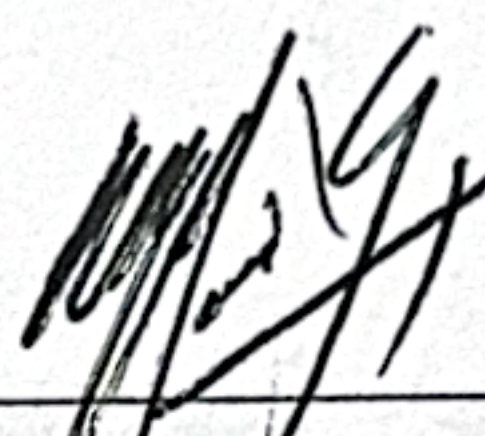
Chapingo, Estado de México, Julio de 2007

**"NIVELES DE LISINA Y TREONINA DIGESTIBLE EN
DIETAS PARA CERDOS EN CRECIMIENTO"**

Tesis realizada por **MARICELA LÓPEZ RIVERA** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

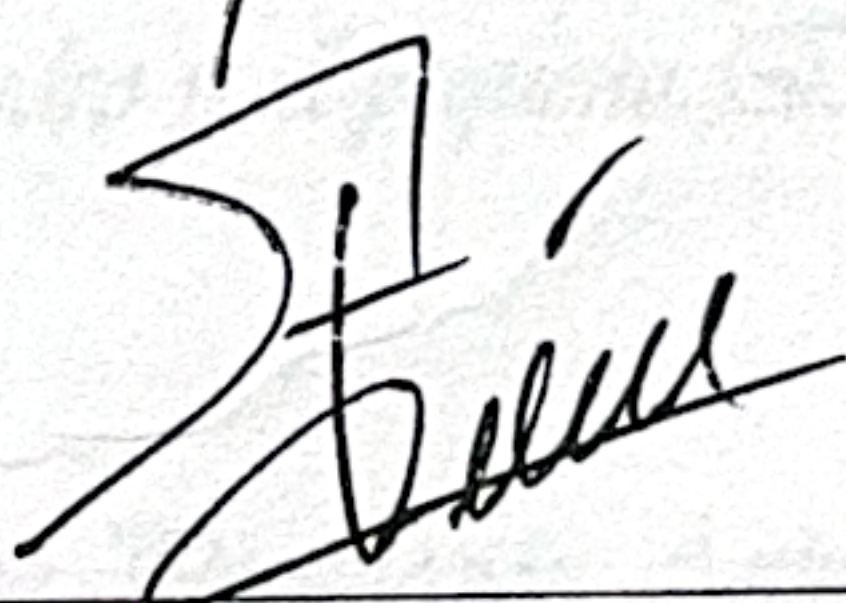
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR:



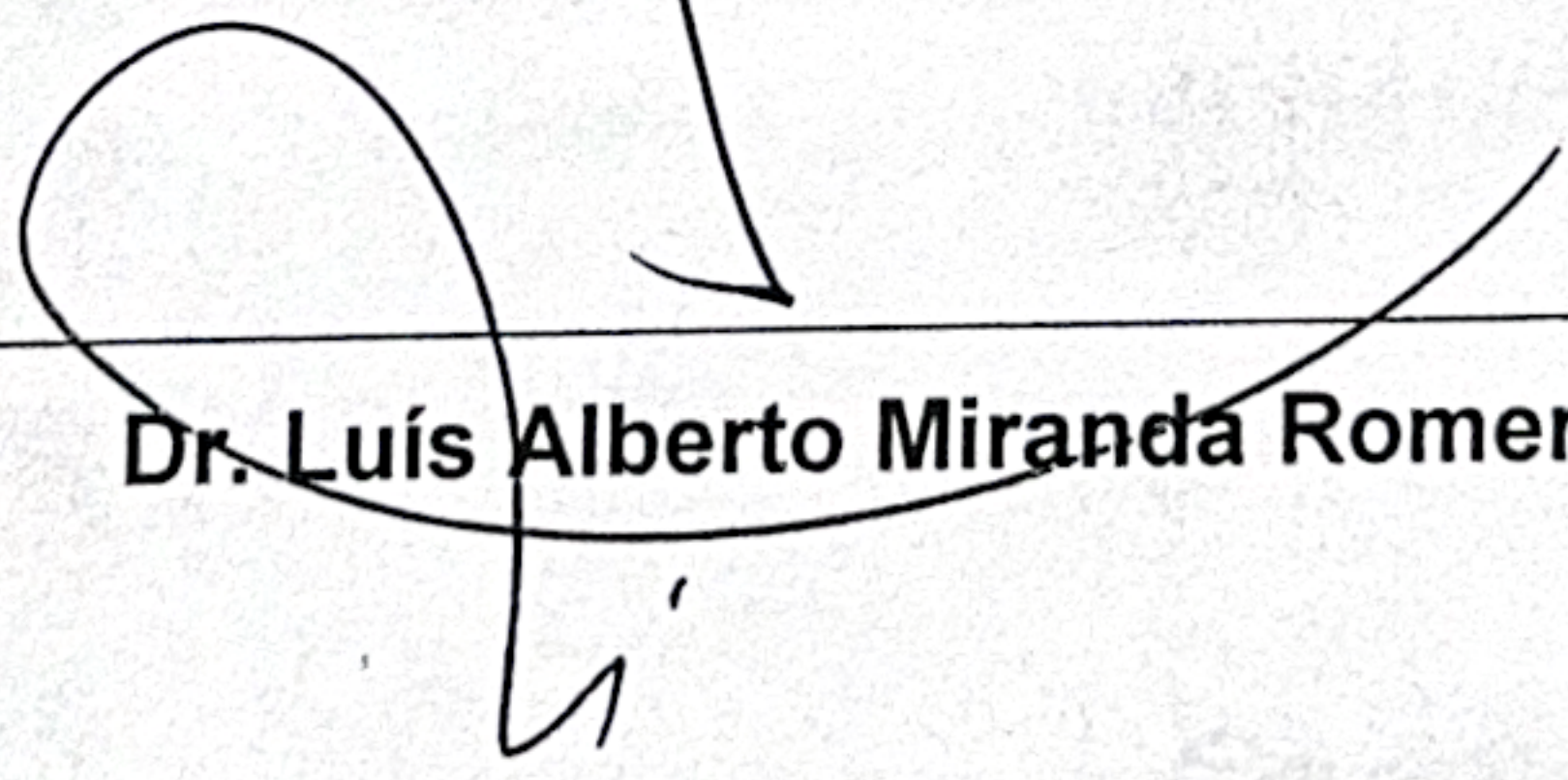
Ph. D. Mariano Jesús González Alcorta

ASESOR:



Ph. D. José Luís Figueroa Velasco

ASESOR:



Dr. Luís Alberto Miranda Romero

A. 1566

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por darme la oportunidad de lograr una meta más en mi vida profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por brindarme una beca para la realización de mis estudios de maestría.

Al Departamento de Zootecnia y al Posgrado en Producción Animal, por el apoyo durante mi estancia para realizar mis estudios de maestría.

Al Ph. D. José Luís Figueroa Velasco por el apoyo en la fase experimental, y por las sugerencias para lograr esta investigación.

Al Ph. D. Mariano Jesús González Alcorta, por su valiosa participación en el desarrollo de la investigación, por sus consejos y amistad.

Al Dr. Luís Alberto Miranda Romero, por su importante colaboración en la fase de laboratorio y por las observaciones para mejorar el trabajo de investigación.

A los profesores del Posgrado en Producción Animal por sus importantes aportes académicos, especialmente al Ph. D. Rafael Núñez Domínguez, por su acertada sugerencia para mejorar la calidad de este trabajo; así mismo al Ph. D. José Guadalupe García Muñíz, por su apreciable contribución en la parte estadística del presente trabajo.

A la Dra. Silvia Carrillo Domínguez y al Instituto de Nutrición “Salvador Subirán”, por la facilidad otorgada en la determinación de los aminogramas de las dietas experimentales de este trabajo.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos generales:

Nombre: Maricela López Rivera

Lugar de nacimiento: Tlalnepantla, Estado de México

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

Correo electrónico: maricela082002@yahoo.com.mx

Formación académica:

Licenciatura: Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo (1998–2002).

Maestría: Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo (2005-2006).

Experiencia profesional:

- Asesor técnico en la empresa Agropecuaria Ana Laura S. P. R. de R. L., en el Estado de Oaxaca, dedicada a la cría y engorda de cerdos y ovinos. (2002-2004).
- Tesis Profesional: "Sincronización de estros en cerdas primerizas con altrenogest (Regumate) y PG600". Realizada en la Unidad de Producción 22 de Febrero, en el municipio de Santiago Tulantepec Estado de Hidalgo y en la granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. Año 2002.
- Servicio social: Apoyo a prácticas de manejo, en una granja de producción de cerdos de ciclo completo, en el Municipio de Nopaltepec Estado de México. Año 2001.

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
Situación actual de la porcicultura	3
Impacto de la investigación.....	6
Marco conceptual	7
Clasificación de los aminoácidos	7
Aminoácidos esenciales para cerdos.....	7
Características generales de los aminoácidos	8
Características generales de lisina.....	9
Características generales de treonina	10
Requerimientos de lisina y treonina para cerdos de engorda.....	12
Efecto del nivel de lisina dietética sobre el comportamiento productivo en cerdos de engorda.....	15
Efecto del nivel de lisina dietética sobre las características de la canal en cerdos de engorda	23
Efecto del nivel de lisina dietética sobre la concentración de urea en plasma en cerdos de engorda.....	25
Efecto del nivel de treonina dietética sobre el comportamiento productivo en cerdos de engorda.....	27
Efecto del nivel de treonina dietética sobre las características de la canal en cerdos de engorda.....	32
Efecto del nivel de treonina dietética sobre la concentración de urea en plasma en cerdos de engorda.....	34
Nivel óptimo biológico y económico de lisina y treonina para cerdos en crecimiento.....	35
PROBLEMÁTICA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	38

LITERATURA CITADA	40
CAPÍTULO III. LISINA Y TREONINA DIGESTIBLE EN DIETAS PARA CERDOS EN CRECIMIENTO	51
RESUMEN.....	52
ABSTRACT.....	53
MATERIAL Y MÉTODOS.....	55
RESULTADOS.....	62
DISCUSIÓN	67
CONCLUSIONES	74
LITERATURA CITADA	75
CAPÍTULO IV. NIVELES ÓPTIMOS BIOLÓGICO Y ECONÓMICO DE LISINA DIGESTIBLE PARA CERDOS EN CRECIMIENTO	80
RESUMEN.....	81
ABSTRACT.....	82
INTRODUCCIÓN	83
MATERIAL Y MÉTODOS.....	85
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	89
LITERATURA CITADA	99
ANEXOS	102

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición en volumen (toneladas) y composición porcentual de la carne de cerdo.	4
Cuadro 2. Requerimientos de lisina y treonina en cerdos en crecimiento de 20 a 50 kg de peso vivo, alimentados ad libitum (90% de materia seca).	15
Cuadro 3. Composición de dietas experimentales para el Experimento 1.....	57
Cuadro 4. Composición de dietas experimentales para el Experimento 2.....	57
Cuadro 5. Contenido nutrimental de las dietas basales en los Experimentos 1 y 2... ..	58
Cuadro 6. Comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma, de cerdos en crecimiento alimentados con diferente nivel de lisina digestible en la dieta.....	63
Cuadro 7. Comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma, de cerdos en crecimiento alimentados con diferente nivel de treonina digestible en la dieta.....	65
Cuadro 8. Ganancia de peso, características de la canal y concentración de urea en plasma, de cerdos hembras y machos castrados en crecimiento alimentados con diferente nivel de treonina digestible en la dieta.....	66
Cuadro 9. Dietas experimentales con diferente nivel de lisina digestible.....	86
Cuadro 10. Estimación del consumo de alimento acumulado (CONSAC), ganancia de peso acumulada (GPAC) y peso vivo final (PVF) del efecto lineal (Lisina), cuadrático ($Lisina^2$) y cúbico ($Lisina^3$) de lisina digestible y del peso inicial de cerdos en crecimiento.	90
Cuadro 11. Estimación del porcentaje de carne magra (%CM), área del músculo <i>longissimus</i> (AML) y concentración de urea en plasma (UREA) del efecto lineal (Lisina) y cuadrático ($Lisina^2$) de lisina digestible y del peso inicial de cerdos en crecimiento.....	90
Cuadro 12. Niveles óptimos biológicos de lisina digestible para cerdos en crecimiento hasta la cuarta semana experimental.	92
Cuadro 13. Análisis de sensibilidad del NOE ante variaciones del precio del cerdo en pie.....	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura general de los aminoácidos	9
Figura 2. Estructura química de lisina.....	9
Figura 3. Estructura química de treonina	10
Figura 4. Curva de respuesta del consumo de alimento acumulado (CONSAC), con diferente nivel de lisina digestible en la dieta.	95
Figura 5. Curva de respuesta de la ganancia de peso acumulada (GPAC), con diferente nivel de lisina digestible en la dieta.	95
Figura 6. Curva de respuesta del peso vivo final (PVF), con diferente nivel de lisina digestible en la dieta.....	96
Figura 7. Curva de respuesta del porcentaje de carne magra (%CM), con diferente nivel de lisina digestible en la dieta.	96
Figura 8. Curva de respuesta del área del músculo <i>longissimus</i> (AML), con diferente nivel de lisina digestible en la dieta.	97
Figura 9. Curva de respuesta de la concentración de urea en plasma (UREA), con diferente nivel de lisina digestible en la dieta.	97
Figura 10. Efecto del precio de cerdo por kilogramo, sobre el nivel óptimo económico (NOE) de lisina y las utilidades.....	98

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La porcicultura nacional es una actividad económica relevante dentro del sector pecuario. La producción de carne de cerdo registra una tendencia ascendente, por lo menos hasta el año 2002, sin embargo en el año 2003 la producción resultó 4.2% inferior con respecto al año anterior y el año 2005 fue 2.5% inferior al 2004. Este comportamiento obedece principalmente a la variación en el precio del cárnico en el mercado, lo cual impacta directamente en los costos de producción y disminuye la utilidad (SAGARPA, 2004 y 2006). Por lo anterior, es necesario buscar alternativas que permitan al productor reducir el costo de producción y mejorar sus utilidades. La adición de aminoácidos (AA) sintéticos a la dieta permite reducir su costo, ya que disminuye el contenido de proteína total en la ración, satisface las necesidades de AA esenciales que son limitantes, incrementa la eficiencia alimenticia, mejora la conversión alimenticia y disminuye la excreción de nitrógeno y contaminación al ambiente (Araki, 1990; Kerr *et al.*, 2003; Fabian *et al.*, 2004).

La selección genética para la obtención de animales más magros propicia un aumento de los requerimientos de lisina del cerdo (Friesen *et al.*, 1994; Loughmiller *et al.*, 1998; Fontes *et al.*, 2005). Por lo tanto, los requerimientos de lisina para los cerdos durante la engorda dependerán del tipo de dieta y del criterio de respuesta en el intento de obtener la óptima ganancia de peso, conversión de alimento, características de la canal y tasa de retención de proteína en el músculo, para lo cual es importante establecer un nivel adecuado de este AA en la dieta (NRC, 1998).

La lisina es un AA esencial para el cerdo, y además, es el principal AA limitante en dietas a base de maíz y/o sorgo y pasta de soya (Fontes *et al.*, 2000; Pink *et al.*, 2003). La treonina es el segundo AA limitante en dichas dietas (Saldana *et al.*, 1994; Ettle *et al.*, 2004; Soltwedel *et al.*, 2006). Por lo anterior, la determinación del nivel óptimo de lisina y treonina que estime la respuesta para obtener la máxima ganancia de peso y máxima utilidad es uno de los objetivos fundamentales de la nutrición dentro de la actividad porcícola.

Tradicionalmente el nivel óptimo biológico (NOB) de lisina en dietas para cerdos en crecimiento se ha definido como la cantidad de lisina necesaria para maximizar la respuesta en ganancia de peso, minimizando la conversión alimenticia (García, 1998). Los niveles óptimos económicos (NOE) son aquellos que optimizan las utilidades, donde las utilidades dependerán de la diferencia entre los ingresos y los costos de producción. Existen pocos trabajos realizados para la determinación de los NOE; los valores encontrados también son muy variables debido a que la metodología para estimar este nivel aún está en fase de investigación y a la variación de los costos de insumos y productos de un año a otro, e incluso de un mes a otro.

El propósito de esta investigación fue evaluar el efecto de adicionar lisina y treonina sintética a dietas a base de sorgo y pasta de soya, así como calcular los niveles de lisina que optimicen la producción y la utilidad con dichas dietas para cerdos en crecimiento.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

Situación actual de la porcicultura

La producción de carne de porcino en México en el año 2003 se situó en 1, 035, 308 toneladas (Cuadro 1), cifra inferior a la del año 2002; esta reducción obedece a los bajos precios de la carne que se presentaron desde mediados de 2002, situación influida por los bajos precios y altos niveles de las importaciones de productos porcícolas. A la desactivación de la planta porcícola nacional se sumó, hacia finales de año, el encarecimiento de insumos alimenticios como los granos forrajeros y pastas oleaginosas, situación que minimizó el impacto favorable de la recuperación de los precios del ganado para abasto, manteniendo la utilidad en niveles mínimos. Como resultado de una creciente demanda causada por diversos factores, así como la baja de los precios de algunos cortes de porcino y los bajos precios de productos importados, el Consumo Nacional Aparente (CNA) continuó creciendo para ubicarse en 1, 512, 850 toneladas, 2.7% más que en el año 2002, siendo el resultado directo del crecimiento de las importaciones, las que acumularon 503,500 toneladas (SAGARPA, 2004 y 2006).

El 2004 se caracteriza por ser un año con crecimiento económico y condiciones favorables para el desarrollo de la ganadería mexicana en su conjunto. Cabe señalar que el encarecimiento de los insumos alimenticios iniciado en el año 2003 se prolongó durante el 2004, pero independientemente de este fenómeno, los precios liquidados al productor por el ganado para abasto compensaron el crecimiento de los costos y se obtuvieron utilidades, sobre todo hacia la segunda mitad del 2004.

Cuadro 1. Composición en volumen (toneladas) y composición porcentual de la carne de cerdo.

Año	Composición en volumen (toneladas)				Composición porcentual		
	Producción	Importaciones	Exportaciones	CNA	Producción*	Importaciones	Total
1990	757,351.0	180,548.9	510.8	937,389.1	80.7	19.3	100
1991	811,899.0	216,092.9	1,130.9	1,026,861.0	79.0	21.0	100
1992	819,782.0	234,270.1	3,681.9	1,050,370.2	77.7	22.3	100
1993	821,580.0	223,159.5	3,690.5	1,041,049.0	78.6	21.4	100
1994	872,907.0	279,142.3	3,678.3	1,148,371.0	75.7	24.3	100
1995	921,576.0	182,262.2	6,318.1	1,097,520.1	83.4	16.6	100
1996	910,290.0	196,044.2	14,184.2	1,092,150.0	82.0	18.0	100
1997	939,245.0	219,848.3	22,755.3	1,136,338.0	80.7	19.3	100
1998	960,689.0	279,272.2	21,809.4	1,218,151.8	77.1	22.9	100
1999	994,186.0	301,906.2	25,605.7	1,270,486.5	76.2	23.8	100
2000	1,029,955.0	363,376.7	31,710.8	1,361,620.9	73.3	26.7	100
2001	1,057,843.0	392,171.4	36,189.0	1,413,825.4	72.3	27.7	100
2002	1,070,246.3	427,228.2	23,869.2	1,473,605.3	71.0	29.0	100
2003	1,035,308.0	503,517.9	23,176.0	1,515,650.0	66.8	33.2	100
2004	1,064,382.0	612,547.8	28,331.3	1,648,598.6	62.8	37.2	100
2005	1,102,940.5	564,627.6	38,314.6	1,629,253.5	65.3	34.7	100

Notas:

Carne de porcino y productos porcinos, para esta especie se considera dentro de la estimación las importaciones de la carne propiamente dicha y de algunas partes como la piel, las patas, la cabeza y la grasa, las cuales son parte de la canal y consumidas. El Consumo Nacional Aparente es una forma de medir la cantidad de producto de que dispone un país para su consumo. En esta estimación se considera la producción nacional, las importaciones de ganado para abasto (convertidas a carne en canal) y las de carnes en canal y cortes, así como las exportaciones de ganado para abasto y/o engorda (convertidas a carne en canal) y carne en canal y cortes.

Producción*, para la estimación de la composición porcentual del CNA, a la producción nacional se le restan las exportaciones.

Fuente: Coordinación General de Ganadería, SAGARPA. Última actualización: 15 de septiembre de 2006.

Como resultado del incremento de la producción y de las importaciones el CNA de carne y productos porcícolas ascendió a 1,645,000, 8% mayor al calculado para el 2003, colocándose como el mayor nivel de disponibilidad desde la década de los 80,

al igual que la disponibilidad per cápita, que se ubicó en 15.4 kg por habitante al año (SAGARPA, 2005).

Datos recientes indican que en el año 2004 la producción fue de 1, 064, 382 toneladas, con un CNA de 1, 648, 598.6. Para el año 2005 la producción se colocó en 1, 102, 940.5 toneladas, 2.5% más al 2004, con un consumo nacional aparente de 1, 629, 253.5 toneladas (SAGARPA, 2006; Cuadro 1).

Comercio exterior y balanza comercial porcina de México

A partir de 2003 se dispuso de una apertura total a la importación de productos porcícolas, al concluir el periodo de desgravación pactado en el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), lo que si bien propone el libre flujo de mercancías sin el pago de aranceles o atención a cupos y salvaguardas, no significó un cambio radical, ya que en los últimos años de vigencia del Tratado, el nivel arancelario fue mínimo, posibilitando un crecimiento importante en los flujos comerciales del exterior hacia México (SAGARPA, 2004). Para el caso de la importación de carnes y subproductos porcícolas, tampoco se determinan cambios, prevaleciendo arancel cero a las importaciones originarias de EUA, Canadá y Chile, así como de algunas naciones de Latinoamérica, y 20% a las procedentes del resto del mundo. La pérdida de balance en el mercado de carne de bovino, ante el cierre parcial de la frontera mexicana a carne de bovino procedente de los EUA, indujo a un fuerte crecimiento de las importaciones de carne y productos porcícolas, las que ascendieron a 612,730 toneladas, 21.7% más que el año anterior. Por su parte, las exportaciones aumentaron en 22.2%, para situarse en 28,331.3 toneladas (SAGARPA, 2005).

Importaciones y exportaciones

Las importaciones de pie de cría en el año 2003 ascendieron a 19, 500 cabezas, 38.8% menos que en el año 2002. Las exportaciones de productos porcícolas se mantuvieron en niveles de 23, 200 toneladas, siendo afectadas por el mecanismo de salvaguarda aplicado por Japón, principal destino de estas ventas. La disponibilidad per cápita ascendió a 14.7 kg, 2.7% mayor a la de 2002. Para los años 2004 y 2005, las importaciones de carne se ubicaron en 612,547 y 564,627 toneladas, respectivamente, con una exportación de 28,331.30 y 38,314.60 toneladas para cada año (SAGARPA, 2006).

Impacto de la investigación

La estimación de costos y de utilidades en los dos métodos de producción más usuales en nuestro país, el tecnificado y el semitecnificado, reflejan ganancias negativas, sobre todo para los años 2003 y 2005, cuando no fue rentable. No obstante, el mejor aprovechamiento de los medios de producción bajo el sistema tecnificado, ha hecho posible que la porcicultura continúe avanzando, adecuándose al dinamismo del mercado nacional y a las crecientes exigencias del consumidor (SAGARPA, 2004). Es por eso el interés en incrementar los márgenes de utilidad de los poricultores. Estimar los óptimos de lisina y treonina digestible para balancear dietas y maximizar utilidades simultáneamente, podría ayudar a los productores, ya que el productor se beneficiará directamente con una mayor utilidad por kilogramo de cerdo, al utilizar la formulación de máxima utilidad. Si al menos se lograra incrementar la utilidad en un peso por kilogramo de cerdo, en respuesta a la adición de AA sintéticos en la dieta, entonces se tendría una utilidad de \$1,102,940,500.00 a nivel nacional, dado que se producen 1,102,940.5 toneladas de carne anualmente, al menos para el año 2005 (SAGARPA, 2006). Con el presente trabajo se pretende

aportar herramientas y conocimientos que beneficien tanto a productores como a fabricantes de alimentos balanceados.

Marco conceptual

Clasificación de los aminoácidos

Los AA se clasifican en esenciales y no esenciales. Esenciales son aquellos que no se pueden sintetizar en el organismo y por lo tanto deben ser aportados a la dieta. Los AA no esenciales son aquellos que pueden ser sintetizados en el organismo a partir del suministro de nitrógeno no esencial (NRC, 1998), por lo que no son parte obligatoria de la dieta.

En la actualidad el empleo de AA adicionados a las dietas para cerdos es una actividad cada vez más común. Desde los años 1960's se inició con la oferta en el mercado de metionina sintética; en los 1970's de lisina sintética (L-lisina-HCl); y sólo hasta finales de los 1980's se hicieron comercialmente disponibles en el mercado L-treonina y L-triptofano (Cuarón, 1996).

Aminoácidos esenciales para cerdos

En la alimentación de los cerdos el aporte de AA esenciales más limitantes es fundamental, y es más importante que el nivel de proteína como tal (Santomá, 1991). La necesidad básica del animal por AA es para utilizarlos en la síntesis de proteínas (Fowler, 1990). En dietas prácticas para cerdos (sorgo y/o maíz-pasta de soya), los AA más limitantes son lisina, metionina, treonina y triptofano aunque, en general, se puede hablar de diez AA esenciales para cerdos, los cuales son: lisina, metionina, treonina, triptofano, isoleucina, histidina, fenilalanina, leucina, valina y arginina (NRC, 1998; Kopinski, 2005).

Lisina es típicamente el primer AA limitante en dietas para cerdos a base de cereales y, generalmente se puede adicionar en la dieta para cubrir los requerimientos del cerdo para la síntesis máxima de proteína (Batterham *et al.*, 1990; Bikker *et al.*, 1994; Fontes *et al.*, 2000; Pink *et al.*, 2003). La disponibilidad industrial de L-lisina-HCl ofrece a los nutricionistas la posibilidad de satisfacer las necesidades de lisina de los animales monogástricos a un costo efectivo. Al mismo tiempo se tiene la posibilidad de disminuir el uso excesivo de proteína, permitiendo así el uso de materias primas alternativas. La optimización de los niveles dietarios en la ración, mejora significativamente el desempeño productivo de los animales como la ganancia de peso, conversión alimenticia y depositación de carne magra. La rápida evolución inducida científicamente de las razas de cerdos, conlleva en el aumento permanente de las necesidades de lisina, proporcionalmente al incremento de la eficiencia alimenticia, por los simples procesos de concentración. Además de esto, la selección genética orientada a la obtención de carnes magras, genera mayor necesidad de lisina (Donzele, 2005).

Características generales de los aminoácidos

Los AA contienen por lo general un grupo amino primario (-NH₂) y un grupo de carboxilo (COOH). En los AA derivados de las proteínas el grupo amino primario ocupa una posición alfa con relación al grupo carboxilo. Cada AA tiene una cadena lateral R, que influencia sus propiedades fisicoquímicas y por lo tanto las propiedades de la proteína que los contiene (De Blas *et al.*, 2003). Los AA naturales tienen la estructura siguiente:

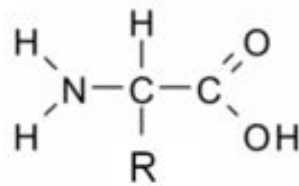


Figura 1. Estructura general de los aminoácidos

Características generales de lisina

La lisina o ácido 2,6 diaminohexanoico lis (k), pertenece al grupo de los AA con grupo R cargado positivamente a un pH de 7, con 6 átomos de carbono (Stryer, 1988). La lisina es indispensable en la estructura de las proteínas y un componente importante en el balance de AA. Es limitante en granos y en la mayoría de las fuentes de proteína. Sin embargo, el contenido de lisina en tejido animal es muy alto. La lisina es un elemento estructural de las proteínas, de enzimas y tiene una importancia en la formación de tejido cartilaginoso y en la osificación (Jefo Int. LTD., 2000). La estructura química de lisina se ilustra en la siguiente figura:

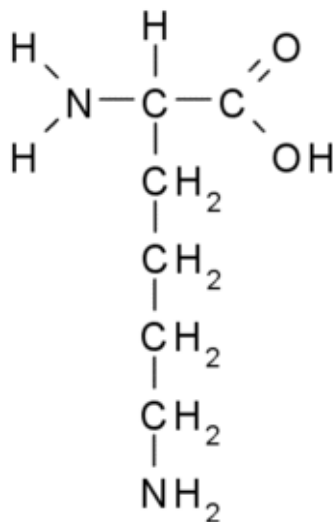


Figura 2. Estructura química de lisina

La forma comercial más frecuente es el monoclórhidrato de L-lisina, que se obtiene mediante fermentación oxidativa utilizando una fuente de carbono (azúcar, almidón, melazas) y una fuente de nitrógeno (sales amónicas, amoníaco, hidrolizados proteicos) como sustrato de los microorganismos. También puede obtenerse mediante procesos químicos enzimáticos a partir del α -amino- ϵ -caprolactama. Los productos comerciales actuales tienen una pureza mínima del 98% que corresponde a un aporte de lisina del 78% y un contenido de cloro cercano al 19-20%. Recientemente se ha iniciado la comercialización de la lisina líquida al 50% obtenida por un proceso similar al del clórhidrato. La diferencia más notable con respecto a la L-lisina, aparte de la presentación y de la riqueza en el aminoácido, es que no aporta cloro. La ventaja práctica más importante es la facilidad de manejo y de almacenamiento (De Blas *et al.*, 2003).

Características generales de treonina

La treonina se deriva de la cadena carbonada de la homesina; ésta última a su vez del ácido aspártico. Tiene un grupo R polar y neutro, que resulta relativamente hidrofílico por poseer un grupo hidroxilo capaz de formar enlaces de hidrógeno de agua, su estructura contiene dos átomos de carbono asimétricos (C₄H₉NO₃) químicamente llamado ácido α -amino- β -hidroxibutírico (Figura 3).

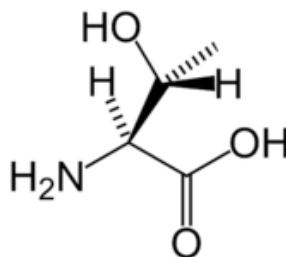


Figura 3. Estructura química de treonina

En consecuencia, existen cuatro estereo-isómeros ópticos posibles: la L- y D-treonina y la L- y D- alotreonina. En la naturaleza sólo se han encontrado isómeros L-treonina. Las formas D- no parecen tener actividad metabólica en animales domésticos al no disponer de una isomerasa capaz de transformar D- en L-treonina. La síntesis química de treonina genera una mezcla 50:50 de isómeros D- y L-, por lo que su valor nutritivo es bajo. En consecuencia, su producción industrial se hace a partir de procesos fermentativos, donde se genera únicamente el isómero L-treonina (De Blas *et al.*, 2003).

La treonina es uno de los diez AA que parecen ser estrictamente esenciales para los animales superiores. La treonina es además uno de los AA más caros, tanto cuando se suministra en forma de proteína como cuando se añade a la dieta en forma cristalina. Las situaciones más deficitarias se plantean en el caso de dietas de bajo contenido en proteína suplementadas con otros aminoácidos industriales. También parece ser uno de los principales constituyentes de las λ -globulinas del plasma (Tenenhouse y Deutsch, 1966) y de la proteína del calostro de cerdas (6%; Duée y Jung, 1973), por lo que se ha indicado que las necesidades de treonina para una respuesta inmune máxima podrían ser mayores que para obtener un crecimiento óptimo (Cuarón *et al.*, 1984).

La treonina se encuentra en baja proporción en la carne, leche, huevo y cereales. El sabor de la carne de los hidrolizados de proteína se debe en parte a la formación de ácido alpha-oxobutírico a partir de la treonina. La digestión de la treonina es relativamente lenta, como consecuencia de una baja velocidad de hidrólisis (Low, 1980) que podría estar relacionada con la especificidad de proteasas y peptidasas

implicadas. Varios autores (Zebrowska, 1973; Buraczewka *et al.*, 1975; Tanksley *et al.*, 1981) han informado que la treonina es el AA esencial que se absorbe con mayor lentitud en el cerdo.

Función de treonina en la inmunidad

Cuarón *et al.* (1984) demostraron para cerdas alimentadas con una dieta a base de sorgo, que la lisina es el primer AA limitante para la retención de nitrógeno, y la treonina el primer AA limitante para la producción de inmunoglobulinas G (IgG), la inmunoglobulina más abundante encontrada en el plasma. Cerdas alimentadas con una dieta con adición de treonina tuvieron 25% más IgG en el plasma que cerdas alimentadas con la dieta basal. De la misma forma, Hsu *et al.* (2001) indicaron el impacto del aporte de treonina dietética sobre la producción de inmunoglobulinas en cerdas durante la gestación, produjeron más leche con el mayor nivel de IgG al parto (+30%) y 10 días después (+8%). Sin embargo 20 días después del parto, cuando fueron alimentadas con una dieta común de lactancia, esas cerdas y sus lechones mostraron los niveles más bajos de IgG. Los autores señalaron que la IgG extra recibida por los lechones disminuyó su producción endógena. Wang *et al.* (2006) hallaron que la concentración de IgG incrementó ($p=0.02$) en respuesta al aumento en el consumo de treonina digestible (5.3, 5.8, 6.5, 7.5 y 8.5 g/kg) en la dieta, en cerdos de 10 a 25 kg. Los autores concluyeron que para una óptima respuesta inmune, los cerdos de 10 a 25 kg deben consumir 6.6 g/día de treonina digestible.

Requerimientos de lisina y treonina para cerdos de engorda

Los requerimientos de AA para cerdos en crecimiento y finalización difieren por diversos factores, diferencias en alimentación, digestibilidad o biodisponibilidad de AA, por su capacidad genética para la síntesis de proteína corporal, peso vivo, edad,

sexo, manejo de los animales y condiciones ambientales (NRC, 1988; NRC, 1998; Paraksa *et al.*, 1999; Fontes *et al.*, 2000). Así mismo, con base en el modelo de proteína ideal del NRC (1998), por cada 100 g de lisina que se requieren para depositar proteína, se necesitan 60 g de treonina; en contraste, se necesitan 150 g de treonina para mantenimiento por cada 100 g de lisina. Por tanto, se espera que el consumo de lisina tenga un mayor impacto en el crecimiento que en el mantenimiento de los cerdos (Cervantes *et al.*, 2003). El requerimiento de lisina de animales monogástricos son altos debido al elevado contenido de lisina en la carne (5 a 7% de la proteína: Donzele, 2005). El requerimiento de lisina calculado en cerdos castrados en crecimiento (50 kg de PV) corresponde a 15.5, 18 y 21 g/d para una depositación diaria de proteína de 130, 145 y 160 g, respectivamente (Thong y Liebert, 2004a).

La variabilidad de requerimientos de lisina en cerdos puede ser asociado con diferencias individuales en la eficiencia de utilización de lisina o con diferencias en la proporción de lípido a depositación de proteína (Bertolo *et al.*, 2005). En condiciones tropicales, Paraksa *et al.* (1999) encontraron un requerimiento de lisina digestible ileal para cerdos en crecimiento y finalización de 9.9, 15.2 y 17.0 g/d para cerdos de 20 a 40, 40 a 65 y 65 a 90 kg de PV, respectivamente. Aunque los requerimientos de mantenimiento para el cerdo joven representan generalmente menos del 10% del requisito total de AA, las necesidades de mantenimiento en proporción al requerimiento total aumentan mientras que los cerdos se acercan al peso de sacrificio (Fuller *et al.*, 1989). Oliveira *et al.* (2006) reportaron que cerdos machos castrados de 15 a 30 kg de PV, requieren 1.10% de lisina digestible (0.32% Lis/Mcal de ED), que corresponde a un consumo de 12.05 g/día de lisina digestible.

El requerimiento de treonina se encuentra cerca del 4.5% de la proteína total, para las principales variables de respuesta en producción animal (producción de carne, producción de huevo y producción de leche; De Blas *et al.*, 2004).

Las necesidades de treonina son relativamente elevadas, de forma que la relación treonina/lisina en la proteína ideal para cubrir mantenimiento en cerdos es de 151%, considerando que lisina es el 100%. Sin embargo, la relación óptima treonina/lisina para la síntesis de proteína muscular o de proteína láctea disminuye hasta alrededor del 60% (De Blas *et al.*, 2004). Por lo tanto, cabe esperar que la relación óptima global treonina/lisina aumente con la edad del animal, en paralelo al aumento en la proporción de los requerimientos de mantenimiento con respecto a los requisitos totales. Schutte *et al.* (1997), en un trabajo con cerdas de 50 a 95 kg de PV, encontraron valores de 0.40 a 0.41% del requerimiento de treonina digestible para conversión alimenticia, sin considerar las pérdidas endógenas de treonina.

El desempeño de la treonina, además de la utilización para la síntesis de proteína (crecimiento y síntesis de leche), está involucrada en otras funciones fisiológicas, como la digestión y la inmunidad. Consecuentemente, es probable que todo el requerimiento de treonina cambie según la importancia de cada función. Evaluar el requerimiento de treonina para un determinado estado fisiológico es clave para formular dietas balanceadas en AA (Le Bellego *et al.*, 2003). Sin embargo, el requerimiento establecido de un AA depende del criterio de respuesta utilizado (NRC, 1998). Los niveles de lisina y treonina recomendados por el NRC (1998), se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Requerimientos de lisina y treonina en cerdos en crecimiento de 20 a 50 kg de peso vivo, alimentados ad libitum (90% de materia seca).

En 90% de materia seca	Lisina	Treonina
Digestibilidad ileal verdadera (%)	0.83	0.52
Digestibilidad ileal aparente (%)	0.77	0.46
Base total (%)	0.95	0.61

Fuente: NRC (1998).

Efecto del nivel de lisina dietética sobre el comportamiento productivo en cerdos de engorda

Consumo de alimento

En un estudio con cerdos de 95 a 110 kg de PV (Oliveira *et al.*, 2003b), alimentados con dietas con diferente nivel de lisina total (0.50, 0.60, 0.70 0.80 y 0.90%), el consumo de alimento se redujo al incrementar el nivel de lisina en la dieta, mostrando un efecto lineal ($p < 0.03$). También Oliveira *et al.* (2003a) observaron un efecto lineal ($p < 0.10$) del nivel de lisina sobre el consumo de alimento en cerdos de 110 a 125 kg de PV.

En la literatura se señala que a una mayor concentración de lisina en la dieta se limita el consumo, lo cual se explica por un tope de retención de lisina la cual va a limitar el consumo de la misma y la capacidad de su retención en el animal (Susenbeth *et al.*, 1999). Merino *et al.* (2005) encontraron un requerimiento de lisina digestible ileal verdadera (LDIV) de 1.28% de la dieta para cerdos, entre los 45 y los 80 días de edad (14 a 35 kg de PV), lo que representa un consumo diario de casi 13 g de LDIV por día, y cuando los cerdos se siguieron por 21 días más (80 a 101 días de vida), fue 0.90 % de la dieta, con 35 a 50 kg de PV. Loughmiller *et al.* (1998) en un estudio con cerdas en finalización de 91 a 113 kg de PV, con dietas de maíz y pasta de soya,

usando niveles de 0.40, 0.55 y 0.70 % de lisina total, notaron que al incrementar lisina en la dieta aumentó linealmente ($p < 0.05$) el consumo de lisina (11.3, 15.1 y 19.8 g/d). Contrariamente a Witte *et al.* (2000), que encontraron que los niveles de lisina no afectan el consumo de alimento de cerdos (hembras y machos castrados) de 34 a 55, de 55 a 75, y de 91 a 110 kg, atribuyéndolo a que las dietas no entraron dentro del rango de deficientes o de excesos.

El consumo de alimento de los cerdos incrementa cuando la dietas contienen niveles deficientes o excesivos de proteína o lisina, pero cuando el nivel de proteína es adecuado los cerdos tienden a disminuir su consumo (Cline *et al.*, 2000). Hansen y Lewis (1993) evaluaron varios niveles de proteína en cerdos en crecimiento y encontraron que las hembras disminuyeron el consumo de alimento conforme aumentó el nivel de proteína de 11 a 17%, y en niveles mayores de 17% de PC el consumo de alimento se incrementó. Efectos opuestos se encontraron en cerdos machos castrados donde los niveles 11 a 17% de PC el consumo de alimento fueron variables y con niveles mayores al 17% de PC el consumo se redujo. Este comportamiento se atribuyó a que las hembras requieren una mayor cantidad de proteína que los machos castrados, de ahí que las dietas con baja PC el consumo sea menor y viceversa. También reportaron que el comportamiento fue similar entre machos enteros y hembras, ya que son animales más eficientes.

El nivel de proteína en la dieta (16 a 19%) con adición de AA (lisina, metionina, treonina y triptofano) no afecta el consumo de alimento (Orlando *et al.*, 2005). Análogamente a Ferreira *et al.* (2005), quienes no encontraron efectos del nivel de PC con adición de AA en la dieta sobre el consumo de alimento en cerdos machos

castrados de 30 a 60 kg de PV. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Oliveira *et al.* (2006) en cerdos de 15 a 30 kg de PV y con los de Abreu *et al.* (2007) con cerdos de 60-95 kg de PV, quienes tampoco encontraron respuesta del nivel de lisina sobre el consumo de alimento en cerdos.

Ganancia de peso

La ganancia diaria de peso puede ser afectada por el nivel de lisina en la dieta. Cline *et al.* (2000) hallaron diferencias altamente significativas en ganancia de peso de cerdos en crecimiento; así como Oliveira *et al.* (2006) quienes encontraron un efecto cuadrático por el nivel de lisina digestible en la dieta (0.80, 0.90, 1.00, 1.10 y 1.20%) en cerdos de 15 a 30 kg de PV; resultados que coinciden con Abreu *et al.* (2007), quienes también reportaron un efecto cuadrático en la ganancia diaria de peso en cerdos de 60 a 95 kg de PV.

Algunas investigaciones, como la de Pérez *et al.* (2005), demuestran que los niveles más altos de lisina adicionados a la dieta, mejoran la ganancia de peso, encontrando que la ganancia de peso fue mayor cuando los cerdos recibieron 1.15% de lisina en la dieta, en comparación cuando la dieta contenía 0.95 y 1.05% en 0.08 y 0.11 kg/día, respectivamente. Esto coincide con los resultados encontrados por Dunshea *et al.* (1993) quienes obtuvieron mejores resultados sobre la GDP al utilizar niveles de lisina superiores (1.12, 1.31, y 1.50%); y con los de Paraksa *et al.* (1999), quienes observaron que cerdos en crecimiento (20 a 40 y de 40 a 65kg de PV), al incrementar el nivel de lisina en la dieta, provocó una mejora en la ganancia de peso ($p < 0.05$). La máxima ganancia diaria (495 y 811 g/d) y depositación de proteína (99 y 146 g/d) fueron registrados con el nivel de 1.25% de lisina en la dieta en la fase de 20 a 40 kg de PV y 1% para el periodo de 40 a 65 kg. Cabe mencionar que la dieta se basó en

arroz quebrado, salvado de arroz y harina de cacahuate, y no a base de sorgo y pasta soya.

El nivel de proteína en la dieta de 16 a 19%, con adición de AA (lisina, metionina, treonina y triptofano) influenció la ganancia diaria de peso en cerdos de 30 a 60 kg de PV (Orlando *et al.*, 2005). Se ha reportado (Ferreira *et al.*, 2005) que al reducir el nivel de proteína en la dieta se afectó la ganancia de peso en los cerdos de 30 a 60 kg de PV; los animales que recibieron la dieta de 17% de PC mostraron la ganancia de peso más baja que los animales que consumieron las dietas con 15 y 14% de PC. De la misma forma Guay y Trottier (2006), encontraron que al reducir la PC con adición de AA sintéticos en la dieta, decreció linealmente ($p < 0.01$) la ganancia diaria de peso de cerdos en crecimiento. Otros estudios (Friesen *et al.*, 1994; Coma *et al.*, 1995a,b; Friesen *et al.*, 1996; Loughmiller *et al.*, 1998) observaron una respuesta lineal en ganancia de peso, al incrementar los niveles de lisina digestible y total en dietas para hembras y machos castrados en crecimiento y finalización. También Oliveira *et al.* (2003b), en un estudio con cerdos de 95 a 110 kg de PV alimentados con dietas con diferente nivel de lisina total (0.50, 0.60, 0.70, 0.80 y 0.90%), la ganancia diaria de peso mostró un efecto lineal ($p < 0.03$); así como Friesen *et al.* (1995), en donde las hembras con alto potencial genético en la etapa de 72 a 104 kg respondieron linealmente al incremento de lisina digestible y después de este peso su respuesta se comporta de manera cuadrática, ya que a partir de dicho peso sus requerimientos disminuyen debido a una menor eficiencia alimenticia.

Conversión alimenticia y eficiencia alimenticia

En un estudio con cerdos de 95 a 110 kg de PV, alimentados con diferente nivel de lisina total (0.50, 0.60, 0.70, 0.80 y 0.90%) en la dieta, la conversión alimenticia tuvo

un efecto cuadrático ($p < 0.10$), el cual mejoró con el nivel 0.76% de lisina (Oliveira *et al.*, 2003b). Estos resultados coinciden con los de Abreu *et al.* (2007), quienes también hallaron un efecto cuadrático ($p < 0.05$) en la conversión alimenticia en cerdos de 60 a 95 kg de PV.

Otros autores (Hansen y Lewis, 1993; Friesen *et al.*, 1994; Cline *et al.*, 2000) notaron que al incrementar los niveles de lisina se aumentó cuadráticamente la eficiencia alimenticia de cerdos en crecimiento y finalización. Estos mismos autores reportan que el sexo de los animales es determinante en la eficiencia alimenticia, encontrando que los machos enteros fueron los más eficientes, seguidos por las hembras, y por último los machos castrados. Friesen *et al.* (1995) observaron que en hembras en finalización (72 a 104 kg de PV) la eficiencia aumentó de manera lineal, pero después de los 104 kg la eficiencia respondió de forma cuadrática, lo que sugirió que después de este peso, los animales comienzan a ser menos eficientes. Resultados que concuerdan con Oliveira *et al.* (2003a), que también hallaron un efecto lineal ($p < 0.05$) en cerdos de 110 a 125 kg de PV, y con Oliveira *et al.* (2006), que encontraron un efecto lineal ($p < 0.05$) para conversión alimenticia en cerdos de 95 a 110 kg de PV.

En un estudio con cerdos en desarrollo y finalización, estos respondieron ($p < 0.05$) a dosis de lisina digestible (0.41 a 0.71%) en la conversión alimenticia; los requerimientos de lisina estimados fueron 0.58% para cerdos machos y 0.64% en hembras con 50 a 90 kg de PV. Para cerdos de 90 a 110 kg, respondieron ($p < 0.05$) a los niveles de lisina (0.33 a 0.65%) con 0.49% y 0.52% de lisina digestible para cerdos machos y para hembras, respectivamente (Hahn *et al.*, 1995). Orlando *et al.*

(2005) indican que el nivel de proteína en la dieta de 16 a 19 %, con adición de AA (lisina, metionina, treonina y triptofano) influenció en la conversión alimenticia en cerdos de 30 a 60 kg de PV. Similarmente Guay y Trottier (2006) hallaron que al reducir la PC con adición de AA sintéticos en la dieta, decreció linealmente ($p < 0.01$) la conversión alimenticia de cerdos en crecimiento. Resultados diferentes a los de Ferreira *et al.* (2005) quienes no obtuvieron efecto del nivel de PC en la dieta (13 a 17%) sobre la conversión alimenticia en cerdos de 30 a 60 kg de PV.

Ganancia de carne magra

El incremento en la selección genética por tener un cerdo cada vez más magro ha resultado en un incremento en el requerimiento de lisina en la dieta. Esto es especialmente evidente en cerdos comerciales con altas ganancias de carne magra, tal como 0.340 kg/d (Stahly *et al.*, 1991; Friesen *et al.*, 1995).

Se considera que para minimizar la depositación de grasa y garantizar un buen crecimiento y desarrollo muscular, la proporción de lisina debería estar cercana al 0.67%. Sin embargo, parece no ser así en aquellos animales alimentados a base de maíz, pasta de soya o sorgo, los cuales dependerán más del nivel de lisina suministrado (Knowles *et al.*, 1998). Por consiguiente, la distribución del resto de los AA en la proteína va a depender de la cantidad de lisina requerida por el cerdo en su respectivo estado fisiológico constituyéndose de esta manera en lo que se ha llamado la proteína ideal.

La depositación de proteína corporal está estrechamente relacionada con síntesis de músculo o tejido magro. La depositación de proteína corporal es el principal factor que determina los requerimientos diarios de los AA esenciales, como lisina, metionina, metionina + cistina, treonina, triptofano e isoleucina, principalmente (de

Lange y Coudenys, 1997). Es por ello que para los cerdos en crecimiento y finalización, el proporcionar un nivel óptimo de lisina en la dieta es crucial para un máximo crecimiento de tejido magro (Wei y Zimmerman, 1998). En investigaciones recientes se ha encontrado que la depositación de proteína es relativamente constante en cerdos de 20 a 90 kg y después comienza a descender (de Lange y Coudenys, 1997). Mohn y de Lange (1998), encontraron que en hembras la depositación de proteína aumentó linealmente conforme se incrementó el peso vivo de 20 a 70 kg. Sin embargo, Whittemore *et al.* (1988) mencionaron que la mayor capacidad para síntesis de carne magra se encuentra entre los 55 y los 72 kg, que es donde los cerdos comienzan a tener mayor consumo de alimento. La magnitud de la caída en la capacidad de depositar proteína dependerá de la calidad genética de los animales: cerdos con menor calidad genética tendrán una caída más brusca, mientras que con mejor genética su curva de síntesis de proteína será más prolongada (Coffey *et al.*, 1995).

La depositación de proteína en la canal fue influenciada de forma lineal ($p < 0.06$) por el nivel de lisina digestible en la dieta (0.80, 0.90, 1.00, 1.10 y 1.20%) en cerdos de 15 a 30 kg de PV (Oliveira *et al.*, 2006). Orlando *et al.* (2005) indicaron que la depositación de proteína no cambió de 16 a 19% de PC en la dieta, con adición de AA (lisina, metionina, treonina y triptofano). Sin embargo, los animales que consumieron la dieta con el nivel más bajo de PC (15%) también mostraron el nivel más bajo de depositación de proteína (100 g/d). La máxima depositación de proteína se obtuvo con 18% de PC (124 g/d). Estos resultados son diferentes a los de Ferreira *et al.* (2005) quienes, al reducir el nivel de PC (17 a 13%) en la dieta, observaron un aumento en la depositación de proteína en cerdos de 30 a 60 kg de PV.

El requerimiento de lisina dietética para máxima ganancia de tejido magro es mayor al requerimiento para máxima ganancia de peso (Friesen *et al.*, 1994). Por lo anterior es necesario incrementar los niveles de lisina en la dieta para asegurar la mayor depositación de proteína en la canal (Rao y McCracken, 1990). Hahn *et al.* (1995), en un estudio con cerdos en desarrollo y finalización, los cerdos mostraron efecto ($p<0.05$) a dosis de lisina digestible (0.41 a 0.71%) para ganancia de carne magra. También Paraksa *et al.* (1999) obtuvieron diferencias significativas ($p<0.05$) en la depositación de proteína al incrementar el nivel de lisina en dietas para cerdos en crecimiento (20 a 40 y de 40 a 65 kg de PV) con un rango de 0.65 a 1.25% y 0.55 a 1.15% de lisina para cada fase, respectivamente.

En otra investigación con cerdas en finalización de 91 a 113 kg de PV, usando dietas a base de maíz y pasta de soya con diferente nivel de lisina total (0.40, 0.55 y 0.70 %), notaron que al incrementar lisina en la dieta aumentó linealmente ($p<0.05$) el porcentaje de carne magra, pero decreció la grasa en la décima costilla (Loughmiller *et al.*, 1998). Estos resultados coinciden con los de Medina (2002), donde las hembras respondieron mejor a niveles mayores de lisina dietética, con la máxima ganancia de carne magra (0.262 g/d) con el nivel 1.18% de lisina total; para machos castrados no hubo efecto de tratamiento. Oliveira *et al.* (2003b) reportaron que cerdos de 95 a 110 kg de PV, alimentados con dietas con diferente nivel de lisina total (0.50, 0.60, 0.70, 0.80 y 0.90%), la conversión en ganancia de carne magra se redujo de manera lineal. Sin embargo los datos ajustados por “curvas de respuesta” indicaron que el nivel de lisina para la mejor conversión de alimento para ganancia de carne magra fue el 0.79%. Abreu *et al.* (2007) no detectaron efecto del nivel de

lisina digestible (0.70, 0.80, 0.90 y 1.00%) en la dieta, sobre la ganancia de carne magra en cerdos de 60 a 95 kg de PV.

Efecto del nivel de lisina dietética sobre las características de la canal en cerdos de engorda

Grasa dorsal

La selección genética de cerdos para ganancia de carne magra ha disminuido la cantidad de grasa en la canal, pues una mayor cantidad de energía se destina a la síntesis de proteína (Friesen *et al.*, 1994; Cline *et al.*, 2000). Loughmiller *et al.* (1998) notaron que al incrementar el nivel de lisina en la dieta de cerdas en finalización, aumentó linealmente ($p<0.05$) el porcentaje de carne magra y decreció la grasa dorsal. Similarmente, Friesen *et al.* (1994) reportaron que cerdas hembras en crecimiento de 34 a 55 kg y de 55 a 72.5 kg de PV, el contenido de grasa dorsal disminuyó conforme se incrementaron los niveles de lisina (0.54, 0.64, 0.74, 0.84, 0.94 y 1.04%); resultados que coinciden con los de Hansen y Lewis (1993), quienes observaron que la cantidad de grasa dorsal se redujo conforme aumentaron los niveles de proteína, además que los machos enteros tuvieron el menor nivel de grasa, seguidos por las hembras y al final los machos castrados. Esto es diferente a los resultados de Cline *et al.* (2000), quienes encontraron que cerdos en crecimiento, presentaron una mayor cantidad de grasa en la canal cuando consumieron dietas con los niveles más altos de lisina (1.15 y 1.40%); y a los de Ferreira *et al.* (2005), quienes hallaron que al reducir el nivel de PC (17 a 13%) en la dieta, se incrementó la depositación de grasa en la canal de cerdos de 30 a 60 kg de PV.

Área del músculo longissimus

El área del músculo *longissimus* (AML) es una de las variables utilizadas para evaluar la calidad de la canal de cerdos, principalmente porque tiene gran relación con la cantidad de carne magra que un cerdo sintetiza, además de que guarda una proporción estrecha con el nivel de grasa dorsal, ya que al incrementarse el área de músculo *longissimus* hay menor cantidad de energía neta disponible para la síntesis de grasa corporal. Por ello, incrementar tanto el nivel de proteína como de lisina puede asegurar que los animales manifiesten su máximo potencial de síntesis de carne magra y disminuir la síntesis de grasa (Medina, 2002).

Hahn *et al.* (1995) encontraron un efecto ($p < 0.05$) sobre el AML en cerdos en desarrollo en respuesta a niveles de lisina (0.41 a 0.71%); mientras que Hansen y Lewis (1993) hallaron efecto del nivel de proteína en la dieta (11, 13, 15, 17, 19, 21 y 23%) en cerdos en crecimiento, encontrando una respuesta cuadrática sobre el AML al incrementar el nivel de proteína, pero la respuesta fue mayor en machos enteros que en hembras (32.8 cm^2) y machos castrados (30.7 cm^2). Resultados que coinciden con Friesen *et al.* (1994) donde las hembras tuvieron la mayor AML que los machos castrados (34.16 cm^2 vs. 29.75 cm^2) entre los 44 y 104 kg de PV. Estos resultados son similares a los obtenidos por Hahn *et al.* (1995), quienes reportaron una respuesta lineal en el AML al incrementar el nivel de lisina, con los mejores resultados en las hembras con respecto a machos castrados (33.38 cm^2 vs. 31.75 cm^2). También Oliveira *et al.* (2003a), con cerdos de 95 a 110 kg de peso, y Oliveira *et al.* (2003b) con cerdos de 110 a 125 kg de PV, encontraron un efecto lineal ($p < 0.01$) sobre la eficiencia en conversión de músculo cuando los cerdos fueron alimentados con dietas con diferente nivel de lisina total. Medina (2002), reportó una

respuesta cuadrática en el AML por efecto del nivel de lisina total en la dieta (0.80, 0.90, 0.99, 1.09 y 1.18), pero los machos castrados presentaron la mayor AML (19.14 cm²) con respecto a las hembras (18.77 cm²).

Estos estudios sugieren que al incrementar lisina en la dieta se incrementa la síntesis de proteína y se disminuye la síntesis de grasa. Sin embargo, Oliveira *et al.* (2003) no encontraron efecto sobre el AML de cerdos en finalización, alimentados con dietas con diferente nivel de lisina total (0.50, 0.60, 0.70, 0.80 y 0.90%); tampoco Abreu *et al.* (2007), observaron efecto del nivel de lisina digestible (0.70, 0.80, 0.90 y 1.00%) en la dieta, sobre el AML en cerdos de 60 a 95 kg de PV, con alto potencial genético para depositar carne magra en la canal.

La presencia de estrés, incluyendo enfermedad, frena la síntesis de proteína corporal y, por ende, el crecimiento (Morberg, 2000; Blecha, 2000).

Efecto del nivel de lisina dietética sobre la concentración de urea en plasma en cerdos de engorda

La calidad de la proteína dietética está inversamente correlacionada con las concentraciones del nitrógeno ureico en plasma (NUP); esto quedó demostrado por Eggum (1970), al adicionar el primer AA limitante se mejoró el equilibrio de AA en la dieta y las concentraciones del NUP se redujeron. La concentración de urea en plasma ha sido utilizada para proporcionar una estimación del requerimiento de AA para cerdos en crecimiento, gestantes y lactantes, durante periodos cortos y largos (Coma *et al.*, 1995a). El metabolismo de nitrógeno tiene una respuesta a cambios en la concentración de AA, pues se ha encontrado que la concentración de urea cambia 24 horas después modificar la cantidad de AA ofrecidos en la dieta, y alcanza un

nuevo equilibrio a los 2 ó 3 días de haber modificado la dieta (Coma *et al.*, 1995a; Coma y Zimmerman, 1993). La reducción de urea presumiblemente se refleja en un uso más eficiente del nitrógeno total, por ello los niveles más bajos de urea en cerdos pudieran indicar los niveles adecuados de AA debido a que hay una mayor retención de nitrógeno (Coma *et al.*, 1995a).

El requerimiento de lisina para cerdos puede ser estimado por la concentración de urea en plasma sanguíneo, pues es la forma de transporte del exceso de nitrógeno hacia el riñón para su excreción (Wei y Zimmerman, 1998). Coma *et al.* (1995b) encontraron que las concentraciones de urea en plasma están inversamente relacionadas con la calidad de la proteína, y por otro lado, la cantidad de proteína es directamente relacionada con los niveles de urea en plasma.

En un estudio reciente (Abreu *et al.*, 2007) se observó una respuesta cuadrática en la concentración de urea en plasma de cerdos de 60 a 95 kg de PV, con diferente nivel de lisina en la dieta; dicha concentración se minimizó con 0.83% de lisina digestible. Resultados que coinciden con Friesen *et al.* (1994) que obtuvieron los niveles más bajos de urea (11.64 mg/100 ml) en cerdas en crecimiento cuando la dieta contenía 0.85% de lisina digestible. También Coma *et al.* (1995a) observaron que en cerdos en crecimiento y finalización, los niveles de urea disminuyen linealmente conforme se incrementan los niveles de lisina, con un punto de inflexión al 0.85% de lisina en cerdos de 32 a 36 kg, 0.76% para cerdos de 44 a 49 kg y 1.05% para cerdos de 25 a 30 kg de PV. Al incrementar los niveles de lisina por arriba de los requerimientos, la concentración de urea aumentó. De la misma manera, Loughmiller *et al.* (1998) notaron que al incrementar el nivel de lisina en la dieta aumentó linealmente

($p < 0.05$) la concentración de urea en plasma en cerdas en finalización. Hahn *et al.* (1995), obtuvieron respuesta en el NUP ($p < 0.05$) de cerdos en desarrollo (50 a 90 kg) y finalización (91 a 111 kg) con 0.41 a 0.71% y 0.33 a 0.65% de lisina digestible para cada fase, respectivamente.

Resultados de otro estudio, también se encontró que el nivel de urea en plasma disminuyó a medida que la concentración de lisina en la dieta se incrementó y mostró una correlación negativa con la retención de N (Paraksa *et al.*, 1999). La máxima depositación de N coincidió con el valor mínimo de la concentración de urea en plasma. La concentración de AA dietéticos más alta que el requerimiento resulta en un exceso de AA que pueden ser catabolizados y en consecuencia se encuentra una alta concentración de urea en plasma (Paraksa *et al.*, 1999).

Por otra parte, Fabian *et al.* (2003) encontraron que la concentración de urea en cerdos de 20 a 50 kg de dos líneas genéticas, una testigo y otra de alto potencial genético, fue de 15.3 y 11.5 mg/dL de urea, respectivamente; lo que quiere decir que las líneas con alto potencial genético son más eficientes en la utilización de proteína.

Efecto del nivel de treonina dietética sobre el comportamiento productivo en cerdos de engorda

Consumo de alimento

En un estudio con cerdos en crecimiento, la adición de treonina a dietas a base sorgo y pasta de soya con 16% de PC no afectó ninguna variable de comportamiento productivo (Figuerola *et al.* 1999). También Berto *et al.* (2002), no encontraron diferencias entre tratamientos ($p > 0.10$) para consumo de alimento en lechones

destetados (7.23 a 12.32 kg de PV) y en iniciación (12.64 a 23.81 kg de PV)), con cuatro niveles de treonina en la dieta (0.80, 0.87, 0.93 y 0.99%; y 0.69, 0.74, 0.80 y 0.85%) para cada fase. Wang *et al.* (2006), tampoco encontraron efecto ($p=0.82$) sobre el consumo de alimento por la adición de treonina (0, 0.5, 1.2, 2.2 y 3.2 g/kg) con una aportación de 5.3, 5.8, 6.5, 7.5 y 8.5 g/kg de treonina digestible en la dieta en cerdos de 10 a 25 kg de PV. Sin embargo, Pozza *et al.* (1999) observaron un efecto cuadrático ($p<0.01$) en el consumo de alimento en cerdos de 15 a 30 kg de PV, con 0.49, 0.54, 0.59, 0.64, y 0.69% de treonina en la dieta, con un consumo máximo de 14.24 g con el nivel más alto de treonina. Resultados que coinciden con Rodrigues *et al.* (2001) donde el consumo de alimento se incrementó cuadráticamente por arriba del 0.66% de treonina en la dieta en cerdas con alto potencial genético de 30 a 60 kg de PV.

Ganancia de peso

En la ganancia de peso, Ettle *et al.* (2004), con el fin de encontrar la adición óptima de treonina digestible ileal verdadera para cerdos en crecimiento (35 a 65 kg de PV) y en finalización (65 a 110 kg de PV), evaluaron cuatro niveles de treonina combinados con dos de lisina. En cerdos en crecimiento, los machos consumieron más alimento que las hembras, con similar tasa de crecimiento, pero en las cerdas disminuyó significativamente la conversión alimenticia comparada con cerdos machos castrados. En cerdos en finalización, la ganancia diaria de peso se mejoró significativamente de 821 a 902 g al incrementar la concentración de treonina digestible ileal en la dieta de 3.14 a 2.94 g/kg, pero no difirieron por la adición de lisina. Los autores concluyeron que los requerimientos de treonina digestible ileal para optimizar ganancia diaria y conversión alimenticia fueron 10.3 g/animal/d para crecimiento y 10.7 g/animal/d para cerdos en finalización.

En cerdos de 3 a 4 semanas de edad, alimentados con una dieta a base de grano de trigo, avena y pasta de soya, suplementada con treonina en niveles de 0.53 a 0.83% en la dieta. Los resultados indicaron un incremento en la ganancia de peso ($p<0.02$) y eficiencia alimenticia ($p<0.01$), con niveles de 0.53 a 0.68% de treonina en la dieta; arriba de estos niveles la respuesta de los cerdos no fue significativa ($p>0.05$) y fue muy variable (Lewis y Peo, 1986). Wang *et al.* (2006), hallaron que al incrementar el nivel de treonina digestible (5.3, 5.8, 6.5, 7.5 y 8.5 g/kg) incrementó la ganancia de peso ($p=0.047$) en cerdos de 10 a 25 kg de PV. La ganancia de peso se maximizó con un consumo de 5.9 g por día de treonina digestible. Por otra parte, Myer *et al.* (1996) reportaron que 0.67% de treonina mejoró la ganancia de peso, en cerdos de 25 a 55 kg de PV. También Rodrigues *et al.* (2001) encontraron que los niveles de treonina (0.60, 0.65, 0.70, 0.75 y 0.80%) influenciaron ($p<0.04$) de forma lineal la ganancia de peso en cerdos de 30 a 60 kg de PV.

La adición de AA sintéticos entre ellos treonina, a dietas a base de sorgo y pasta de soya, variando el nivel de proteína (12, 13, 14 y 16%) en cerdos de 20 a 50 kg de PV, Hansen *et al.* (1993), encontraron que al agregar treonina a la dieta de 12% de PC, pasando de 0.42 a 0.54% se mejoró la ganancia de peso en 11% y la eficiencia alimenticia en 8%. Con la adición de treonina a dietas con 13% (0.47 vs 0.55%) y con 14% de PC (0.51 vs 0.58% de treonina) se mejoró la eficiencia alimenticia pero no hubo efecto sobre la ganancia de peso. La adición de treonina a la dieta con 14% de PC tuvo un efecto similar al obtenido con 16% de PC en la dieta. Las dietas con 12% de PC más la adición de diversos AA (treonina, metionina, triptofano y lisina), tuvieron menores pesos al compararlos con una dieta de 16% de PC. De la misma forma, Taylor *et al.* (1982) también encontraron efecto del nivel de treonina: la mejor

respuesta en ganancia de peso ($p<0.01$) se obtuvo con niveles de treonina de 0.48 a 0.66% en cerdos de 25 a 55 kg de PV, utilizando una dieta baja en proteína (13% PC) a base de cebada, pasta de soya y harina de pescado. Saldana *et al.* (1994) encontraron que la ganancia de peso tiene una respuesta cuadrática al incrementar los niveles de treonina en la dieta en cerdos en crecimiento. También la ganancia de peso y la conversión alimenticia en cerdos en finalización aumentaron lineal ($p<0.01$) y cuadráticamente ($p<0.01$) al incrementar treonina el dieta. Pichardo *et al.* (2003) encontraron que la adición de treonina incrementó la ganancia de peso. Sin embargo, Berto *et al.* (2002) no encontraron diferencias entre tratamientos ($p>0.10$) para ganancia diaria de peso en lechones destetados (7.23 a 12.32 kg de PV) y lechones en iniciación (12.64 a 23.81 kg), evaluando cuatro niveles de treonina en la dieta (0.80, 0.87, 0.93, 0.99% y 0.69, 0.74, 0.80, 0.85%) para cada fase. Sin embargo, cuando la ganancia de peso fue ajustada por regresión, se observó un efecto cuadrático para lechones destetados ($p=0.08$) y en iniciación ($p<0.05$).

Conversión alimenticia y eficiencia alimenticia

En un estudio realizado por Ettle *et al.* (2004), se encontró que la conversión alimenticia decreció significativamente con el aumento en la concentración de treonina digestible en dietas para cerdos en crecimiento. En cerdos en finalización la conversión alimenticia fue significativamente mejorada al incrementar la concentración de treonina digestible en la dieta. Los autores concluyeron que los requerimientos de treonina digestible ileal para optimizar la conversión alimenticia fue 10.3 g/animal/d para crecimiento y 10.7 g/animal /d para cerdos en finalización. Otros autores (Wang *et al.*, 2006) indicaron que al incrementar el nivel de treonina digestible (5.3, 5.8, 6.5, 7.5 y 8.5 g/kg) en la dieta, mejoró la conversión alimenticia ($p<0.01$) en cerdos de 10 a 25 kg, y la conversión alimenticia fue maximizada con un

consumo de 5.9 g por día de treonina digestible. Taylor *et al.* (1982) hallaron la mejor respuesta en conversión alimenticia ($p<0.001$) cuando la dieta contenía 0.56% de treonina; dicha dieta contenía 13% de PC a base de cebada, pasta de soya y harina de pescado, proporcionada a cerdos de 25 a 55 kg de PV, adicionada con diferente nivel de treonina (0.48 a 0.66%).

Saldana *et al.* (1994) observaron que la conversión alimenticia mostró un efecto lineal al incrementar los niveles de treonina en la dieta en cerdos en crecimiento, y un efecto cuadrático ($p<0.01$) en cerdos en finalización. Análogamente Pozza *et al.* (2000) obtuvieron un efecto cuadrático ($p<0.01$) en la conversión alimenticia. También Berto *et al.* (2002) encontraron este efecto cuadrático ($p=0.035$) al ajustar la conversión alimenticia por regresión, en lechones en iniciación (12.64 a 23.81 kg), con cuatro niveles de treonina en la dieta (0.69, 0.74, 0.80, 0.85%), y un efecto lineal ($p<0.01$) sobre conversión alimenticia en lechones de 7.23 a 12.32 kg de PV, con 0.80, 0.87, 0.93, y 0.99% de treonina digestible en la dieta. Por otro lado, Rosell y Zimmerman (1985) reportaron que la conversión alimenticia se minimizó ($p<0.01$) con 0.70% de treonina dietética en cerdos de 5 a 15 kg; resultados que coinciden con Rodrigues *et al.* (2001) quienes obtuvieron que la conversión alimenticia fue influenciada ($p<0.01$) por el nivel de treonina en la dieta, y se redujo al 0.70% de treonina total, correspondiente a 0.62% de treonina digestible.

Ganancia de carne magra

En la ganancia de carne magra, Ettle *et al.* (2004) no obtuvieron efecto de la adición de treonina en la dieta, lo mismo que Donzele (2005) quien no observó un efecto del nivel de treonina sobre la ganancia de carne magra en cerdos en finalización; sin embargo, el mejor porcentaje de carne magra (57.79%) se obtuvo con el nivel más

bajo de treonina (0.45%), y el porcentaje más bajo de carne magra (57%) se obtuvo con el nivel de treonina más alto (0.57%). Thong y Liebert (2004c) indicaron que el máximo nitrógeno retenido por día es mucho más alto en cerdos con genotipos modernos que con cerdos con genotipos más antiguos. Los cerdos con genotipos modernos tienen un alto potencial para depositación de proteína. Los autores concluyeron que los requerimientos de treonina encontrados dependieron de la eficiencia en depositación de proteína (8.96, 10.45 y 12.22 g/día de treonina por 130, 145 y 160 g de depositación de proteína diaria en cerdos de 50 kg de PV).

Efecto del nivel de treonina dietética sobre las características de la canal en cerdos de engorda

Grasa dorsal

Existen pocos estudios del efecto de treonina digestible sobre la grasa dorsal. Generalmente se habla del nivel de PC en la dieta con adición de AA y existe poca información de la adición de treonina en la dieta sobre calidad de la canal. Ferreira *et al.* (2005) encontraron que al reducir el nivel de PC (17 a 13%) en la dieta, se incrementó la depositación de grasa en la canal en cerdos de 30 a 60 kg de PV, con adición de AA a la dieta (lisina, metionina, treonina y triptofano). Esto es contrario a los reportes de Eittle *et al.* (2004), quienes no hallaron diferencias significativas en la grasa dorsal cuando se adicionó treonina a la dieta.

Área del músculo longissimus

Los niveles de treonina influenciaron la tasa de depositación de proteína, incrementando cuadráticamente al nivel de 0.70% de treonina total y 0.75% de treonina: lisina digestible, en cerdas de 30 a 60 kg de PV con alto potencial genético (Rodrigues *et al.*, 2001). Thong y Liebert (2004b) indicaron que la eficiencia de

treonina varía dependiendo de la fuente de proteína. Dichos autores reportan un requerimiento de treonina para cerdos de 50 kg de PV, de 8.52, 9.92 y 11.61 g/d para una depositación de proteína diaria de 130, 145 y 160 g, respectivamente. Sin embargo, hay poca investigación del efecto del nivel de treonina en la dieta sobre el área del músculo *longissimus*.

Relación treonina: lisina en la dieta

En la revisión de literatura realizada por Le Bellego *et al.* (2003), se reporta que en seis de los 16 ensayos analizados concluyeron que la relación Tre:Lis óptima es un poco menor que 65%, mientras los otros diez ensayos concluyeron que la relación óptima Tre:Lis varía del 67 al 73% (69% como media) considerando a lisina como el 100%. Finalmente, en la mayoría de los experimentos y en promedio la relación óptima Tre:Lis para cerdos en crecimiento-finalización es de por lo menos 65% (base digestibilidad ileal estandarizada). Las ecuaciones polinomiales ajustadas para curvas de respuesta muestran que cuando se aumenta la relación Tre:Lis por medio de la adición de L-treonina de 60 a 65%, la ganancia de peso mejora en 3 puntos porcentuales y la conversión alimenticia en 2.5 puntos.

Otras referencias de literatura indican un aumento en la relación óptima Tre:Lis en el requerimiento de mantenimiento, a medida que el cerdo aumenta su peso o su edad. Empezando con una relación Tre:Lis óptima alrededor de 65% en animales jóvenes, sugieren un aumento hasta 68 o 70% al término de la engorda (NRC, 1998; Baker, 2000). Estas recomendaciones se originan en el requerimiento de mantenimiento reportado por Fuller *et al.* (1989), quienes estimaron los requerimientos de mantenimiento de lisina y de treonina en 36 y 53 mg/kg PV^{0.75}, respectivamente, lo que resulta en una relación Tre:Lis del 147% para mantenimiento, comparada con la

relación Tre:Lis del 57% encontrada en promedio para la composición de la canal de cerdos, según la revisión de literatura de Mahan y Shields (1998). Eso resalta la importancia de la treonina para la función de mantenimiento y liga todo el requerimiento de treonina con el peso corporal del animal: cuanto más pesado el animal, más alto es el requerimiento de treonina. La alta relación Tre:Lis evaluada para mantenimiento por Fuller *et al.* (1989) está de acuerdo con la alta contribución de la treonina para la función digestiva, que es uno de los componentes del mantenimiento. Sin embargo Moughan (1999) sugiere que la relación Tre:Lis para mantenimiento sería del 73% y, por lo tanto, más baja que la indicada por Fuller *et al.* (1989). Williams *et al.* (1993) reportan que los cocientes de Tre:Lis (Lis = 100) son 64 y 68% para la fase de crecimiento y finalización respectivamente, que producen un óptimo rendimiento y retención de proteína.

Efecto del nivel de treonina dietética sobre la concentración de urea en plasma en cerdos de engorda

Rosell y Zimmerman (1985) indicaron que la adición de 0.40% de metionina, y 0.30% de treonina a dietas con 16% de PC, con una concentración calculada de 0.57% de AA sulfurados y 0.68% de treonina, no afectó ($p>0.10$) la concentración de N ureico en plasma. Pero con 0.70% se minimizó ($p<0.01$) la concentración de N en plasma ($p<0.01$). La concentración de treonina en plasma se incrementó ($p<0.01$) por la adición de treonina y se aceleró arriba de 0.65% de treonina en la dieta. La adición de treonina no afectó la concentración de metionina, triptofano, y lisina en plasma; pero incrementó leucina ($p<0.01$) e isoleucina ($p<0.05$). En dietas con 15% de PC con una concentración calculada de 0.57% de AA azufrados y 0.61% de treonina con una adición de 0.40% de metionina y/o 0.15% de treonina, la adición de AA no afectó el comportamiento productivo de los cerdos, pero la adición de treonina en la

dieta tuvo menos N ureico en plasma, indicando que 0.61% de treonina en la dieta fue marginalmente deficiente en cerdos de 5 a 15 kg de PV.

Berto *et al.* (2002) encontraron un efecto cuadrático ($p < 0.01$) y lineal ($p < 0.05$) en la concentración de urea en plasma de lechones destetados y en iniciación al adicionar cuatro niveles de treonina en la dieta (0.80, 0.87, 0.93, 0.99% y 0.69, 0.74, 0.80, 0.85%) en cada fase. La concentración de urea fue reducida al mínimo con 0.89% de treonina total en lechones destetados (7 a 12 kg de PV) y con 0.85% de treonina total para cerdos en fase de iniciación (12 a 23 kg de PV). También Pozza *et al.* (2000) observaron un efecto cuadrático ($p < 0.05$) en la concentración de urea en plasma de cerdos de 15 a 30 kg de PV, con 0.49, 0.54, 0.59, 0.64, y 0.69% de treonina en la dieta, con la mínima concentración (7.9 mg/dL) con el nivel de 0.64% de treonina. Wang *et al.* (2006) notaron que la concentración de urea en plasma disminuyó ($p = 0.01$) cuando el consumo de alimento se incrementó de 4.1 a 5.0 g por día en cerdos de 10 a 25 kg.

Nivel óptimo biológico y económico de lisina y treonina para cerdos en crecimiento.

Para estimar los niveles óptimos biológico (NOB) y económico (NOE) de cualquier nutriente es necesario construir y solucionar modelos econométricos. El modelo econométrico utiliza los modelos de predicción seleccionados para el consumo de alimento, ganancia de peso y otras variables de interés, con el propósito de simular el comportamiento productivo de los animales (Ovando, 2001). Los NOB encontrados son muy variables, pues para su determinación influyen una gran variedad de factores, como ambientales, genotipo, nutrientes de la dieta, peso inicial y final del cerdo, método de alimentación, digestibilidad y disponibilidad de aminoácidos en los

ingredientes (García, 1998). Medina (2002) encontró que el nivel de lisina total que maximizó ganancia de peso fue 1.18%, el cual presentó una máxima ganancia de peso de 0.771 kg/d. García (1998) reportó que el nivel de lisina total que maximiza ganancia de peso en la etapa de 20 a 50 kg es de 0.9%, mientras que Crenshaw *et al.* (1995) observaron un valor de 0.80% de lisina, y NRC (1998) recomienda para la misma etapa un nivel de 0.95% de lisina total. No obstante, Orozco (1999) indicó que el nivel de lisina total que maximiza la ganancia de peso fue de 1.32%.

La discrepancia en los resultados se puede deber a una gran variedad de factores tales como nivel de proteína de la dieta, nivel de energía, genotipo de los animales, calidad de los ingredientes utilizados en la alimentación de los cerdos, condiciones ambientales y manejo específico de los animales dentro de cada experimento. Para características de la canal, Medina (2002) reporta que los niveles de lisina total que maximizaron ganancia de carne magra (1.10%) y área del músculo *longissimus* (1.38%) fue inferior al NOB para ganancia de peso, pero fue superior al nivel de lisina recomendado por el NRC (1998). Oliveira *et al.* (2006) obtuvo un requerimiento óptimo de 1.10% de lisina digestible en cerdos de 15 a 30 kg de PV, con un consumo de 12.05 g/d.

En el caso de treonina, Berto *et al.* (2002) reportó 0.76% de treonina que maximizó la ganancia diaria de peso y minimizó la conversión alimenticia en animales de 12 a 23 kg de PV. Pozza *et al.* (1999) concluyeron que los mejores niveles de treonina total y digestible fueron 0.63 y 0.56%, respectivamente, en cerdos machos castrados de 15 a 30 kg. Pozza *et al.* (2000) encontraron un requerimiento de treonina total y digestible verdadera, de 0.60% y 0.53%, respectivamente, para cerdos de 15 a 30 kg

de peso, valor próximo al 0.52% propuesto por el NRC (1998) para cerdos de 10 a 50 kg. Schutte *et al.* (1990) reportan una máxima eficiencia alimenticia con 0.60% de treonina en cerdos (machos castrados y hembras) y 0.57% para máxima ganancia de peso en cerdos de 20 a 40 kg de PV. Williams *et al.* (1993) reportan que los cocientes de Tre:Lis (Lis = 100) son 64 y 68% para la fase de crecimiento y finalización, respectivamente, que producen un óptimo rendimiento y retención de la proteína. Las diferencias en las recomendaciones encontradas en literatura se atribuyen, a lo ya mencionado para la variabilidad de resultados en el caso de lisina, además del criterio utilizado para el establecimiento de los requerimientos (Berto *et al.*, 2002).

Los NOB pudieran tener la desventaja de que no producen las mayores utilidades para los porcicultores, por ello el NOE puede ser una alternativa que buscará incrementar las utilidades. En general, para maximizar las utilidades se tienen dos opciones: donde el nivel de producción es semifijo o poco variable y cuando el nivel de producción es variable. Los niveles óptimos económicos dependen del precio de venta del producto y de los costos de cada uno de los ingredientes (González, 1994). Los NOE se utilizan para maximizar las utilidades del productor. Medina (2002) encontró un NOE de lisina con 1.18% de lisina total, que coincidió con el NOB. Similarmente, García (1998) encontró que el NOB y NOE fueron iguales (0.90%). Orozco (1999) obtuvo que el NOB (1.32%) fue superior al NOE (0.72%), atribuyéndolo al bajo precio del cerdo. Sin embargo, para treonina no se ha reportado un NOE en cerdos de engorda.

PROBLEMÁTICA, HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Problemática

La formulación de una dieta para cerdos se basa en ingredientes como pasta de soya como fuente de proteína y sorgo como fuente energía; pero existen diferencias en el contenido de AA esenciales siendo en el sorgo los más limitantes lisina y treonina (Kopinski, 2005) y en pasta de soya la lisina. De aquí que el presente estudio se enfoque a estos AA. En México se ha investigado muy poco sobre el efecto de lisina y treonina dietética en el comportamiento productivo y las características de la canal, con respecto al nivel de urea en plasma. Así mismo, no se sabe con certeza el nivel óptimo biológico de estos AA para cerdos en crecimiento, para sexo y para líneas genéticas definidas, ya que existe una gran variabilidad en datos encontrados por diferentes autores y con los requerimientos del NRC (1998). Por otra parte, se desconoce el nivel óptimo económico de lisina para maximizar las utilidades. De esto se derivan las siguientes hipótesis.

Hipótesis

1. Los niveles de lisina y treonina digestible afectan el comportamiento productivo y las características de la canal de cerdos en crecimiento y la concentración de urea en plasma.
2. Los niveles de lisina dietética digestible que optimizan el comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea, son diferentes entre sí, y distintos al nivel recomendado por el NRC (1998) para cerdos en crecimiento.

3. El nivel óptimo económico de lisina dietética digestible es diferente al nivel óptimo biológico para maximizar el comportamiento productivo, las características de la canal, la concentración de urea y al nivel recomendado por el NRC (1998) para cerdos en crecimiento.

Objetivos

1. Evaluar el efecto de niveles dietéticos de lisina y treonina digestible sobre el comportamiento productivo, las características de la canal y la concentración de urea en plasma en cerdos en crecimiento.
2. Calcular los niveles óptimos biológicos de lisina digestible para las principales variables del comportamiento productivo, las características de la canal y la concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento, para compararlos entre sí y con el nivel recomendado por el NRC (1998).
3. Calcular el nivel óptimo económico de lisina digestible para la máxima utilidad en cerdos en crecimiento y compararlo con el nivel recomendado por el NRC (1998).

LITERATURA CITADA

- Abreu, M. L. T. de, J. L. Donzele, de O. R. F. Miranda, A. L. S. de, Oliveira, F. de A. Santos, e A. A. Pereira. 2007. Níveis de lisina digestível em rações, utilizando-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. R. Bras. Zootec. 36(1): 54-61.
- Araki, K. 1990. Production of amino acid. *In*: Nutrition. Protein and amino acids. Yoshida, H. Naito, Y. Nuyama and T. Susuki (eds). Japan Sci. Soc. Press. Tokio, Japan. 4 p.
- Baker, D. H. 2000. Recent advances in the use of the ideal protein concept for swine feed formulation. Asian-Aus. J. Anim. Sci. 13: 294-301.
- Batterham, E. S., L. M. Andersen, D. R. Baigent, and E. White. 1990. Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs: Effects of dietary lysine concentration on efficiency of lysine retention. Br. J. Nutr. 64: 81-94.
- Berto, A. D., S. F. Wechsler, and C. C. Noronha. 2002. Exigências de treonina de leitões dos 7 aos 12 e dos 12 aos 23 kg. R. Bras. Zootec. 31(3): 1176-1183.
- Bertolo, R. R., S. Moehn, P. B. Pencharz, and R. O. Ball. 2005. Estimate of the variability of the lysine requirement of growing pigs using the indicator amino acid oxidation technique. J. Anim. Sci. 83: 2535-2542.
- Bikker, P., W. A. Verstegen, and M. W. Bosch. 1994. Amino acid composition of growing pigs in affected by protein and energy intake. J. Nutr. 124: 1961-1969.
- Blecha, F. 2000. Immune system response to stress. *In*: The biology of animal stress. Basic principles and implications for animal welfare. Moberg, G. P. y J. A. Mench (eds). 1st ed. CAB International. London, UK. pp: 111-121.
- Buraczewska, L., S. Buraczewski, and T. Browska. 1975. Digestion and absorption in the small intestine of pigs. Part 2. Amino acids content in digest and their absorption. Rocznik Nauk Rolniczych, Serie B. 97(1): 103 (Abstract).
- Cervantes, R. M., P. A. Araiza, S. M. Barrera, G. A. Pichardo, O. N. Torrentera, R. M. Cervantes, and S. S. Espinoza. 2003. Biological availability of lysine and

- threonine in wheat (*triticum aestivum*) for growing pigs. *Agrociencia* 37: 129-138.
- 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, R. D., G. R. Parker, and K. M. Laurent. 1995. Feeding growing-finishing pigs to maximize lean growth rate. ASC-147. College of agriculture, University of Kentucky. http://www.animalgenome.org/edu/PIH/prod_grow_finish.pdf. Fecha de acceso: 25 de Octubre de 2006.
- Coma, J., and D. R. Zimmerman. 1993. Determination of lysine requirements of growing pigs using plasma urea nitrogen in short-term trials. *J. Anim. Sci.* 71 (Suppl. 1): 60 (Abstr.).
- Coma, J., D. Carrion, and D. R. Zimmerman, 1995a. 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. R. Zimmerman, and D. Carrion, 1995b. Interactive effects of feed intake and stage of growth on the lysine requirement of pigs. *J. Anim. Sci.* 73: 3369-3375.
- Crenshaw, T. P., M. J. Gahl, K. P. Blemingsm, and N. J. Benevenga. 1995. Cost of additional dietary lysine must be taken into account. *Feedstuffs*. pp:13-23.
- Cuarón, I. J. A. 1996. Aminoácidos digestibles en la formulación para raciones para cerdos. *In: Seminario Internacional Sobre Nutrición En No Rumiantes. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.* 4 p.
- Cuarón, J. A., R. P. Chapple, and R. A. Easter. 1984. Effect of lysine and threonine supplementation of sorghum gestation diets on nitrogen balance and plasma constituents in first litter gilts. *J. Anim. Sci.* 58: 631-637.
- De Blas C., G. Mateos G. y P. Rebollar G. 2003. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos (2ª Ed.). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (ed). Madrid, España. 423 p.

- De Blas C., A. García I. y R. Carabaño. 2004. Necesidades de treonina en monogástricos. XVI Curso de especialización. FEDNA (ed). Departamento de Producción Animal. Universidad Politécnica de Madrid. 22 p.
- De Lange, K., and K. Coudenys. 1997. Interactions between nutrition and the expression of genetic performance potentials in grower-finisher pigs. Ping Liand, Department of Animal Science. University of Guelph. Acceso: 27 de Febrero de 2007. <http://mark.asci.ncsu.edu/nsif/96proc/delange.htm>
- Donzele, J. L. 2005. Requerimientos de treonina digestible de cerdos machos castrados de alto potencial genético, desde los 95 a los 125 kg. Ajinomoto Animal Nutrition. Informe de investigación No. 43. Universidade Federal de Viçosa. www.lysine.com. Acceso: 5 de Agosto de 2006.
- Duée, P. H., and J. Jung. 1973. Composition en acides aminés du lait de truies. Ann. Zootech. 22: 243-248.
- Dunshea, F. R., R. H. King, and R. G. Campbell. 1993. Interrelationships between dietary protein and ractopamine on protein and lipid deposition in finishing gilts. J. Anim. Sci. 71: 2931-2941.
- Eggum, B. O. 1970. Blood urea measurement as a technique for assessing protein quality. Br. J. Nutr. 24(4): 983-988.
- Ettle, T., D. A. Roth-Maier, J. Bartelt, and F. X. Roth. 2004. Requirement of true ileal digestible threonine of growing and finishing pigs. J. Anim. Physiol. and Anim. Nutr. 88 (5-6): 211-222.
- Fabian, J., L. I. Chiba, D. L. Kuhlers, L. T. Frobish, K. Nadarajah, and W. H. McElhenney. 2003. Growth performance, dry matter and nitrogen digestibilities, serum profile, and carcass and meat quality of pigs with distinct genotypes. J. Anim. Sci. 81: 1142-1149.
- Fabian, J., L. I. Chiba, L. T. Frobish, W. H. McElhenney, D. L. Kuhlers, and K. Nadarajah. 2004. Compensatory growth and nitrogen balance in grower-finisher pigs. J. Anim. Sci. 82: 2579-2587.
- Ferreira, R. A., de O. R. F. Miranda, J. L. Donzele, de A. C. Viera, S. F. C. de Oliveira, F. D. de Oliveira, e S. E. Paes. 2005. Reducto do nivel de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em rações para suínos machos castrados

mantidos em ambiente termoneutro dos 30 aos 60 kg. R. Bras. Zootec. 34(2): 548-556.

Figueroa, J. L., M. Cervantes, and M. Cuca. 1999. Lysine and threonine sources for growing pigs under heat stress. C. J. Agric. Sci. 33: 183-189.

Fontes, de O. D., J. L. Donzele, de O. R. F. 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 metionina+cistina, treonina, triptofano, isoleucina e valina. R. Bras. Zootec. 29(3): 776-783.

Fontes, de O. D., J. L. Donzele, de O. R. F. Miranda, S. F. C. de Oliveira, e D. C. Lopes. 2005. Níveis de lisina para leitoas selecionadas geneticamente para deposição de carne magra na carcaça, dos 15 aos 30 kg. R. Bras. Zootec. 34(1): 90-97.

Fowler V., R. 1990. El concepto de la proteína ideal. *In*: Segundo Ciclo de Conferencias Sobre Aminoácidos Sintéticos. Fermex (ed). México, D.F. pp: 15-25.

Friesen, K. G., J. L. Nelssen, 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 kilograms. J. Anim. Sci. 72: 1761-1770.

Friesen, K. G., J. L. Nelssen, R. D. Goodband, M. D. Tokach, J. A. Unruh, D. H. Kropf, and B. J. Kerr. 1995. The effect of dietary lysine on growth, carcass composition, and lipid metabolism in high-lean growth gilts feed from 72 to 136 kilograms. J. Anim. Sci. 73: 3392-3401.

Friesen K. G., J. L. Nelssen, R. D. Goodband, M. D. Tokach, A. P. Schinkel, and M. Einstein. 1996. The use of compositional growth curves for assessing the response to dietary lysine by high-lean growth gilts. Anim. Sci. 62: 159-169.

Fuller, M. F., R. McWilliam, T. C. Wang, and L. R. Giles. 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. 2. Requirements for maintenance and for tissue protein accretion. Br. J. Nutr. 62: 255-267.

García G., A. 1998. Niveles óptimos biológico y económico de L-lisina en dietas para cerdas en crecimiento. Tesis de Maestría en Producción Animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 93 p.

- González A., M. J. 1994. La formulación econométrica: Un beneficio para el productor. *In: Memorias VI Simposio de Avances Tecnológicos. NOVUS INTERNATIONAL INC., (ed). 22 y 30 de Julio, Cancún, Q. R., México. pp: 23-30.*
- Guay, F., and N. L. Trottier. 2006. Muscle growth and plasma concentrations of amino acids, insulin-like growth factor-I, and insulin in growing pigs fed reduced-protein diets. *J. Anim. Sci.* 84: 3010–3019.
- Hahn, J. D., R. R. Biehl, and D. Baker. 1995. Ideal digestible lysine level for early- and late-finishing swine. *J. Anim. Sci.* 73: 773-784.
- Hansen, B. C., and A. C. Lewis. 1993. Effects of dietary protein concentration (corn:soybean meal ratio) on the performance and carcass characteristics of growing boars, barrows, and gilts: mathematical descriptions. *J. Anim. Sci.* 71(8): 2122-2132.
- Hansen, J. A., D. A. Knabe, and K. G. Burgoon. 1993. Amino acids supplemetation of low-protein, sorghum-soybean meal diet for 20 to 50-kilogram swine. *J. Anim. Sci.* 71(2): 442-451.
- Hsu, C. B., S. P. Cheng, J. C. Hsu, and H. T. Yen. 2001. Effect of threonine addition to a low protein diet on IgG levels in body fluid of first-litter sows and their piglets. *Asian-Aus. J. Anim. Sci.* 14: 1157-1163.
- Jefo Internacional LTD. 2000. Lysine in animal nutrition. Sain-Hyacinthe, Quebec, Canada. Acceso: 14 de mayo de 2005. <http://jefo./ca/lista-principal.html>.
- Kerr, B. J, L. L. Southern, T. D. Bidner, K. G. Friesen, and R. A. Easter. 2003. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing- finishing pig performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.* 81(12): 3075-3087.
- 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.
- Kopinski, J. 2005. Amino acids for pig diets. Departamento of Primary Industries and Fisheries. Queensland. The Australian Pig Institute. Acceso: 23 de Febrero del 2006. <http://www2.dpi.qld.gov.au/pigs/4374.html>.

- 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. Acceso 23 de Febrero del 2006. www.lysine.com.
- Lewis, A. J., and E. R. Peo. 1986. Threonine requirement of pigs weighing 5 to 15 kg. *J. Anim. Sci.* 62: 1617-1623.
- Loughmiller J. A., J. L. Nelssen, R. D. Goodband, M. D. Tokach, E. C. Titgemeyer, and I. H. Kim. 1998. Influence of dietary total sulfur amino acids and methionine on growth performance and carcass characteristics of finishing gilts. *J. Anim. Sci.* 76: 2129-2137.
- Low, A. G. 1980. Nutrient absorption in pigs. *J. Sci. Food Agric.* 31: 1087-1130.
- Mahan, D. C., and J. Shields. 1998. Essential and non-essential amino acid composition of pigs from birth to 145 kilograms of body weight and comparison to other studies. *J. Anim. Sci.* 76: 513-521.
- 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. 91 p.
- Merino C., B., R. Gómez S. y I. Cuarón J. A. 2005. Requerimientos de lisina digestible de cerdos de 14 a 50 kg de peso corporal sujetos a diferentes condiciones de manejo y alojamiento. *Tec. Pecu. Méx.* 43(2): 139-153.
- Morberg, G. P. 2000. Biological response to stress: implications for animal welfare. *In: The biology of animal stress. Basic principles and implications for animal welfare.* Moberg G. P, Mench J. A (eds). 1st ed. CAB International. London, UK. pp:1-21.
- Mohn, S., and C. F. M. De Lange. 1998. The effect of body weight on the upper limit to protein deposition in a defined population of growing gilts. *J. Anim. Sci.* 76: 124: 133.
- Moughan, P. J. 1999. Protein metabolism in the growing pig. *In: A quantitative biology of the pig.* I. KYRIAZAKIS (ed.). CABI Publishing. pp: 299-331.
- Myer, R. O., J. H. Brendemuhl, and R. D Barnett. 1996. Crystalline lysine and threonine supplementation of soft red winter wheat or triticale, low-protein diets for growing finishing swine. *J. Anim. Sci.* 74: 577-583.

- NRC. 1988. Nutrient requirements of swine. National Academy Press. Washington, D. C.
- NRC.1998. Nutrients requirements of swine (10th Edition). National Academy Press. Washington, D. C.
- Oliveira, A. L. S. de, J. L., Donzele, de O. R. F. 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(1): 150-155.
- Oliveira, A. L. S. de, J. L. Donzele, de O. R. F. Miranda, D. C. Lopes, A. M. S. Moita, S. F. C. de Oliveira, e L. S. de 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(2): 337-343.
- Oliveira, A. L. S. de, J. L. Donzele, de O. R. F. Miranda, M. L. T. de 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 kg. R. Bras. Zootec. 35(6): 2338-2343.
- Orlando, U. A. D., de O. R. F. Miranda, J. L. Donzele, F. A. Soares, S. F. C. de Oliveira, G. R. A. Ramos, V. V. R. G. Marçal, e de S. J. Costa. 2005. Níveis de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em rações para leitoas mantidas em ambiente de conforto térmico dos 30 aos 60 kg. R. Bras. Zootec. 34(1): 134-141.
- Orozco M., R. 1999. Formulación de dietas de máxima utilidad para cerdos en crecimiento. Tesis de Maestría en Producción Animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 86 p.
- Ovando G., H. 2001. Perfíles óptimos biológico y económico de lisina y metionina+cistina en base a digestibilidad en pollo de engorda. Tesis de Maestría en Producción Animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 89 p.
- 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.

- Pérez A., N. Obispo E., J. Palma y C. Chicco F. 2005. Efectos de la ractopamina y el nivel de lisina sobre la respuesta productiva de cerdos magros en la fase de engorde. *R. Zootec. Trop.* 23(4): 429-445.
- Pichardo, A., R. M. Cervantes, M. Cuca, J. L. Figueroa, A. B. Araiza, N. Torrentera, and M. Cervantes. 2003. Limiting amino acids in wheat for growing-finishing pigs. *Interciencia* 28(5): 287-291.
- Pink, D., R. Elango, W. T. Dixon, and R. O. Ball. 2003. Intestinal catabolism of lysine in swine. *In: 9th Int. Symp. Digestive Physiology in Pigs.* R. O. Ball, (ed.), University of Alberta. Department of Agriculture, Food, and Nutritional Science, Edmonton, AB, Canada. pp: 131-133.
- Pozza, P. C., P. C. Gomes, e J. L. Donzele. 1999. Exigência de treonina digestível para suínos machos castrados dos 15 aos 30 kg. *R. Bras. Zootec.* 28 (3): 560-568.
- Pozza, P. C., P. C. Gomes, J. L. Donzele, A. S. Ferreira, M. I. Leão, M. S. dos Santos, e R. J. B. Rodrigueiro. 2000. Exigência de treonina para leitoas dos 15 aos 30 kg. *R. Bras. Zootec.* 29(3): 817-822.
- Rao, D. S., and K. J. McCracken. 1990. Protein requirements of boars of high genetic potential for lean growth. *Anim. Prod.* 51: 179-185.
- Rodrigues, N. E. B., J. L. Donzele, de O. R. F. Miranda, D. C. Lopes, A. S. Ferreira, M. R. Filho, e U. A. D. Orlando. 2001. Níveis de treonina em rações para leitoas com alto potencial genético para deposição de carne magra dos 30 aos 60 kg. *R. Bras. Zootec.* 30(6S): 2039-2045.
- Rosell, V. L., and D. R. Zimmerman 1985. Threonine requirement of pigs weighing 5 to 15 kg and the effect of excess methionine in diets marginal in threonine. *J. Anim. Sci.* 60(2): 480-486.
- Saldana, C. I., Z. D. A. Knabe, K. Q. Owen, K. G. Burgoon, and E. J. Gregg. 1994. Digestible threonine requirements of starter and finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 72: 144-150.
- Santomá G. 1991. Necesidades Proteicas de las Gallinas Ponedoras. *In: Nutrición y Alimentación de Gallinas Ponedoras* Beorlegui, C. B. y G. G. Mateos (eds). Ed. Mundi prensa. Madrid-España. pp: 86-87.

- Schutte, J. B., M. W. Bosch, and N. P. Lenis. 1990. Amino acid requirements of pigs. 2. Requirement for apparent digestible threonine of young pigs. *Neth. J. Agric. Sci.* 38: 597-607.
- Schutte, J. B., J. De Jong, and W. Smink. 1997. Threonine requirement of growing pigs (50 to 95 kg) in relation to diet composition. *Anim. Sci.* 64: 155-161.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2004. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de porcino en México. *Revista Claridades Agropecuarias*. Coordinación General de Ganadería. 32 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2005. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de porcino en México. *Revista Claridades Agropecuarias*. Coordinación General de Ganadería. 38 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2006. Estadísticas. Coordinación General de Ganadería. http://www.e-local.gob.mx/wb2/ELOCAL/ELOC_SAGARPA_Estadistica2
Acceso: 20 de Marzo de 2007.
- Soltwedel, K. T., R. A. Easter, and J. E. Pettigrew. 2006. Evaluation of the order of limitation of lysine, threonine, and valine, as determined by plasma urea nitrogen, in corn-soybean meal diets of lactating sows with high body weight loss. *J. Anim. Sci.* 84(7): 1734-1741.
- 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 (Suppl. 1): 364 (Abstr.).
- Stryer, L. 1988. *Biochemistry*. 3rd Edition. W. H. Freeman and Company (eds.). New York. 1089 p.
- Susenbeth, A., T. Dickel, A. Diekenhorst, and D. Oler. 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.

- Tanksley, T. D., D. A. Knabe, K. Purser, T. Zebrowska, and J. R. Corley. 1981. Apparent digestibility of amino acids and nitrogen in three cottonseed meals and one soybean meal. *J. Anim. Sci.* 52: 769-777.
- Taylor, A. J., D. J. A. Cole, and D. Lewis. 1982. Amino acids requirements of growing pigs. 3. Threonine. *Anim. Prod.* 34: 1-8.
- Tenenhouse, H. S., and H. F. Deutsch. 1966. Some physical-chemical properties of chicken gamma-globulins and their pepsin and papain digestion products. *Immunochemistry.* 3(1): 11-20.
- Thong, H. T., and F. Liebert. 2004a. Amino acid requirement of growing pigs depending on amino acid efficiency and level of protein deposition. 1st communication: Lysine. *Arch. Anim. Nutr.* 58(1): 69-87.
- Thong, H. T., and F. Liebert. 2004b. Amino acid requirement of growing pigs depending on amino acid efficiency and level of protein deposition. 2nd communication: Threonine. *Arch. Anim. Nutr.* 58(2): 157-168.
- Thong, H. T., and F. Liebert. 2004c. Potential for protein deposition and threonine requirement of modern genotype barrows fed graded levels of protein with threonine as the limiting amino acid. *J. Anim. Physiol. and Anim. Nutr.* 88(5-6): 196-203.
- Wang, X., S. Y. Qiao, M. Lui, and Y. M. Ma. 2006. Effects of graded levels of true ileal digestible threonine on performance, serum parameters and immune function of 10-25 kg pigs. *Anim. Feed Sci. and Tecn.* 129: 264-278.
- Wei, R., and D. R. Zimmerman. 1998. Lysine requirements of PIC barrows during growing-finishing period. Nutrition. Department of Animal Science. Iowa State University. pp: 39-41. Acceso: 18 de Abril del 2006. <http://www.ipic.iastate.edu/reports/00swinereports/asl-653.pdf>.
- Whittemore, C. T., J. B. Tullis, and G. C. Emmans. 1988. Protein growth in pigs. *Anim. Prod.* 46: 435-440.
- Williams, K. C., P. R. Martin, and M. H. Magee. 1993. The optimal dietary threonine to lysine ratio for growing pigs. *In: Recent Advances in Animal Production in Australia.* University of New England, Armidale, Australia. 213 p.

- 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.
- Zebrowska, T. 1973. Influence of dietary protein source on the rate of digestion in the small intestine of pigs. Part II. The rate of protein digestion and amino acid absorption. *Roczniki Nauk Rolniczych. Serie B* 95(1): 135-155.

CAPÍTULO III

LISINA Y TREONINA DIGESTIBLE EN DIETAS PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

DIGESTIBLE LYSINE AND THREONINE IN DIETS FOR GROWING PIGS

López Rivera Maricela¹, Figueroa Velasco José Luís², González Alcorta Mariano
Jesús¹, Miranda Romero Luís Alberto¹, Cordero Mora José Luis²

¹ Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. C. P. 56230.

² Programa de Ganadería, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, Km. 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Texcoco, Estado de México, C.P. 56230.

RESUMEN

Se realizaron dos experimentos para evaluar el efecto de lisina y treonina digestible en dietas sorgo-pasta de soya para cerdos en crecimiento, sobre el comportamiento productivo (CPR), las características de la canal (CC) y la concentración de urea en plasma (CUP). En el Experimento 1 se evaluaron cinco niveles de lisina digestible en la dieta (0.67, 0.75, 0.83, 0.91 y 0.99%) durante cuatro semanas. Se usaron 40 lechones machos castrados con un peso inicial promedio de 22 kg. En el Experimento 2 se evaluaron cinco niveles de treonina digestible en la dieta (0.42, 0.47, 0.52, 0.57 y 0.62%) durante seis semanas. Se usaron 40 lechones (20 machos castrados y 20 hembras) con un peso promedio inicial de 24 kg. Ambos experimentos fueron distribuidos en cinco tratamientos con cuatro repeticiones y dos animales por unidad experimental. Las variables respuesta para ambos experimentos fueron consumo de alimento (CONS), ganancia de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), ganancia de carne magra (GCM), peso final (PF), grasa dorsal (GD), porcentaje de carne magra (%CM), área del músculo *longissimus* (AML) y CUP. Se usó un diseño completamente al azar. Las variables CONS, GDP y CA se midieron semanalmente y fueron analizadas con el procedimiento MIXED de SAS, mientras que las variables que se midieron al inicio y al final del experimento, se analizaron con el procedimiento GLM. Para el Experimento 2, los análisis también fueron por sexo. Se utilizaron contrastes ortogonales para detectar efectos lineales, cuadráticos y cúbicos del nivel de lisina y treonina digestible. Se detectó un efecto cúbico ($p=0.05$) para CONS y cuadrático ($p<0.05$) para CA, AML, %CM, CUP del nivel de lisina. Los niveles de treonina digestible no afectaron ($p>0.05$) CPR y CC. La CUP mostró una tendencia lineal ($p<0.05$), global y para machos castrados.

Palabras clave: Lisina, treonina, comportamiento productivo, calidad de canal, urea en plasma.

ABSTRACT

Two experiments were carried out in order to evaluate the effect of digestible lysine and threonine in sorghum-soybean diets for growing pigs on productive performance (PCR) carcasses characteristics quality (CC) and plasma urea concentration (CUP). Five dietary lysine levels (0.67, 0.75, 0.83, 0.91 and 0.99%) for growing pigs were evaluated during four weeks in Experiment 1. Forty castrated males were used with an average initial weight of 22 kg. Five dietary digestible threonine levels (0.42, 0.47, 0.52, 0.57 and 0.62%) in growing pig diets were evaluated during six weeks in Experiment 2. Forty pigs (20 castrated males and 20 gilts) with an average initial weight of 24 kg were used. In both experiments, pigs were allocated in five treatments with four replicates and two animals per experimental unit. For both trials, the experimental variables were feed intake (CONS), weight gain (GDP), feed conversion (CA), fat free lean gain (GCM), final weight (PF), back fat thickness (GD), lean meat percentage (%CM), *longissimus* muscle area (AML) and CUP. A complete randomized design was used. CONS, GDP and CA were recorded weekly and analyzed with the MIXED procedure of SAS, whereas those variables recorded at the beginning and at the end of the experiment were evaluated with GLM procedure. For Experiment 2 data were also analyzed by sex. Orthogonal contrasts were applied to test linear, quadratic or cubic effects of lysine and threonine level. A cubic effect of lysine ($p=0.05$) for CONS and a quadratic ($p<0.05$) for CA, AML, %CM, CUP were detected. Dietary threonine levels did not affect any of the variables of CPR and CC, but a linear tendency ($p<0.05$) in global and castrated males data was detected for CUP.

Keywords: Lysine, threonine, productive performance, carcass quality, urea in plasma.

INTRODUCCIÓN

Los costos de producción por alimentación en una explotación porcina son muy elevados, casi siempre mayores al 70%, lo que limita al productor a mejorar sus utilidades. Por eso es importante buscar alternativas que beneficien al productor y que optimicen los recursos con que dispone. La adición de aminoácidos (AA) sintéticos puede ser una alternativa factible, pues permite reducir el contenido de proteína cruda en la ración y posibilita satisfacer las necesidades de AA esenciales que son limitantes e incrementa la eficiencia alimenticia (Araki, 1990), lo cual repercute en un beneficio económico para el productor.

La lisina y treonina son el primer y segundo AA limitantes en dietas a base de sorgo y/o maíz y pasta de soya para cerdos (Fontes *et al.*, 2000), y treonina puede ser el primer AA limitante cuando se agrega solamente lisina sintética a la dieta, sin balancear los otros AA (Saldana *et al.*, 1994). La adición con AA sintéticos puede resolver el problema de la deficiencia de algunos AA y el exceso de otros (Hansen *et al.*, 1993); además, disminuye la excreción del nitrógeno y la contaminación ambiental (NRC, 1998). Aunado a esto se puede mejorar el comportamiento productivo, por efecto del nivel de lisina en la dieta, tanto en el consumo de alimento, (Cline *et al.*, 2000); como en la ganancia de peso (Ferreira *et al.*, 2005). También se ha encontrado efecto del nivel de lisina en la dieta para características de la canal, Fontes *et al.* (2000) reportan un incremento en la depositación de proteína en la canal ($p<0.05$) al incrementar el nivel de lisina en la dieta de cerdos en crecimiento y una respuesta lineal sobre el músculo *longissimus* (Hahn *et al.*, 1995).

En el caso de treonina, se ha reportado que afecta la conversión alimenticia al aumentar los niveles en la dieta para cerdos en crecimiento y en finalización (Ettle *et al.*, 2004); además, puede mejorarse la ganancia de peso (Pichardo *et al.*, 2003).

El requerimiento de lisina y treonina para cerdos puede ser monitoreado por la concentración de urea en plasma sanguíneo, pues es la forma de transporte del exceso de nitrógeno hacia el riñón para su excreción (Wei y Zimmerman, 1998). La reducción de urea presumiblemente se refleja en un uso más eficiente del nitrógeno total, por ello, los niveles más bajos de urea en cerdos pudieran indicar los niveles adecuados de AA, debido a que hay una mayor retención de nitrógeno (Coma *et al.*, 1995a). El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento productivo, las características de la canal y la concentración de urea en plasma, como respuesta a diferente nivel de adición de lisina y treonina digestible en dietas a base de sorgo y pasta de soya, para cerdos en crecimiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en la granja experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en el municipio de Texcoco, Estado de México, a una altitud de 2250 m. El clima corresponde a un clima templado subhúmedo con lluvias en verano cuya fórmula es CWo (W) b (i) g, con poca oscilación térmica (5 a 7 °C), con temperatura media anual de 15.2 °C y precipitación media anual de 644.8 mm (García, 1988). De acuerdo con los datos de temperatura reportados por el observatorio meteorológico de Chapingo, la temperatura promedio, mínima y máxima a la intemperie fueron 18.5, -1.5, y 26.4; y 19.0, 0.2, y 26.9 °C para el Experimento 1 y el Experimento 2, respectivamente.

Tratamientos

Experimento 1: Se probaron cinco niveles de lisina digestible en la dieta: 0.67, 0.75, 0.83, 0.91 y 0.99% para cerdos en crecimiento. El valor 0.83% de lisina digestible es el recomendado por el NRC (1998). Se utilizaron 40 lechones machos castrados (Pietrain-Landrace-Yorkshire), distribuidos al azar en cinco tratamientos con cuatro repeticiones cada uno y dos animales por unidad experimental, con un peso promedio de 22 kg de PV. La fase experimental duró cuatro semanas.

Experimento 2: Se evaluaron cinco niveles de treonina digestible en la dieta: 0.42, 0.47, 0.52, 0.57 y 0.62%, para cerdos en crecimiento. El valor de 0.52% de treonina digestible es el recomendado por el NRC (1998). Se usaron 40 lechones (20 hembras y 20 machos castrados: Pietrain-Landrace-Yorkshire) distribuidos al azar en cinco tratamientos con cuatro repeticiones y dos cerdos (una hembra y un macho) por unidad experimental, con un peso promedio de 24 kg de PV. La duración de la fase experimental fue de seis semanas. El nivel de lisina digestible que se usó en este experimento (0.75%), fue el óptimo biológico calculado para la máxima ganancia de peso en un estudio previo del Experimento 1.

Manejo y alimentación

En ambos experimentos los animales se asignaron al azar a cada tratamiento. Se les proporcionó una dieta a base de sorgo y pasta de soya balanceada con el programa Optimizador en Excel. Los niveles de los ingredientes se mantuvieron constantes en todas las dietas, y sólo se movió el AA evaluado, utilizándose arena para ajustar el volumen y mantener el mismo contenido de todos los nutrimentos, diferentes a lisina en el Experimento 1 y treonina en el Experimento 2. (Cuadros 3 y 4). El suministro de alimento y agua fue a libre acceso.

Cuadro 3. Composición de dietas experimentales para el Experimento 1.

Ingrediente (kg)	Nivel de lisina digestible en la dieta				
	0.67%	0.75%	0.83%	0.91%	0.99%
Pasta de soya	20.58	20.58	20.58	20.58	20.58
Sorgo	75.92	75.92	75.92	75.92	75.92
Aceite	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
Carbonato de calcio	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
Ortofosfato	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Premezcla de vitaminas	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Premezcla de minerales	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
L-Lisina HCL	0.10	0.20	0.30	0.41	0.51
L-Treonina	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
DL-Metionina	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Arena	0.41	0.31	0.21	0.10	0.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Cantidad de vitaminas y minerales por kilogramo de dieta: Vit. E: 1.2 UI, Vit. K: 80 mg, Vit. B₁: 0.072 mg, Vit. B₂: 200 mg, Vit. B₅: 1600 mg, Vit. B₆: 80 mg, Vit. B₁₂: 0.0012mg, Vit. B_H: 0.004 mg, Colina: 1800 mg, Ac. Pantoténico: 640 mg, Ac. Fólico: 0.04 mg, Antioxidante: 240 mg, Fe: 4000 mg, Zn: 4 mg, Mg: 4 mg.

Cuadro 4. Composición de dietas experimentales para el Experimento 2.

Ingrediente (kg)	Nivel de treonina digestible en la dieta				
	0.42 %	0.47 %	0.52 %	0.57 %	0.62 %
Pasta de soya	17.77	17.77	17.77	17.77	17.77
Sorgo	78.92	78.92	78.92	78.92	78.92
Aceite	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Carbonato de calcio	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Fosfato	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
Premezcla de vitaminas	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Premezcla de minerales	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
L-Lisina HCL	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
L-Treonina	0.02	0.07	0.12	0.17	0.22
DL-Metionina	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
L- Tryptofano	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Arena	0.20	0.15	0.10	0.05	0.00
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Cantidad de vitaminas y minerales por kilogramo de dieta: Vit. E: 1.2 UI, Vit. K: 80 mg, Vit. B₁: 0.072 mg, Vit. B₂: 200 mg, Vit. B₅: 1600 mg, Vit. B₆: 80 mg, Vit. B₁₂: 0.0012mg, Vit. B_H: 0.004 mg, Colina: 1800 mg, Ac. Pantoténico: 640 mg, Ac. Fólico: 0.04 mg, Antioxidante: 240 mg, Fe: 4000 mg, Zn: 4 mg, Mg: 4 mg.

Cuadro 5. Contenido nutrimental de las dietas basales en los Experimentos 1 y 2.

Nutrimento	Contenido nutrimental en dietas basales	
	0.67% Lisina	0.42% Treonina
EM (Kcal)	3265	3265
Proteína cruda (%)	16	15
Lisina digestible (%)	0.67	0.75
Arginina digestible (%)	0.85	0.77
Treonina digestible (%)	0.67	0.42
Triptofano digestible (%)	0.20	0.16
Metionina + Cistina digestible (%)	0.54	0.47
Isoleucina digestible (%)	0.60	0.55
Valina digestible (%)	0.67	0.63
Leucina (%)	1.32	1.26
Calcio (%)	0.60	0.60
Fósforo total (%)	0.51	0.51
Fósforo digestible (%)	0.23	0.23

Variables de respuesta

Las variables de respuesta para ambos experimentos fueron: comportamiento productivo, dentro del cual se consideró el consumo de alimento (CONS), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), ganancia de carne magra (GCM) y peso final de los cerdos (PF); en las características de la canal se contempló la grasa dorsal (GD), inicial y final (GDI y GDF), el porcentaje de carne magra (%CM), inicial y final (%CMI y %CMF), el área del músculo *longissimus* (AML), inicial y final (AMLI y AMLF), y la concentración de urea en plasma (CUP) al inicio y al final del experimento.

Toma de datos

Los animales se pesaron al inicio del experimento; después esta actividad se realizó cada semana para calcular la GDP. Para medir el CONS se pesó el alimento ofrecido

y rechazado semanalmente. Con los datos de la GDP y el CONS se calculó la CA. En las características de la canal, la GD y el AML fueron medidas a la altura de la décima costilla, para el cual se utilizó un equipo de ultrasonido de tiempo real Sono Vet 600 marca MEDISON. Los datos de GD, AML, el peso vivo inicial y final se utilizaron para determinar la GCM y el %CM con la ecuación del NPPC (1991).

En la determinación de urea en plasma, primero se tomaron las muestras de sangre mediante la punción en la vena cava de los animales, al inicio y final del experimento, para lo cual se utilizaron tubos vacutainer de 10 ml con heparina. Las muestras de sangre obtenidas, se identificaron y se conservaron en hielo hasta su centrifugación en el laboratorio. La centrifugación fue por diez minutos a 2500 rpm, posteriormente se separó el sobrenadante del paquete celular y se transfirió a un tubo de poliuretano. El plasma se almacenó a -20 °C, para después hacer la determinación de urea por el método colorimétrico propuesto por Searcy *et al.* (1961), en un espectrofotómetro Perkin-Elmer, serie Lambda 2.

Análisis estadístico

Las variables evaluadas en ambos experimentos, se analizaron con un diseño completamente al azar utilizando el procedimiento MIXED (SAS, 2001) para las variables medidas semanalmente (CONS, GDP y CA), y el procedimiento GLM (SAS, 2001) para las variables evaluadas individualmente al inicio y final del experimento (PI, PF, GDP, GCM, %CMI, %CMF, AMLI, AMLF, CUP). Los datos del Experimento 2 se analizaron de manera global y por sexo.

Las variables medidas al inicio del experimento GDI, AMLI, %CMI y CUP inicial, sirvieron de referencia para conocer el estado inicial de las variables en los animales,

pero las variables evaluadas al final del experimento PF, GDF, AMLF, %CMF y CUP final, fueron en las que se determinó el efecto de tratamiento.

El efecto de la medición semanal sobre las variables, se evaluó con la prueba de Tukey. Mientras que el efecto del nivel de lisina y treonina digestible se evaluó con contrastes ortogonales para detectar tendencias lineales cuadráticas o cúbicas.

El modelo estadístico para las variables medidas semanalmente en el Experimento 1 fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + C(T)_{ij} + S_k + b_1(Pi - \mu_{PI}) + T_i * S_k + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} es la variable respuesta

μ es la media general

T_i es el nivel de lisina digestible en la dieta ($i = 0.67, 0.83, 0.90, 0.91$ y 0.99%)

$C(T)_{ij}$ es el efecto aleatorio del i -ésimo nivel de lisina anidado en la j -ésima corraleta

$$(j = 1, \dots, 20) \sim NI(0, \sigma_{c(T)}^2)$$

S_k es el efecto fijo de la k -ésima semana de medición ($k = 1, \dots, 4$)

b_1 es el coeficiente de regresión lineal asociado con el peso inicial de los cerdos

PI es el peso inicial de los cerdos como covariable

μ_{PI} es la media estimada de la covariable peso inicial

$T_i * S_k$ es el efecto de la interacción entre el i -ésimo nivel de lisina y la j -ésima semana de medición

$$e_{ijk} \text{ es el error experimental aleatorio } \sim NI(0, \sigma_e^2)$$

En el caso del Experimento 2, el modelo estadístico fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + C(T)_{ij} + S_k + T_i * S_k + e_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} es la variable respuesta

μ es la media general

T_i es el nivel de treonina digestible en la dieta ($i = 0.42, 0.47, 0.52, 0.57$ y 0.62%)

$C(T)_{ij}$ es el efecto aleatorio del i -ésimo nivel de treonina, anidado en la j -ésima

corraleta ($j = 1, \dots, 20$) $\sim NI(0, \sigma_{c(T)}^2)$

S_k es el efecto fijo de la k -ésima semana de medición ($k = 1, \dots, 6$)

$T_i * S_k$ es el efecto de la interacción entre el i -ésimo nivel de treonina digestible y la j -ésima semana de medición

e_{ijkl} es el error experimental aleatorio $\sim NI(0, \sigma_e^2)$

El modelo estadístico para las variables medidas al inicio y final de ambos experimentos, y por sexo en el Experimento 2, fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Y_{ij} es la variable respuesta

μ es la media general

T_i es el nivel de lisina o treonina en la dieta

e_{ij} es el error experimental aleatorio $\sim NI(0, \sigma_e^2)$

RESULTADOS

Experimento 1

En lo que concierne al comportamiento productivo, el PI afectó ($p<0.01$) las variables CONS, GDP y PF. El nivel de lisina digestible afectó el CONS, con una tendencia cúbica ($p=0.05$) y a la CA con un efecto lineal y cuadrático ($p<0.01$). No se encontró efecto del nivel de lisina digestible en la dieta para la GDP (Cuadro 6).

En cuanto a características de la canal, el PI afectó ($p<0.01$) al AMLF. El nivel de lisina digestible afectó cuadráticamente ($p>0.05$) el AMLF y el %CM (Cuadro 6).

La concentración de urea final tuvo un efecto cuadrático ($p<0.05$) por los niveles de lisina digestible en la dieta (Cuadro 6).

El factor tiempo afectó ($p<0.01$) a las variables CONS, GDP y CA. También se encontró efecto ($p<0.05$) de la interacción tratamiento por semana de medición en las variables GDP y CA, lo que implica un diferente comportamiento de esas variables para cada semana (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma, de cerdos en crecimiento alimentados con diferente nivel de lisina digestible en la dieta.

% de lisina en la dieta	Comportamiento productivo						Características de la canal						CUP	
	CONS (kg/d)	GDP (kg/d)	CA	PI (kg)	PF (kg)	GCM (kg/d)	GDI (cm)	GDF (cm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	% CMI	% CMF	(mg/dL)	(mg/dL)
0.67	1.691	0.752	2.28	21.29	44.84	0.264	0.351	0.563	7.34	15.94	35.11	34.30	6.52	8.22
0.75	1.742	0.817	2.15	20.85	43.10	0.246	0.351	0.550	6.83	14.68	34.52	33.84	5.79	6.67
0.83	1.615	0.772	2.09	21.73	44.53	0.242	0.350	0.613	7.07	15.57	34.59	33.27	5.49	6.83
0.91	1.526	0.763	1.99	23.21	45.93	0.242	0.349	0.575	8.22	15.84	35.75	33.91	4.78	7.03
0.99	1.678	0.812	2.08	24.63	48.51	0.259	0.348	0.613	9.43	18.52	36.98	34.66	5.64	8.50
EEM	0.04	0.02	0.03	0.38	0.64	0.01	0.01	0.01	0.17	0.29	0.26	0.15	0.14	0.23
Semana														
1	1.32b	0.642b	2.09b											
2	1.48b	0.764b	1.95b											
3	2.01a	0.941a	2.15b											
4	1.80a	0.786b	2.30a											
Efecto							Probabilidad							
TRAT	0.19	0.37	0.001		0.95	0.83	0.10	0.6	0.02	0.22	0.27	0.35	0.11	0.36
Semana	0.001	0.001	0.001											
Peso inicial	0.001	0.001	0.66		0.001	0.15	0.77	0.05	0.002	0.001	0.93	0.92	0.82	0.08
TRAT*Semana	0.87	0.03	0.001											
Contrastes														
Efecto lineal	0.27	0.49	0.001		0.65	0.43	0.91	0.58	0.01	0.33	0.09	0.63	0.06	0.76
Efecto cuadrático	0.32	0.97	0.001		0.57	0.41	0.96	0.74	0.02	0.05	0.12	0.05	0.11	0.05
Efecto cúbico	0.05	0.07	0.21		0.98	0.87	0.99	0.90	0.75	0.70	0.80	0.89	0.40	0.94

Medias de semana con distinta literal indica diferencias significativas (p<0.05).

TRAT = Tratamiento, CONS = Consumo de alimento, GDP = Ganancia de peso, CA = Conversión alimenticia, PI = Peso inicial, PF = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra, GDI = Grasa dorsal inicial, GDF=Grasa dorsal final, AMLI = Área de músculo *longissimus* inicial, AMLF = Área de músculo *longissimus* final, CMI = Carne magra inicial, CMF = Carne magra final, CUP = Concentración de urea en plasma, EEM = Error estándar de la media.

Experimento 2

Las variables evaluadas para el experimento de treonina: comportamiento productivo (CONS, GDP, CONV, PI, PF y GCM) y características de la canal (GDF, AML y %CM), no fueron afectadas ($p>0.05$) por el nivel de treonina digestible en la dieta (Cuadro 7).

La concentración de urea final tuvo un efecto lineal ($p<0.05$), se disminuyó cuando se incrementó el nivel de treonina en la dieta. También se encontró efecto de semana de medición ($p<0.01$) y de la interacción tratamiento por semana ($p<0.01$), sobre las variables CONS, GDP y CA; el promedio de estas variables se afectó conforme pasaron las semanas, lo que significa que a medida que el animal crece, aumenta sus requerimientos (Cuadro 7).

Las variables evaluadas por sexo (Cuadro 8): PI, PF, GDP, GCM, GDF, AMLF y %CMF no mostraron efecto lineal, cuadrático o cúbico ($p>0.05$) del nivel de treonina digestible en la dieta, tanto en hembras como en machos castrados. Sin embargo, se observó que los machos castrados presentaron mayor promedio en el valor de las variables GDP, GCM y AMLF en comparación con las hembras.

La CUP final mostró un efecto lineal ($p<0.05$) en cerdos machos castrados, dicha CUP disminuyó a manera que se incrementó el nivel de treonina en la dieta. La CUP final para hembras no mostró efecto del nivel de treonina en la dieta (Cuadro 8).

Cuadro 7. Comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma, de cerdos en crecimiento alimentados con diferente nivel de treonina digestible en la dieta.

% de treonina en la dieta	Comportamiento productivo						Características de la canal						CUP	
	CONS (kg/d)	GDP (kg/d)	CA (kg)	PI (kg)	PF (kg)	GCM (g/d)	GDI (cm)	GDF (cm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	% CMI	% CMF	Inicial (mg/dL)	Final (mg/dL)
0.42	1.7	0.758	2.15	23.65	54.21	0.328	0.263	0.538	9.894	19.666	45.08	35.94	9.46	9.76
0.47	1.62	0.744	2.09	23.49	53.93	0.318	0.238	0.488	10.801	19.116	43.05	36.07	9.04	7.88
0.52	1.64	0.747	2.13	24.13	55.50	0.298	0.225	0.575	11.020	19.003	43.36	34.90	10.94	8.72
0.57	1.54	0.719	2.10	24.11	53.83	0.310	0.275	0.500	10.799	18.418	41.64	35.88	9.18	6.89
0.62	1.66	0.764	2.14	24.74	56.06	0.335	0.250	0.513	10.055	19.438	41.06	36.07	8.89	6.77
EEM	0.06	0.02	0.05	0.62	1.09	0.01	0.01	0.01	0.25	0.44	0.42	0.26	0.22	0.54
Semana														
1	0.52c	0.408c	1.31c											
2	1.21b	0.544c	2.28b											
3	1.51b	0.798b	1.92b											
4	2.11a	0.910a	2.29b											
5	2.15a	0.877b	2.48a											
6	2.30a	0.943a	2.46a											
Efecto							Probabilidad							
TRAT	0.48	0.76	0.95	0.97	0.96	0.79	0.65	0.13	0.54	0.92	0.29	0.62	0.84	0.1
Semana	0.001	0.001	0.001											
TRAT*Semana	0.001	0.001	0.01											
Contrastes														
Efecto lineal	0.46	0.88	0.95	0.53	0.64	0.93	0.86	0.57	0.85	0.71	0.57	0.77	0.77	0.01
Efecto cuadrático	0.29	0.43	0.68	0.88	0.86	0.22	0.51	0.67	0.10	0.53	0.06	0.46	0.46	0.81
Efecto cúbico	0.49	0.49	0.81	0.97	0.79	0.72	0.22	0.45	0.92	0.71	0.33	0.80	0.80	0.70

Medias de semana con distinta literal indica diferencias significativas (p<0.05).

TRAT = Tratamiento, CONS = Consumo de alimento, GDP = Ganancia de peso, CA = Conversión alimenticia, PI = Peso inicial, PF = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra, GDI = Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLI = Área de músculo *longissimus* inicial, AMLF = Área de músculo *longissimus* final, CMI = Carne magra inicial, CMF = Carne magra final, CUP = Concentración de urea en plasma, EEM = Error estándar de la media.

Cuadro 8. Ganancia de peso, características de la canal y concentración de urea en plasma, de cerdos hembras y machos castrados en crecimiento alimentados con diferente nivel de treonina digestible en la dieta.

% de treonina en la dieta	Comportamiento productivo				Características de la canal						CUP	
	PI (kg)	PF (kg)	GDP (kg/d)	GCM (kg/d)	GDI (cm)	GDF (cm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	% CMI	% CMF	Inicial (mg/dL)	Final (mg/dL)
Hembras												
0.42	23.95	52.83	0.688	0.303	0.250	0.525	9.81	18.71	41.51	35.76	10.38	9.07
0.47	23.70	51.63	0.665	0.282	0.225	0.475	10.99	18.20	43.63	36.32	9.32	8.05
0.52	25.45	55.50	0.716	0.268	0.200	0.600	11.24	18.90	43.63	34.47	11.36	9.04
0.57	24.03	50.63	0.634	0.294	0.325	0.475	10.98	18.02	40.52	36.50	9.39	6.64
0.62	25.10	52.50	0.653	0.309	0.275	0.475	9.60	18.64	39.41	36.68	7.56	6.85
Promedio	24.57	52.56	0.667	0.288	0.256	0.506	10.70	18.44	41.74	35.95	9.41	7.65
EEM	0.99	1.55	0.01	0.01	0.01	0.01	0.41	0.63	0.72	0.44	0.77	0.69
Contrastes	Probabilidad											
Efecto lineal	0.73	0.89	0.40	0.70	0.16	0.33	0.89	0.95	0.14	0.53	0.33	0.25
Efecto cuadrático	0.96	0.87	0.76	0.20	0.47	0.27	0.18	0.92	0.15	0.47	0.46	0.89
Efecto cúbico	0.95	0.89	0.82	0.80	0.11	0.62	0.95	0.95	0.39	0.86	0.60	0.90
Machos												
0.42	23.35	55.60	0.768	0.354	0.275	0.550	9.98	20.63	40.66	36.11	8.54	10.44
0.47	23.28	56.23	0.785	0.354	0.250	0.500	10.62	20.03	42.48	36.57	8.76	7.69
0.52	22.80	55.50	0.779	0.327	0.250	0.550	10.80	19.11	43.09	35.33	10.52	8.40
0.57	24.20	57.03	0.782	0.327	0.225	0.525	10.62	18.82	42.59	35.27	8.97	7.13
0.62	24.38	59.63	0.839	0.360	0.225	0.550	10.51	20.24	42.59	35.46	10.23	6.67
Promedio	23.60	56.80	0.790	0.344	0.245	0.535	10.50	19.76	42.28	35.75	9.40	8.07
EEM	0.77	1.37	0.02	0.01	0.01	0.01	0.27	0.60	0.43	0.27	0.61	0.51
Contrastes	Probabilidad											
Efecto lineal	0.62	0.40	0.42	0.88	0.16	0.76	0.61	0.66	0.17	0.19	0.44	0.02
Efecto cuadrático	0.77	0.66	0.69	0.47	0.83	0.49	0.51	0.45	0.22	0.80	0.85	0.52
Efecto cúbico	0.89	0.81	0.65	0.53	1.00	0.54	0.80	0.65	0.64	0.32	0.78	0.39

PI = Peso inicial, PF = Peso final, GDP = Ganancia de peso, GCM = Ganancia de carne magra, GDI = Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLI = Área de músculo *longissimus* inicial, AMLF = Área de músculo *longissimus* final, CMI = Carne magra inicial, CMF = Carne magra final, CUP = Concentración de urea en plasma, EEM = Error estándar de la media.

DISCUSIÓN

Experimento 1

Los resultados del comportamiento productivo, CONS, CA y PF fueron afectados ($p < 0.01$) por el nivel de lisina en la dieta. La respuesta del CONS coincide con otros estudios que también encontraron efecto del nivel de lisina en la dieta en esta variable (Loughmiller *et al.*, 1998). Sin embargo no concuerdan con Witte *et al.* (2000), quienes encontraron que los niveles de lisina no afectaron el consumo de alimento de cerdos en crecimiento y finalización, atribuyéndolo a que las dietas no entraron dentro del rango de deficiencias o con excesos. En la CA, al incrementar los niveles de lisina, se mejoró cuadráticamente; es decir, llegó a un punto máximo y luego descendió, lo cual coincide con los resultados de Cline *et al.* (2000). El nivel 0.67% de lisina presentó la más alta CA y fue significativamente diferente al resto de los tratamientos, siendo el 0.99% el nivel de lisina digestible que presenta la mejor CA. La eficiencia de utilización de los AA depende del equilibrio de los AA en la dieta, alterando con ello la CA (Sussenbeth, 1995). En el caso de la GDP, es contrario a los resultados reportados por Pérez *et al.* (2005), quienes sí encontraron efecto de tratamiento para esta variable.

La respuesta en la GCM fue similar en todos los tratamientos; resultados que concuerdan con los de Medina (2002), donde la GCM no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$), aunque se observó un incremento numérico conforme se aumentó el nivel de lisina. La menor GCM en este estudio se observó con 0.83%, valor de lisina digestible recomendado por el NRC (1998) y el 0.91%. Los valores más altos de GCM se encontraron con los niveles extremos (0.67 y 0.99%) de lisina

digestible, que puede deberse a que corresponden a los tratamientos que también presentaron la mayor AML, causado por un mayor consumo de alimento y por tanto un mayor consumo de lisina, con respecto al resto de los tratamientos. De acuerdo con Fuller *et al.* (1989), el requerimiento de lisina para el cerdo, con respecto al de los demás AA esenciales, es superior para depositar proteína que para mantenimiento; probablemente en este estudio los niveles usados fueron bajos con respecto a los requerimientos y no fue suficiente para depositar más proteína en la canal.

El hecho de que no se obtuviera efecto del nivel de lisina digestible en la dieta sobre la GCM, posiblemente se deba al alto valor de PC en la dieta, que puede estar limitando el efecto de lisina por un exceso de PC, y por tanto hay un gasto de energía en eliminar el N, en lugar de una síntesis de tejido magro (Cline *et al.*, 2000). El NRC (1998) señala que cerdos con GCM de 300, 325 y 350 g/d son considerados como genotipos de media, media-alta y alta calidad genética, respectivamente. Sin embargo, Stahly *et al.* (1991) mencionan que cerdos con ganancia de carne magra de 230, 230 a 330 y >340 g son considerados como de baja, media y alta calidad genética, respectivamente. Con base en lo anterior, se puede señalar que los cerdos utilizados en este trabajo experimental son de calidad genética media, ya que la GCM va de 298 a 335g/d, lo que puede explicar que los requerimientos de AA sean mayores para GCM.

En cuanto a las características de la canal, la selección de cerdos magros ha disminuido la cantidad de grasa en la canal, pues una mayor cantidad de energía se destina a la síntesis de proteína (Cline *et al.*, 2000). La no respuesta significativa de

la GDF del presente trabajo, posiblemente se deba que los animales provienen de razas con un potencial genético medio, con baja acumulación de GD, o bien a un desequilibrio entre AA. Los animales que consumieron dietas con los niveles más altos de lisina digestible, presentaron los valores más altos de GD, resultados que coinciden con Cline *et al.* (2000), quienes observaron que los niveles más altos de lisina en la dieta (1.15 y 1.40%) provocaron mayor contenido de grasa en los cerdos, lo que puede deberse a un desequilibrio entre AA o bien, no lo suficiente para soportar la síntesis de proteína corporal por el animal, por lo que hay una mayor cantidad de energía neta para deposición de grasa.

El efecto del PI sobre el AML, se le atribuye a que a los animales más pesados son animales más grandes, por tanto con mayor área del músculo *longissimus* (AML_I) al inicio del experimento, que conlleva a una respuesta similar al final del experimento. Se detectó un efecto cuadrático ($p=0.05$) sobre el AML, lo que coinciden con Witte *et al.* (2000) y Medina (2002), que también encontraron una respuesta cuadrática en AML, por efecto del nivel de lisina en la dieta en cerdos en crecimiento. También Hansen y Lewis (1993) obtuvieron una respuesta cuadrática en el AML al aumentar los niveles de proteína en la dieta para cerdos en crecimiento. Por el contrario, otros autores han encontrado una respuesta lineal sobre el AML al incrementar el nivel de lisina (Hahn *et al.*, 1995). De todo esto se puede decir que la eficiencia de utilización de lisina y otros AA, depende del equilibrio entre ellos y que el requerimiento es diferente para cada variable de respuesta. La respuesta del AMLF arrastró a una respuesta del %CMF en la canal, pues mostró también un efecto cuadrático del nivel de lisina digestible en la dieta.

La concentración de urea en plasma mostró una respuesta cuadrática ($p=0.05$), lo que coincide con resultados de Abreu *et al.* (2007), quienes obtuvieron una respuesta cuadrática con dietas adicionadas con lisina digestible, con valores muy cercanos (0.70, 0.80, 0.90, y 1.00%) a los utilizados en este trabajo. La CUP más alta se observó con los niveles extremos (0.67% y 0.99%) de lisina digestible; en el primer caso pudo deberse a que hay un déficit de AA y no alcanzaron el equilibrio para ser aprovechados y por lo tanto son excretados; y en el segundo caso, posiblemente hubo un desperdicio de AA que igualmente fueron excretados porque no alcanzaron un equilibrio entre AA.

Experimento 2

La falta de respuesta del nivel de treonina digestible en la dieta sobre el comportamiento productivo y características de la canal en cerdos en crecimiento (Cuadro 7), pudo deberse a que los niveles de treonina digestible entre dietas fueron muy cercanos entre sí (con sólo 0.05% entre tratamientos). Estos resultados no concuerdan con los de Ettle *et al.* (2004), quienes encontraron efecto sobre la GDP y la CA al adicionar treonina sintética a la dieta. Tampoco Figueroa *et al.* (1999) observaron efecto de la adición de treonina sobre ninguna variable del comportamiento productivo; dichos autores sugieren que dietas a base de sorgo y pasta de soya con un nivel de 16% de PC, contienen cantidades suficientes de treonina y que algún otro AA (metionina, isoleucina) pudiera estar limitando el comportamiento del animal; posiblemente esta explicación también pueda darse al presente trabajo, donde el contenido de PC fue 15%. En este sentido, Wang y Fuller (1989) señalaron que la treonina se requiere más para funciones de mantenimiento que para crecimiento.

En cuanto a las características de la canal, Donzele (2005) no obtuvo efecto ($p>0.10$) de la adición de treonina digestible en la dieta, y el nivel menor evaluado (0.45%) correspondió al 87% del requerimiento del animal (0.517%), porcentaje que está dentro del rango de valores evaluados en este experimento, donde el 0.42% correspondió al valor más bajo, lo que indica que los niveles empleados en este estudio están por debajo del requerimiento total de treonina por parte del animal. Además, la influencia de la adición de treonina sobre las características de la canal es menor que en las variables de comportamiento productivo del animal (Ettle *et al.*, 2004).

La CUP final tuvo un efecto lineal ($p<0.01$). La CUP disminuyó a medida que treonina se incrementó en la dieta. Estos resultados coinciden con Berto *et al.* (2002) y Wang *et al.* (2006), quienes también encontraron un efecto lineal ($p<0.05$) en la concentración de urea plasmática de cerdos en iniciación alimentados con diferente nivel de treonina en la dieta. Lo que indica que con niveles bajos de treonina existe un desequilibrio entre AA que no pueden ser aprovechados por el cerdo y por lo tanto, se encuentra una mayor concentración de urea en plasma que posteriormente son excretados en la orina; mientras que con niveles mayores de treonina existe un mejor equilibrio entre AA y son aprovechados por el animal, que se refleja en menos desperdicio y una baja concentración de urea plasmática. Esto demuestra que se requiere más treonina en la dieta para poder obtener una máxima respuesta productiva y de la canal por parte del animal.

En las variables de respuesta analizadas por sexo (Cuadro 8), se observó que los machos castrados presentaron mayor promedio en el valor de GDP, GCM y AMLF

en comparación con las hembras. El mayor promedio de la GCM en machos castrados, pudo deberse principalmente al mayor consumo de alimento y por tanto mayor disponibilidad de AA para la síntesis de tejido magro. Sin embargo, las hembras tuvieron menor GD en comparación con los machos, resultados que concuerdan con los de Hansen y Lewis (1993) donde los machos enteros presentaron menor contenido de grasa dorsal, seguidos de las hembras y finalmente los machos castrados con mayor contenido de grasa dorsal. También Friesen *et al.* (1994) reportaron que los machos castrados presentaron un mayor contenido de GD que las hembras. Estas diferencias pueden atribuirse a que las hembras tienen un menor consumo de alimento que los machos y con ello una menor disponibilidad de energía para la síntesis de grasa.

En el caso de la CUP final, los cerdos machos castrados presentaron un efecto lineal ($p < 0.05$), disminuyéndose la concentración a manera que se incrementó el nivel de treonina en la dieta; este resultado es similar al de Wang *et al.* (2006), quienes notaron que la concentración de urea en plasma disminuyó ($p > 0.01$) cuando el consumo de alimento se incrementó, en cerdos en iniciación. Este resultado pudiera indicar que los machos castrados tienen mayor requerimiento de treonina u otros AA en comparación con las hembras, o bien, las hembras son más eficientes en la utilización de AA, y por lo tanto desperdician menos (Friesen *et al.*, 1994; Cline *et al.*, 2000).

El hecho de que no se haya encontrado efecto del nivel de treonina en la dieta de cerdos en crecimiento, en el comportamiento productivo y características de la canal, también puede atribuirse a que el contenido de PC en la dieta fue alta (15%) en

comparación con dietas que tienen bajo contenido de PC (11 a 12%). Posiblemente en este estudio, el contenido alto de PC en la dieta provocó un mayor desbalance de AA cuando se agregó AA sintéticos. Otros estudios indican que en las dietas bajas en PC adicionadas con AA sintéticos como lisina, treonina, metionina y triptofano para igualar sus concentraciones en las dietas altas, estos porcentajes de reducción de PC probablemente pueden estar ocasionando una deficiencia de otros AA esenciales como histidina, isoleucina y valina, y/o AA no esenciales, que deben ser considerados al formular las dietas, a pesar de que los AA no esenciales sean sintetizados por el cerdo; es posible que esto también suceda con dietas altas en PC (Hansen *et al.*, 1993; Brudevold y Southern, 1994). Hansen *et al.* (1993) sugieren un mínimo de 14% de PC en dietas sorgo-pasta de soya, adicionadas con lisina y treonina sintética para obtener una máxima respuesta productiva.

Otro motivo por el cual no se observó efecto del nivel de treonina digestible, puede atribuirse a la digestibilidad de los AA contenidos en la dieta (Bautista *et al.*, 2002), que, aunque no se hayan determinado en las dietas para este trabajo, otros estudios demuestran que la actividad de las proteasas pancreáticas se incrementa al aumentar la PC en la dieta (Hara *et al.*, 2000). Regularmente, el valor de digestibilidad de treonina es muy bajo (Sauer y Ozimek, 1986). Bautista *et al.* (2002) reportaron un valor de 63.7% de digestibilidad ileal aparente (DIA) con adición de treonina sintética en dietas sorgo-pasta de soya. Este bajo valor de digestibilidad se debe principalmente a que el porcentaje de este AA es elevado en las proteínas de origen endógeno (Nyachoti *et al.*, 1997). El nivel de PC en la dieta puede afectar la digestibilidad de los AA en cerdos (Fan *et al.*, 1994; Cevantes *et al.*, 1997); esto

explica una deficiente respuesta de crecimiento en cerdos, que puede atribuirse parcialmente a la baja digestibilidad de los AA ligados a la proteína en la dieta.

La temperatura extrema en un día y durante el periodo del experimento, principalmente las temperaturas bajas (0.2 °C), también pudieron afectar el comportamiento de los animales, pues ocasiona un mayor requerimiento total de nutrientes para lograr mantener su temperatura corporal. La treonina es de los principales constituyentes de las λ -globulinas en el plasma (Tenenhouse y Deutsch, 1966), por lo que se demanda un alto requerimiento de este AA en el animal para activar sus defensas. Se ha indicado que las necesidades de treonina para una máxima respuesta inmune, podrían ser mayores que para obtener un crecimiento óptimo (Cuarón *et al.*, 1984), dejando a un lado la respuesta productiva y calidad de la canal.

CONCLUSIONES

El nivel de lisina digestible en dietas para cerdos en crecimiento afectó el consumo de alimento, conversión alimenticia, área del músculo *longissimus* y porcentaje de carne magra.

El nivel de lisina digestible en dietas para cerdos en crecimiento afectó la concentración de urea en plasma.

El nivel de treonina digestible en dietas para cerdos en crecimiento no afectó a las variables de comportamiento productivo y a las de calidad de la canal, pero sí a la concentración de urea en plasma.

El nivel de treonina digestible en dietas para cerdos en crecimiento, entre sexos, sólo afectó la concentración de urea en plasma en machos castrados.

LITERATURA CITADA

- Abreu, M. L. T. de, J. L. Donzele, de O. R. F. Miranda, de A. L. S. Oliveira, F. de A. Santos, e A. A. Pereira. 2007. Níveis de lisina digestível em rações, utilizando-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. R. Bras. Zootec. 36(1): 54-61.
- Araki, K. 1990. Production of amino acid. *In*: Nutrition. Protein and amino acids. Yoshida, H. Naito, Y. Nuyama and T. Susuki (eds). Japan Sci. Soc. Press. Tokio, Japan.
- Bautista N., M. Cervantes, A. Pro y N. Torrentera. 2002. Digestibilidad ileal aparente de aminoácidos en dietas de sorgo-pasta de soya con diferentes niveles de proteína para cerdos. R. Cubana de Ciencias Agrícolas 36(4): 351-359.
- Berto, A. D., S. F. Wechsler, and C. C. Noronha. 2002. Exigências de treonina de leitões dos 7 aos 12 e dos 12 aos 23 kg. R. Bras. Zootec. 31(3): 1176-1183.
- Brudevold, A. B., and L. L. Southern. 1994. Low-protein, crystalline amino acid supplemented sorghum-soybean meal diets for the 10 to 20 kilogram pig. J. Anim. Sci. 72(3): 638-647.
- Cervantes R., M., G. L. Cromwell y D. Knabe. 1997. Digestibilidad ileal de aminoácidos en dietas bajas en proteína, complementadas con aminoácidos en cerdos en crecimiento. Agrociencia 31: 149-155.
- 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.
- Coma, J., D. Carrion, and R. D. Zimmerman. 1995a. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine the lysine requirement of pigs. J. Anim. Sci. 73: 472-481.

- Cuarón, J. A., R. P. Chapple, and R. A. Easter. 1984. Effect of lysine and threonine supplementation of sorghum gestation diets on nitrogen balance and plasma constituents in first litter gilts. *J. Anim. Sci.* 58: 631-637.
- Donzele J., L. 2005. Requerimientos de treonina digestible de cerdos machos castrados de alto potencial genético, desde los 95 a los 125 kg. Ajinomoto Animal Nutrition. Informe de investigación No. 43. Fecha de acceso: 17 de Febrero de 2007. www.lysine.com.
- Ettle, T., D. A Roth-Maier, J. Bartelt, and F. X. Roth. 2004. Requirement of true ileal digestible threonine of growing and finishing pigs. *J. Anim. Physiol. and Anim. Nutr.* 88(5-6): 211-222.
- Fan, M. Z., W. C. Sauer, R. T. Hardin, and K. A. Lien. 1994. Determination of apparent ileal amino acid digestibility in pigs: effect of dietary amino acid level. *J. Anim. Sci.* 72: 2851-2859.
- Ferreira, R. A., de O. R. F Miranda, D. J Lopes, de A. C. 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. *R. Bras. Zootec.* 34(2): 548:556.
- Figueroa, J. L., M. Cervantes, and M. Cuca. 1999. Lysine and threonine sources for growing pigs under heat stress. *C. J. Agric. Sci.* 33: 183-189.
- Fontes, de O. D., J. L. Donzele, de O. R. F. 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. Zootec.* 29(3): 776-783.
- Friesen, K. G., J. L. Nelssen, 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 kilograms. *J. Anim. Sci.* 72: 1761-1770.

- Fuller, M. F., R. McWilliams, T. C. Wang, and L. R. Giles. 1989. The optimum dietary amino acids pattern for pigs. 2. Requirements for maintenance and for tissue accretion. *Br. J. Nutr.* 61: 253-267.
- García M., E. 1988. Modificación al sistema de clasificación climática de Koppen para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana. Talleres Offset Larios. México. D.F. 277 p.
- 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(3): 773-784.
- Hansen, B. C., and A. C. Lewis. 1993. Effects of dietary protein concentration (corn: soybean meal ratio) on the performance and carcass characteristics of growing boars, barrows, and gilts: mathematical descriptions. *J. Anim. Sci.* 71(8): 2122-2132.
- Hansen, J. A., D. A. Knabe, and K. G. Burgoon. 1993. Amino acids supplementation of low-protein, sorghum-soybean meal diet for 20 to 50-kilogram swine. *J. Anim. Sci.* 71(2): 442-451.
- Hara, H., S. Ohyama, and T. Hira. 2000. Luminar dietary protein, not amino acids, induces pancreatic protease via CCK in pancreatico biliary rats. *Anim. J. Physiol. (Gastrointest. Liver Physiol.)* 278(6): G937-G945.
- Loughmiller, J. A., J. L. Nelssen, R. D. Goodband, M. D. Tokach, E. C. Titgemeyer, and I. H. Kim. 1998. Influence of dietary total sulfur amino acids and methionine on growth performance and carcass characteristics of finishing gilts. *J. Anim. Sci.* 76: 2129-2137.
- 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. 91 p.
- NPPC. 1991. Procedures to evaluate market hogs. 3rd ed. National Pork Producers Council, Des Moines, IA.
- NRC.1998. Nutrient requirements of swine. 10th Ed. National Academy Press, Washington, D. C.

- Nyachoti, C. M., C. F. M. de Lange, B. W. McBride, and H. Schultze. 1997. Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: a review. *Can. J. Anim. Sci.* 77: 149-163.
- Pérez A., N. E. Obispo, J. Palma y C. F. Chicco. 2005. Efectos de la ractopamina y el nivel de lisina sobre la respuesta productiva de cerdos magros en la fase de engorda. *R. Zootec. Trop.* 23(4): 429-445.
- Pichardo, A., R. M. Cervantes, M. Cuca, J. L. Figueroa, A. B. Araiza, N. Torrentera, and M. Cervantes. 2003. Limiting amino acids in wheat for growing-finishing pigs. *Interciencia.* 28(5): 287-291.
- Saldana, C. I., D. A. Knabe, K. Q. Owen, K. G. Burgoon, and E. J. Gregg. 1994. Digestible threonine requirements of starter and finisher pigs. *J. Anim. Sci.* 72: 144-150.
- SAS. 2001. S.A.S. User's guide: Statistics. 8th ed. SAS Institute Inc., Cary, N.C. USA.
- Sauer, W. C., and L. Ozimek. 1986. Digestibility of amino acids in swine: results and their practical applications. A review. *Livest. Prod. Sci.* 15: 367-388.
- Searcy, R. L., G. S. Gough, J. L. Korotzer, and L. M. Bergquist. 1961. Evaluation of a new technique for estimation of urea nitrogen in serum. *Am. J. Med. Tech.* 27: 255-262.
- 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(Suppl. 1): 364 (Abstract).
- Susenbeth, A. 1995. Factors affecting lysine utilization in growing pigs: an analysis of literature data. *Livest. Prod. Sci.* 43: 193-204.
- Tenenhouse, H. S., and H. F. Deutsch. 1966. Some physical-chemical properties of chicken gamma-globulins and their pepsin and papain digestion products. *Immunochemistry* 3(1): 11-20.
- Wang, T. C., and M. F. Fuller. 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. I. Experiments by amino acid deletion. *Br. J. Nutr.* 62: 77-89.
- Wang, X., S. Y. Qiao, M. Lui, and Y. M. Ma. 2006. Effects of graded levels of true ileal digestible threonine on performance, serum parameters and immune function of 10-25 kg pigs. *Anim. Feed Sci. and Tecn.* 129: 264-278.

- Wei, R., and D. R. Zimmerman. 1998. Lysine requirements of PIC barrows during growing-finishing period. Nutrition. Department of Animal Science. Iowa State University. pp. 39-41. Fecha de acceso: 18 de Abril del 2006. <http://www.ipic.iastate.edu/reports/00swinereports/asl-653.pdf>
- 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.

CAPÍTULO IV

NIVELES ÓPTIMOS BIOLÓGICO Y ECONÓMICO DE LISINA DIGESTIBLE PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

OPTIMAL BIOLOGICAL AND ECONOMIC LEVELS OF DIGESTIBLE LYSINE FOR GROWING PIGS

López Rivera Maricela¹, González Alcorta Mariano Jesús¹, Figueroa Velasco José
Luís², Miranda Romero Luís Alberto¹, Cordero Mora José Luis², García Muñíz José
Guadalupe¹

¹ Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma
Chapingo. km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México, C. P. 56230.

² Programa de Ganadería, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5
Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, C. P. 56230.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue calcular los niveles óptimos biológicos (NOB) de lisina digestible para el comportamiento productivo, calidad de la canal, concentración de urea en plasma (CUP) y el nivel óptimo económico (NOE), de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo-pasta de soya. Se utilizaron 40 cerdos machos castrados con 22 kg de peso promedio, distribuidos en cinco tratamientos con cuatro repeticiones. Se evaluaron cinco niveles de lisina digestible en la dieta (0.67, 0.75, 0.83, 0.91, y 0.99%), durante cuatro semanas. Las variables de respuesta fueron: consumo de alimento (CONSAC), ganancia de peso (GPAC), peso vivo final (PVF), conversión alimenticia (CA), grasa dorsal (GD) porcentaje de carne magra (%CM), área del músculo *longissimus* (AML) y CUP. El NOB y NOE fueron calculados con modelos econométricos que incluyeron modelos de regresión para predecir las curvas de respuesta a partir del nivel de lisina digestible. El análisis de regresión mostró que los niveles adicionados de lisina afectaron ($p < 0.05$) a CONSAC, GPAC, PVF, %CM, AML y CUP. El NOB de lisina digestible que maximizó el CONSAC y el PVF fue 0.75%, mientras que de GPAC fue 0.74%. El NOB para %CM y AML fue 0.99% y para NUP fue 0.84% de lisina digestible. El NOE para maximizar la utilidad fue sensible a la variación del precio del cerdo y fue calculado en 0.72% de lisina digestible, con 14 pesos/kg.

Palabras clave: Aminoácidos, lisina, urea en plasma, comportamiento productivo, calidad de la canal.

ABSTRACT

The objective of this study was to calculate the dietary levels (NOB) of digestible lysine to optimize productive performance, carcass quality, urea plasma concentration (NUP) and economic optimal levels (NOE) in sorghum-soybean diets for growing pigs. Forty castrated male pigs were used with an average initial weight of 22 kg, which were allocated in five treatments and four replicates. Five dietary digestible lysine levels (0.67, 0.75, 0.83, 0.91 and 0.99%) in growing pigs diets were evaluated during four weeks. The response variables were feed intake (CONSAC), weight gain (GPAC), live weight (PVF), feed conversion (CA), dorsal fat (GD), lean meat percentage (%CM), muscle *longissimus* area (AML) and NUP. A complete randomized design was used for the statistical analyses. The NOB and NOE were calculated with econometric models, which included regression response curves of digestible lysine. Regression analyses showed that added lysine levels affected ($p<0.05$) CONSAC, GPAC, PVF, %CM, AML and NUP. The NOB of digestible lysine to maximize CONSAC and PVF was 0.75%, whereas to maximize GPAC was 0.74%. NOB to %CM and AML was 0.99% and, for NUP, digestible lysine was 0.83%. To maximize profits, the NOE lysine level was sensible to price variation and was calculated as 0.72% with a price 14 pesos /kg live weight.

Key words: Amino acids, lysine, urea in plasma, productive performance, carcass quality.

INTRODUCCIÓN

Las dietas formuladas con niveles óptimos de aminoácidos digestibles permiten un uso eficiente, conforme a un objetivo biológico de optimizar la producción o bien un económico para maximizar las utilidades. La lisina es el primer aminoácido (AA) limitante en dietas para cerdos sorgo o maíz-pasta de soya, y la adición de AA sintéticos puede resolver el problema de la deficiencia de algunos AA y el exceso de otros; esta alternativa puede ser económicamente factible (Hansen *et al.*, 1993). El nivel óptimo biológico (NOB) de lisina para maximizar la ganancia de peso en cerdos en crecimiento es muy variable, ya que va de 0.69 a 1.32% (García *et al.*, 1997), esta variabilidad puede ser asociada con diferencias individuales en la eficiencia de utilización de lisina (Bertolo *et al.*, 2005), ya que dependen de la calidad genética del cerdo, del consumo de alimento, manejo de los animales y condiciones ambientales (NRC, 1998)

El consumo de alimento puede afectarse por el nivel dietético de lisina, dependiendo del nivel de proteína en la dieta (Cline *et al.*, 2000). Merino *et al.* (2005) encontraron un óptimo para consumo de alimento del 1.28% de lisina digestible en cerdos de 14 a 35 kg, y de 0.90% en cerdos de 35 a 50 kg de PV. Oliveira *et al.* (2003b) encontraron que la ganancia diaria de peso mostró un efecto lineal. Para características de la canal, también se ha encontrado efecto del nivel de lisina en la dieta, al aumentar el nivel se incrementa la síntesis de proteína y se disminuye la de grasa (Friesen *et al.*, 1994). En el área del músculo *longissimus* al incrementar el nivel de lisina en la dieta mostró un efecto lineal (Hahn *et al.*, 1995); efecto similar para el porcentaje de carne magra; y una disminución de la grasa en la canal de cerdos de engorda (Loughmiller *et al.*, 1998). El requerimiento de lisina por el cerdo, con respecto al de los demás

AA esenciales, es superior para depositar proteína que para mantenimiento (Fuller *et al.* (1989). Sin embargo, para conocer dicho requerimiento es necesario utilizar herramientas que permitan monitorear el perfil de AA, a nivel de dieta (total), ileal (digestible) o sanguíneo (metabolito), una opción es utilizar aminogramas, pero su costo es elevado. No obstante, existe otra alternativa, medir la concentración de urea en plasma, la cual se permite conocer la utilización de AA por el animal, misma que resulta ser una técnica económica y accesible. Existen estudios donde se ha observado que niveles bajos de urea en plasma indican un uso eficiente de nitrógeno y que es sensible a cambios en la dieta (Coma *et al.*, 1995). Con esta técnica se espera que la mínima concentración de urea en plasma, coincida con el NOB para urea, e indique el uso eficiente de la lisina digestible y de otros AA.

Así mismo, es importante conocer el nivel óptimo económico (NOE) de lisina digestible para maximizar las utilidades del productor, dado que le permite sobrevivir en un mercado muy competitivo. El nivel de lisina digestible en la dieta es una cuestión que debe decidirse en función del balance económico, porque a mayor concentración de AA en la dieta, mayor su costo. En las etapas tempranas del crecimiento (hasta 50 kg) hay un margen extraordinario, ya que la ganancia de peso puede ser de 45% o más del monto de alimento consumido (Merino *et al.*, 2005).

El presente estudio se realizó para calcular el nivel óptimo biológico para maximizar el comportamiento productivo, características de la canal y minimizar la concentración de urea en plasma; así como para calcular el nivel óptimo económico de lisina digestible de cerdos en crecimiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en la granja experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, a una altitud de 2250 m. El clima corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano cuya fórmula climática es $CW_o(W)b(i)g$, con poca oscilación térmica (5 a 7 °C), con una temperatura media anual de 15.2 °C y precipitación media anual de 644.8 mm (García, 1988).

Tratamientos

Se evaluaron cinco tratamientos con diferente nivel de lisina digestible en la dieta: 0.67, 0.75, 0.83, 0.91 y 0.99% para cerdos en crecimiento, con cuatro repeticiones y dos cerdos por unidad experimental. El valor de 0.83% de lisina digestible es el recomendado por el NRC (1998). Se utilizaron 40 lechones (Pietrain-Landrace-Yorkshire) machos castrados, con un peso promedio de 22.3 kg de PV. La fase experimental duró cuatro semanas.

Manejo y alimentación

Los animales se asignaron al azar a cada tratamiento. Se les proporcionó una dieta experimental con base a sorgo y pasta de soya, misma que se formuló con el programa Optimizador de Excel. Los ingredientes se mantuvieron constantes en las cinco dietas; se utilizó arena para ajustar el volumen de todos los nutrimentos, y sólo se movió lisina en las dietas (Cuadro 9). El suministro de alimento y agua fue a libre acceso.

Variables de respuesta

Las variables para comportamiento productivo fueron consumo de alimento acumulado (CONSAC), ganancia de peso acumulada (GPAC), peso vivo final (PVF)

y conversión alimenticia acumulada (CA); para características de la canal fueron grasa dorsal (GD), porcentaje de carne magra (%CM) y área del músculo *longissimus* (AML); y concentración de urea en plasma (UREA).

Cuadro 9. Dietas experimentales con diferente nivel de lisina digestible.

Ingrediente	Nivel de lisina digestible en la dieta				
	0.67%	0.75%	0.83%	0.91%	0.99%
Pasta de soya	20.582	20.583	20.583	20.583	20.583
Sorgo	75.922	75.922	75.922	75.922	75.922
Aceite	0.889	0.889	0.889	0.889	0.889
Carbonato de calcio	0.594	0.594	0.594	0.594	0.594
Ortofosfato de calcio	0.750	0.750	0.750	0.750	0.750
Premezcla de vitaminas	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200
Premezcla de minerales	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
L-lisina-HCl	0.099	0.202	0.304	0.407	0.509
L-treonina	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084
DL-metionina	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
Sal	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350
Arena	0.410	0.307	0.205	0.102	0.000
Total	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Nutrimiento	Análisis calculado				
EM (Kcal)	3265	3265	3265	3265	3265
Proteína cruda (%)	16	16	16	16	16
Lisina digestible (%)	0.67	0.75	0.83	0.91	0.99
Arginina (%)	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Treonina (%)	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
Triptofano (%)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Metionina + Cistina (%)	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
Calcio (%)	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Fósforo total (%)	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51

Cantidad de vitaminas y minerales por kilogramo de dieta: Vit. E: 1.2 UI, Vit. K: 80 mg, Vit. B₁: 0.072 mg, Vit. B₂: 200 mg, Vit. B₅: 1600 mg, Vit. B₆: 80 mg, Vit. B₁₂: 0.0012mg, Vit. B_H: 0.004 mg, Colina: 1800 mg, Ac. Pantoténico: 640 mg, Ac. Fólico: 0.04 mg, Antioxidante: 240 mg, Fe: 4000 mg, Zn: 4 mg, Mg: 4 mg.

Toma de datos

Los animales se pesaron al inicio del experimento, después esta actividad se realizó cada semana, para calcular la ganancia de peso acumulativa. El consumo de alimento se obtuvo por la diferencia de peso (kg) del alimento ofrecido y rechazado semanalmente. Con los datos de consumo de alimento y ganancia de peso se calculó la conversión alimenticia. La GD y el AML (ojo de chuleta) se midieron a la altura de la décima costilla con un equipo de ultrasonido de tiempo real Sono Vet 600 marca MEDISON. La GCM y el %CM se calculó usando parte de la ecuación del NPPC (1991).

En la determinación de urea en plasma, primero se tomaron las muestras de sangre mediante la punción en la vena cava de los animales al final del experimento, para lo cual se utilizaron tubos vacutainer de 10 ml con heparina; las muestras obtenidas se identificaron y se conservaron en hielo hasta su centrifugación en el laboratorio. Dicha centrifugación fue por 10 min a 2500 rpm, posteriormente se separó el sobrenadante del paquete celular y se transfirió a un tubo de poliuretano. El plasma se almacenó a -20 °C, para después hacer la determinación de urea utilizando el método colorimétrico (Searcy *et al.*, 1961) en un espectrofotómetro Perkin-Elmer, serie Lambda 2.

Modelos de regresión y modelos econométricos

Para calcular los NOB y NOE, sólo se tomaron en cuenta a las variables que resultaron significativas ($p < 0.05$) en el análisis de regresión, cuyos modelos fueron:

$$\text{Lineal: } Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_j + e_{ijk} \quad [1]$$

$$\text{Cuadrático: } Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_j + \beta_3 X_j^2 + e_{ijk} \quad [2]$$

$$\text{Cúbico: } Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 X_i + \beta_2 X_j + \beta_3 X_j^2 + \beta_4 X_j^3 + e_{ijk} \quad [3]$$

Donde Y_{ijk} = Variable dependiente, β_0 a β_4 = coeficientes estimados, X_i = Peso inicial, X_j = Nivel de lisina, e_{ijk} = error aleatorio.

Los parámetros de regresión (β_i) estimados se integraron a modelos econométricos para calcular el NOB. El modelo econométrico para maximizar o minimizar las variables respuesta fue:

Función objetivo: [4]

Maximizar CONSAC, GPAC, PVF %CM, AML y Minimizar UREA = $f(\text{PI}, \text{Lis})$

Restricciones:

Sujeto a $A_1 X_1 - \phi_1 \text{Lis} \geq Z_1$

Con la condición de no negatividad $X_1, \text{Lis} \geq 0$

Donde A_1 es la matriz de aporte de nutrimentos de los ingredientes de la dieta, X_1 son los ingredientes empleados en la dieta, ϕ_1 es el coeficiente de aporte total de lisina en la dieta, Lis es el nivel de lisina de la dieta, Z_1 es el requerimiento de nutrimentos diferentes a lisina.

El modelo econométrico para obtener el NOE de lisina digestible fue:

Función objetivo: [5]

Maximizar utilidades = α

En donde α = Ingresos – Egresos variables por alimentación (EVA)

Ingresos = (Precio del cerdo/kg) * (Peso vivo en kg)

EVA = (Costo de la dieta/kg) * (Consumo de alimento en kg)

Restricciones, sujeto a:

$AX \geq Y$

$cx - \text{costo de alimento} = 0$

$ax\text{Lis} - \text{Lis} = 0$

Ganancia de peso = $f(\text{Lis}, b)$

Consumo de alimento = $f(\text{Lis})$

Con la condición de no negatividad $X, x_{\text{Lis}} \geq 0$

Donde **A** es el aporte de nutrimentos de los ingredientes de la dieta, **X** son los ingredientes empleados en las dietas, **c** es el costo de los ingredientes empleados, **x** es la cantidad de ingrediente incluida en la dieta, **a** es el nivel de nutrimentos estimados que maximizan la utilidad en función de la lisina, **b** es el efecto del PI sobre la variable respuesta y **Y** son los requerimientos de los cerdos, previamente establecidos para la etapa de crecimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se detectaron efectos ($p < 0.05$) lineales, cuadráticos y cúbicos del nivel de lisina en CONSAC, GPAC y PVF (Cuadro 10). El efecto del consumo de alimento entre tratamientos produjo diferencias para la GPAC. Los resultados de consumo de alimento coincidieron con los de Oliveira *et al.* (2003a), Oliveira *et al.* (2003b), y Loughmiller *et al.* (1998), quienes también encontraron efecto lineal en esta variable.

En lo que concierne a ganancia de peso, los resultados del presente estudio coincidieron con los de Oliveira *et al.* (2006) y Abreu *et al.* (2007), quienes hallaron una respuesta cuadrática en la ganancia de peso en cerdos en crecimiento y finalización; así como con los de Merino *et al.* (2005), quienes también observaron una respuesta cuadrática ($p < 0.05$) a los niveles de lisina. El efecto del nivel de lisina en el PVF, principalmente se debió a que hubo diferencias en la GPAC, lo que condujo a diferencias entre tratamientos en el PVF de los cerdos. Sin embargo, no se encontró efecto en la CA.

Cuadro 10. Estimación del consumo de alimento acumulado (CONSAC), ganancia de peso acumulada (GPAC) y peso vivo final (PVF) del efecto lineal (Lisina), cuadrático (Lisina²) y cúbico (Lisina³) de lisina digestible y del peso inicial de cerdos en crecimiento.

Parámetro	CONSAC		GPAC		PVF	
	Estimador	E. E.	Estimador	E. E.	Estimador	E. E.
Intercepto	-829.14**	199.30	-271.01*	109.78	-320.60*	94.90
Semana	12.94**	0.27	6.11**	0.15	6.11**	0.13
Lisina	2949.48*	733.13	964.46*	403.83	1149.00*	349.10
Lisina ²	-3556.43*	890.96	-1165.71*	490.77	-1393.91*	424.26
Lisina ³	1411.62*	357.48	463.31*	196.91	558.41*	170.23
Peso inicial	0.97**	0.10	0.35**	0.05	1.31**	0.05
R ²	0.96		0.95		0.97	

*P <0.05, ** P <0.01

En cuanto a características de la calidad de la canal, se detectaron efectos lineales y cuadráticos del nivel de lisina en la dieta, y un efecto lineal del PI en %CM y AML (Cuadro 11).

Cuadro 11. Estimación del porcentaje de carne magra (%CM), área del músculo *longissimus* (AML) y concentración de urea en plasma (UREA) del efecto lineal (Lisina) y cuadrático (Lisina²) de lisina digestible y del peso inicial de cerdos en crecimiento.

Parámetro	%CM		AML		UREA	
	Estimador	E. E.	Estimador	E. E.	Estimador	E. E.
Intercepto	60.39**	9.28	44.82**	13.95	43.99**	13.59
Lisina	-66.21**	22.30	-97.24**	33.53	-98.81**	32.68
Lisina ²	40.49**	13.46	60.40**	20.24	58.98**	19.72
Peso inicial	0.01	0.05	0.43**	0.07	0.18**	0.07
R ²	0.11		0.49		0.21	

** P <0.01

La respuesta en el %CM y AML posiblemente se debió a que la energía se utilizó para la síntesis de tejido magro y se depositó menos grasa en la canal, tal vez por eso

no se detectó efecto sobre la GD. Esta respuesta se atribuye a que la selección para ganancia de carne magra, ha disminuido la cantidad de grasa en la canal, pues una mayor cantidad de energía se destina a la síntesis de proteína (Friesen *et al.*, 1994; Cline *et al.*, 2000; Loughmiller *et al.*, 1998); dichos autores reportaron que al incrementar el nivel de lisina en la dieta de cerdos en finalización, aumentó linealmente ($p<0.05$) el %CM y decreció la GD. Similarmente, Oliveira *et al.* (2006) encontraron que la depositación de proteína en la canal fue influenciada de forma lineal ($p<0.06$) por el nivel de lisina digestible en la dieta (0.80 a 1.20%) en cerdos de 15 a 30 kg de PV.

La respuesta del AML coincidió con la obtenida por Medina (2002), quien también encontró una respuesta cuadrática en el AML por efecto del nivel de lisina total en la dieta. Sin embargo, no se detectaron diferencias en la GCM, resultados que concuerdan con los de Abreu *et al.* (2007), quienes no observaron efecto del nivel de lisina digestible (0.70 a 1.00%) en la dieta sobre la GCM en cerdos con alto potencial genético, de 60 a 95 kg de PV, para una mayor GCM.

La respuesta de la concentración de urea mostró un efecto lineal y cuadrático del nivel de lisina y del PI, resultado que coincidió con Abreu *et al.* (2007), quienes observaron una respuesta cuadrática en la concentración de urea en plasma en cerdos de 60 a 95 kg de PV, con diferente nivel de lisina en la dieta. Lo que indica que se alcanzó un óptimo donde se logra un equilibrio de los AA para poder ser aprovechados por el animal; pero a medida que se aumenta el nivel de lisina en la dieta este equilibrio se pierde y los AA no son utilizados, por lo que existe un exceso

de los mismos en plasma y la concentración de urea aumenta para posteriormente ser eliminada.

Los valores del coeficiente de determinación (R^2) obtenidos en los análisis de regresión (Cuadro 10) indican que es posible predecir con alta precisión al CONSAC, GPAC y PVF; por lo tanto, se tiene confiabilidad en la estimación del óptimo para cada variable. Sin embargo, para las variables %CM, AML y UREA (Cuadro 11) tienen un R^2 muy bajo, por lo que la estimación de los óptimos pudiera ser poco confiable.

Las curvas de predicción del CONSAC, GPAC, PVF, %CM, AML y UREA de cerdos en crecimiento, hasta la cuarta semana experimental, se presentan en las Figuras 4, 5, 6, 7, 8 y 9, respectivamente. Así mismo, los NOB de lisina digestible que minimizan o maximizan dichos parámetros productivos, características de la canal y la concentración de urea, se muestran en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Niveles óptimos biológicos de lisina digestible para cerdos en crecimiento hasta la cuarta semana experimental.

Variable respuesta	Nivel de lisina		Valor del parámetro	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Consumo de alimento (kg)	0.93	0.75	46.84	51.49
Ganancia de peso (kg)	0.94	0.74	22.75	24.46
Peso vivo final (kg)	0.67	0.75	45.30	46.50
Carne magra (%)	0.82	0.99	34.67	33.47
Área del músculo <i>longissimus</i> (cm ²)	0.80	0.99	15.30	17.36
Concentración de urea en plasma (ml/dL)	0.84	0.99	6.69	8.06

El NOB para maximizar el CONSAC y PVF fue similar (0.75%), mientras que el NOB para maximizar la GPAC fue ligeramente inferior (0.74%); y a su vez fueron menor al valor del NRC (1998), que recomienda un 0.83% de lisina digestible. Lo anterior pudo deberse a que la respuesta en consumo de alimento afectó la respuesta en ganancia de peso y peso vivo final, lo que implicaría que es el consumo de lisina, y no el nivel dietético de lisina solamente, el que más afectó a las variables del comportamiento productivo de los cerdos en crecimiento.

El NOB para %CM y AML fue 0.99% de lisina digestible en la dieta, mayor al NOB de las variables de comportamiento productivo; esto coincide con lo reportado por Friesen *et al.* (1994), quienes mencionan que el requerimiento de lisina dietética para máxima ganancia de tejido magro es mayor al requerimiento para máxima ganancia de peso. Estos resultados concuerdan con los de Paraksa *et al.* (1999), quienes hallaron que la máxima depositación de proteína fue registrada con el nivel de 1.25% de lisina en la dieta en la fase de 20 a 40 kg de PV y 1% para el periodo de 40 a 65 kg de PV.

En el caso de UREA, se encontró un óptimo de 0.84% de lisina digestible en la dieta, lo que coincidió con Abreu *et al.* (2007), quienes reportan una respuesta cuadrática en la concentración de urea en plasma de cerdos de 60 a 95 kg de PV; dicha concentración se minimizó con 0.83% de lisina digestible en la dieta. Similarmente, Friesen *et al.* (1994) obtuvieron el nivel más bajo de urea (11.64 mg/100ml) en cerdas en crecimiento cuando la dieta contenía 0.85% de lisina digestible. Estos niveles de lisina digestible que minimizan la concentración de urea en plasma están cerca del nivel recomendado por el NRC (1998), que corresponde a 0.83% de lisina

digestible y donde los AA alcanzan un equilibrio para el aprovechamiento del animal.

La diferencia entre los NOB calculados para las variables en este estudio con los NOB reportados por el NRC (1998) y por otros autores, puede atribuirse a factores genéticos y ambientales que afectan el consumo de lisina, al aprovechamiento por el animal, al peso vivo de los cerdos y a la calidad de los ingredientes en la dieta.

El NOE encontrado en este estudio (0.72 %) coincidió con el calculado por Orozco y González (1996) y fue inferior al valor del NRC (1998). Si bien los cambios de NOE fueron pequeños, el impacto del precio del cerdo sobre las utilidades fue trascendente (Cuadro 13). El NOE de lisina para maximizar la utilidad fue sensible a las variaciones del precio de cerdo (Figura 10). Cabe mencionar que el precio de cerdo por kilogramo en pie fue de \$14.00 en promedio al momento de la venta de los animales.

Cuadro 13. Análisis de sensibilidad del NOE ante variaciones del precio del cerdo en pie.

Precio (\$)/kg de cerdo en pie	NOE	Utilidad
12	0.71	146.86
13	0.71	171.17
14	0.72	195.54
15	0.72	219.94
16	0.72	244.36

NOE: Nivel óptimo económico

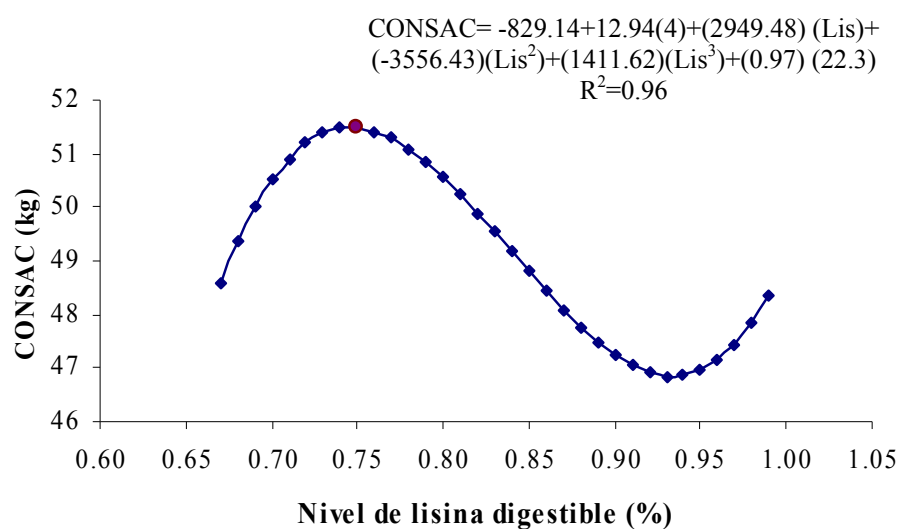


Figura 4. Curva de respuesta del consumo de alimento acumulado (CONSAC), con diferente nivel de lisina digestible en la dieta.

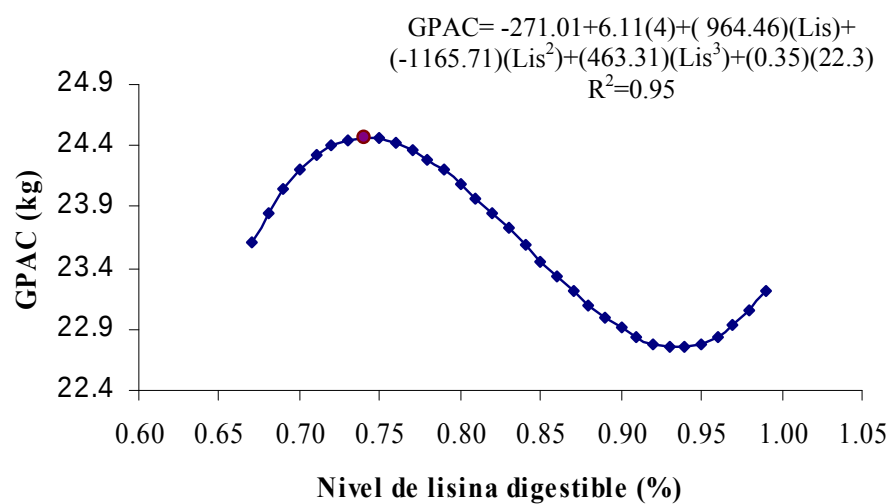


Figura 5. Curva de respuesta de la ganancia de peso acumulada (GPAC), con diferente nivel de lisina digestible en la dieta.

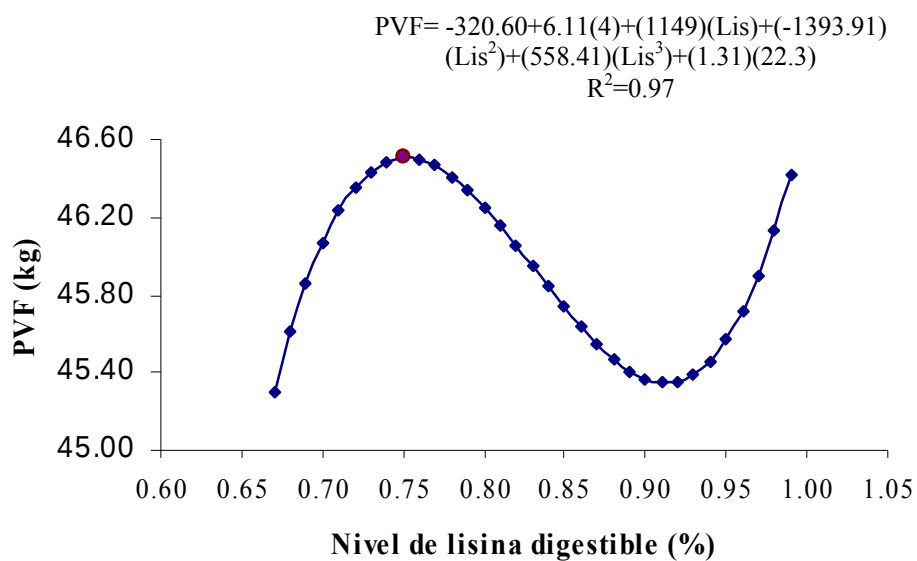


Figura 6. Curva de respuesta del peso vivo final (PVF), con diferente nivel de lisina digestible en la dieta.

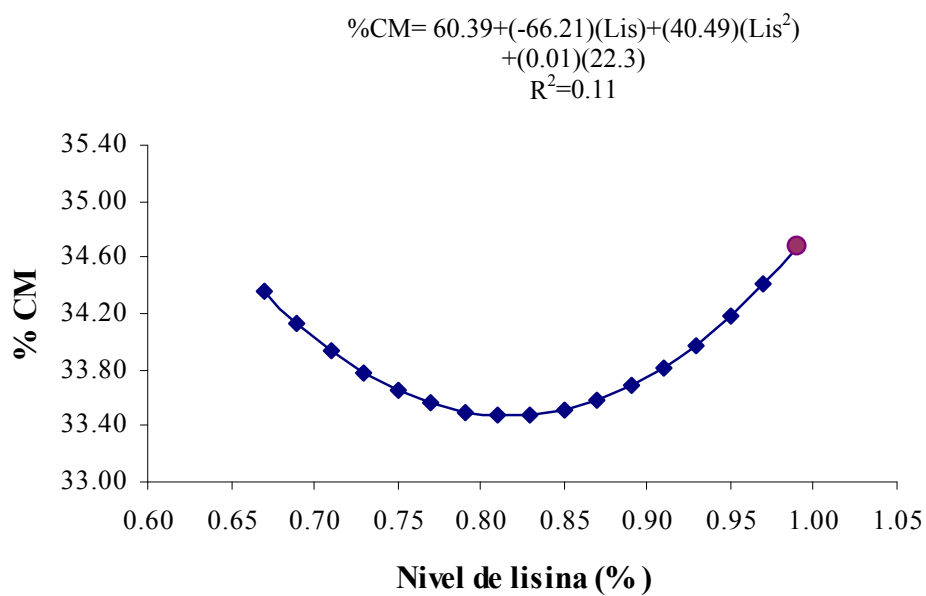


Figura 7. Curva de respuesta del porcentaje de carne magra (%CM), con diferente nivel de lisina digestible en la dieta.

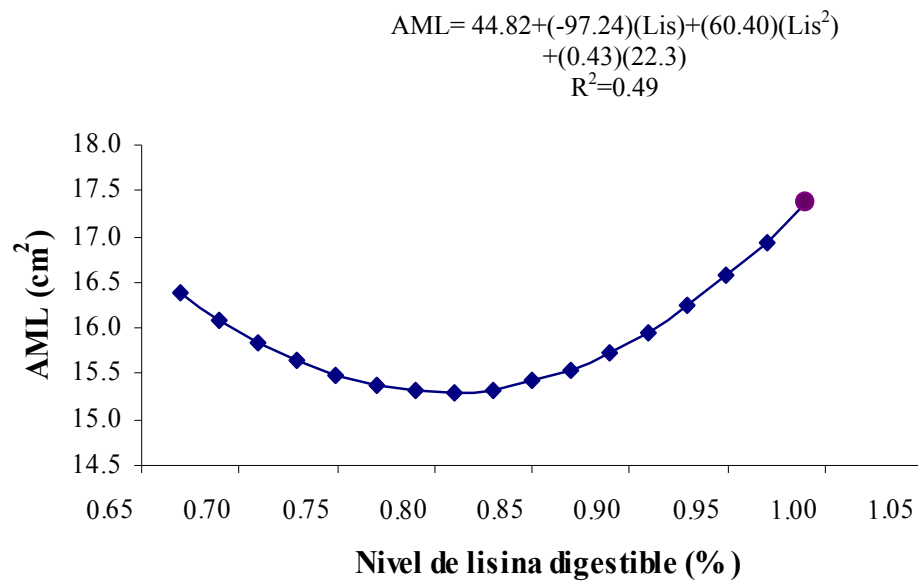


Figura 8. Curva de respuesta del área del músculo *longissimus* (AML), con diferente nivel de lisina digestible en la dieta.

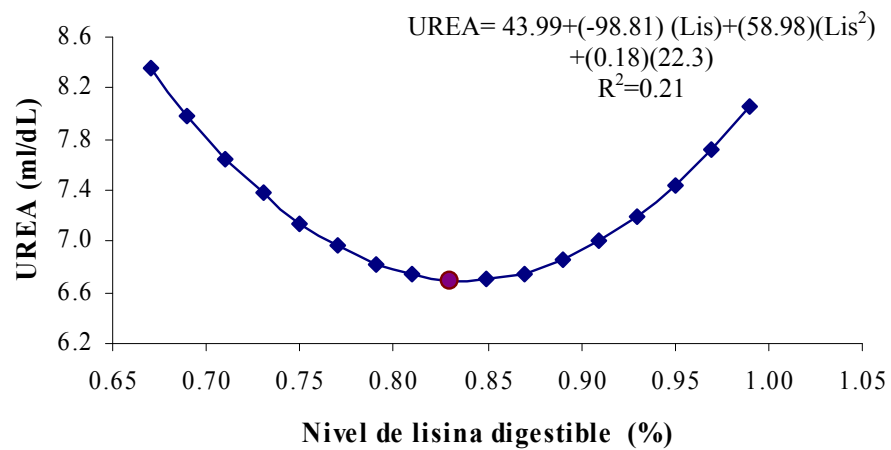


Figura 9. Curva de respuesta de la concentración de urea en plasma (UREA), con diferente nivel de lisina digestible en la dieta.

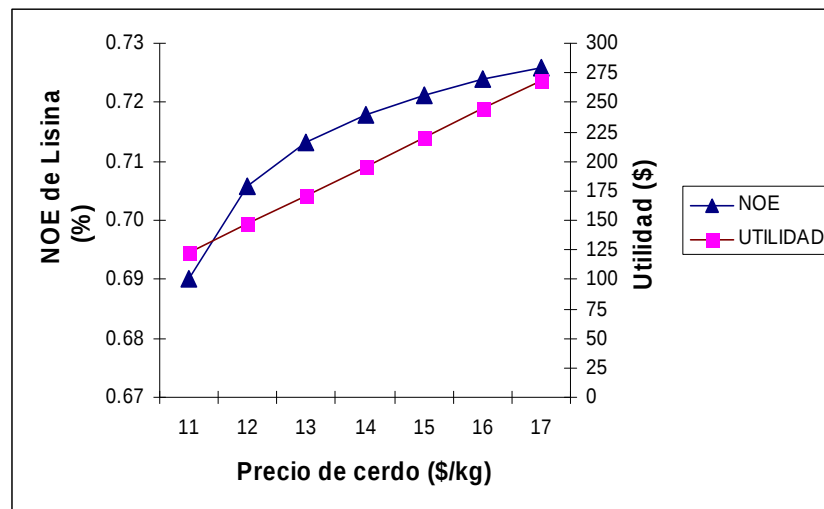


Figura 10. Efecto del precio de cerdo por kilogramo, sobre el nivel óptimo económico (NOE) de lisina y las utilidades.

CONCLUSIONES

Los niveles de lisina digestible afectaron el consumo de alimento acumulado, la ganancia de peso acumulada, el peso vivo final, el porcentaje de carne magra, el área del músculo *longissimus* y la concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento.

Los niveles óptimos biológicos para optimizar el comportamiento productivo de cerdos en crecimiento fueron semejantes, pero diferentes a los óptimos biológicos para características de la canal, que se alcanzó con el máximo nivel de lisina digestible.

El nivel óptimo biológico para minimizar la concentración de urea en plasma fue diferente a los niveles óptimos biológicos para maximizar comportamiento

productivo y características de la canal, ya que dependieron del criterio de respuesta utilizado.

El nivel óptimo económico de lisina para maximizar utilidades fue sensible a las variaciones del precio de cerdo en pie.

Los niveles óptimos biológicos y el nivel óptimo económico de lisina digestible, no coincidieron entre sí, y fueron diferentes al nivel recomendado por el NRC (1998).

LITERATURA CITADA

- Abreu, M. L. T. de, J. L. Donzele, de O. R. F. Miranda, A. L. S. de Oliveira, F. de A. Santos, e A. A. Pereira. 2007. Níveis de lisina digestível em rações, utilizando-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. R. Bras. Zootec. 36(1): 54-61.
- Bertolo, R. R., S. Moehn, P. B. Pencharz, and R. O. Ball. 2005. Estimate of the variability of the lysine requirement of growing pigs using the indicator amino acid oxidation technique. J. Anim. Sci. 83: 2535-2542.
- Coma, J. D., 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.
- 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.
- Friesen, K. G., J. L. Nelssen, 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 kilograms. J. Anim. Sci. 72: 1761-1770.

- Fuller, M. F., R. McWilliam, T. C. Wang, and L. R. Giles. 1989. The optimum dietary amino acid pattern for growing pigs. 2. Requirements for maintenance and for tissue protein accretion. *Br. J. Nutr.* 62: 255-267.
- García G., A., M. González A. y M. Cuca G. 1997. Niveles óptimos biológico y económico de L-lisina en dietas para cerdas en crecimiento (30-60 kg). *In: Memorias de la XXVI Reunión de la Asociación Mexicana de Producción Animal. Del 21 al 24 de Mayo. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo Méx. pp. 223-226.*
- García, M. E. 1988. Modificación al sistema de clasificación climática de Koppen para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana. *Talleres Offset Larios. México. D.F. 277 p.*
- 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(3): 773-784.
- Hansen, J. A., D. A. Knabe, and K. G. Burgoon. 1993. Amino acids supplementation of low-protein, sorghum-soybean meal diet for 20 to 50-kilogram swine. *J. Anim. Sci.* 71(2): 442-451.
- Loughmiller, J. A., J. L. Nelssen, R. D. Goodband, M. D. Tokach, E. C. Titgemeyer, and I. H. Kim. 1998. Influence of dietary total sulfur amino acids and methionine on growth performance and carcass characteristics of finishing gilts. *J. Anim. Sci.* 76: 2129-2137.
- 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. Chapingo, Méx. 91 p.
- Merino, C. B., R. S Gómez y 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. *Tec. Pecu. Méx.* 43(2): 139-153.
- NRC. 1998. Nutrient requirements of swine (10th Edition.) National Academy Press, Washington, D.C.
- NPPC. 1991. Procedures to Evaluate Market Hogs. 3rd ed. Natl. Pork Prod. Council, Des Moines. IA.

- Oliveira, A. L. S. de, J. L., Donzele, de O. R. F. Miranda, A. S. Ferreira, A. M. S. Moita, e R. A. R. Generoso. 2003a. Lisina em Rações para Suínos Machos Castrados Seleccionados para Deposição de Carne Magra na Carcaça dos 110 aos 125 kg. R. Bras. Zootec. 32(1): 150-155.
- Oliveira, A. L. S. de, J. L. Donzele, de O. R. F. Miranda, D. C. Lopes, A. M. S. Moita, S. F. C. de Oliveira, e L. S. de Freitas. 2003b. Lisina em Rações para Suínos Machos Castrados Seleccionados para Deposição de Carne Magra na Carcaça dos 95 aos 110 kg. R. Bras. Zootec. 32(2): 337-343.
- Oliveira, A. L. S. de, J. L. Donzele, de O. R. F. Miranda, M. L. T. de 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 kg. R. Bras. Zootec. 35(6): 2338-2343.
- Orozco M., R. y M. González A. 1996. Análisis y perspectivas de la formulación de dietas de máxima utilidad (\$) en la alimentación de cerdos. *In: Memorias del Seminario de Actualización en Nutrición Porcina. Universidad Autónoma Chapingo (Departamento de Zootecnia –UGRPEG-CONAPOR-NRA-AMPA).* 30 y 31 de Mayo. Irapuato, Gto. pp. 143-163.
- Paraksa, N., U. Kanto, and S. Choenchon. 1999. Requirement of ileal digestible lysine for European growing and finishing pigs under tropical conditions. *Kasetsar J. (Nat. Sci.)* 33: 213:223.
- Searcy, R. L., G. S. Gough, J. L. Korotzer, and L. M. Bergquist. 1961. Evaluation of a new technique for estimation of urea nitrogen in serum. *Am. J. Med. Tech.* 27: 255-262.

ANEXOS

Anexo 1. Programa de SAS para el análisis del Experimento 1 (Niveles de lisina en la dieta).

a) Comportamiento productivo

```
/*ARCHIVO PARA ANALIZAR DATOS DE LA TESIS DE MARICELA LOPEZ RIVERA,
EL ARCHIVO ES: Mis documentos:\TESIS\LISINA\DATOS ENEROLISINA.xls\
IMPORTADO COMO WORK.LYSENERO. El input del archivo es el siguiente:
CORRALETA SEM TRAT CONSUMO GDP CONV EFIC PINICIAL PFINAL*/
/*Archivo importador*/
PROC IMPORT OUT= LYSENERO
            DATAFILE= "Mis documentos:\TESIS\LISINA\DATOS
ENEROLISINA.xls\"
            DBMS=EXCEL REPLACE;
            SHEET="DATOSSAS$";
            GETNAMES=YES;
            MIXED=NO;
            SCANTEXT=YES;
            USEDATE=YES;
            SCANTIME=YES;
RUN;
Title 'Estadisticos descriptivos tesis LISINA Maricela';
Options ls=256 ps=10000 nocenter nodate;
Proc means data=LYSENERO n min max mean std cv;
Var SEM TRAT CONSUMO GDP CONV EFIC PINICIAL PFINAL;
Run;Quit;
PROC MIXED DATA=LYSENERO;
CLASS  CORRALETA TRAT SEM;
MODEL CONSUMO = TRAT SEM PINICIAL TRAT*SEM/DDFM=SATTERTH;
RANDOM CORRALETA(TRAT);
REPEATED SEM/TYPE=AR(1) SUB=CORRALETA(TRAT) R RCORR;
LSMEANS TRAT SEM TRAT*SEM/pdiff ADJ=TUKEY;
/*POLINOMIOS ORTOGONALES*/
CONTRAST 'Efecto Lineal' TRAT -2 -1 0 +1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cuadrático' TRAT +2 -1 -2 -1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cubico' TRAT -1 +2 0 -2 +1;
CONTRAST 'Efecto Cuartico' TRAT +1 -4 +6 -4 +1;
RUN;
PROC MIXED DATA=LYSENERO;
CLASS  CORRALETA TRAT SEM;
MODEL GDP= TRAT SEM PINICIAL TRAT*SEM/DDFM=SATTERTH;
RANDOM CORRALETA(TRAT);
REPEATED SEM/TYPE=AR(1) SUB=CORRALETA(TRAT) R RCORR;
LSMEANS TRAT SEM TRAT*SEM/pdiff ADJ=TUKEY;
/*POLINOMIOS ORTOGONALES*/
CONTRAST 'Efecto Lineal' TRAT -2 -1 0 +1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cuadrático' TRAT +2 -1 -2 -1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cubico' TRAT -1 +2 0 -2 +1;
CONTRAST 'Efecto Cuartico' TRAT +1 -4 +6 -4 +1;
RUN;
PROC MIXED DATA=LYSENERO;
CLASS  CORRALETA TRAT SEM;
MODEL CONV= TRAT SEM PINICIAL TRAT*SEM/DDFM=SATTERTH;
RANDOM CORRALETA(TRAT);
REPEATED SEM/TYPE=AR(1) SUB=CORRALETA(TRAT) R RCORR;
```

```

LSMEANS TRAT SEM TRAT*SEM/pdiff ADJ=TUKEY;
/*POLINOMIOS ORTOGONALES*/
CONTRAST 'Efecto Lineal' TRAT -2 -1 0 +1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cuadrático' TRAT +2 -1 -2 -1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cubico' TRAT -1 +2 0 -2 +1;
CONTRAST 'Efecto Cuartico' TRAT +1 -4 +6 -4 +1;
RUN;
PROC MIXED DATA=LYSENERO;
CLASS CORRALETA TRAT SEM;
MODEL PFINAL= TRAT SEM PINICIAL TRAT*SEM/DDFM=SATTERTH;
RANDOM CORRALETA(TRAT);
REPEATED SEM/TYPE=AR(1) SUB=CORRALETA(TRAT) R RCORR;
LSMEANS TRAT SEM TRAT*SEM/pdiff ADJ=TUKEY;
/*POLINOMIOS ORTOGONALES*/
CONTRAST 'Efecto Lineal' TRAT -2 -1 0 +1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cuadrático' TRAT +2 -1 -2 -1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cubico' TRAT -1 +2 0 -2 +1;
CONTRAST 'Efecto Cuartico' TRAT +1 -4 +6 -4 +1;
RUN;

```

b) Para características de la canal y concentración de urea en plasma

```

DATA LISINA;
INPUT TRAT PI PF GRDI GRDF MLI MLF CMI CMF GCM UREAI UREAF GDP;
CARDS;
1 22...;

PROC GLM;
CLASS TRAT;
MODEL PF GRDI GRDF MLI MLF CMI CMF GCM UREAI UREAF GDP= TRAT
PI/SS3;
MEANS TRAT/TUKEY LINES;
LSMEANS TRAT/stderr pdiff adjust=tukey;
RUN;

PROC GLM;
CLASS TRAT;
MODEL PF GRDI GRDF MLI MLF CMI CMF GCM UREAI UREAF GDP=TRAT PI /SS3;
title " POLINOMIOS ORTOGONALES ";
CONTRAST 'Efecto Lineal' TRAT -2 -1 0 +1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cuadrático' TRAT +2 -1 -2 -1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cubico' TRAT -1 +2 0 -2 +1;
CONTRAST 'Efecto Cuartico' TRAT +1 -4 +6 -4 +1;
RUN;

```

Anexo 2. Programa de SAS para el análisis del Experimento 2 (Niveles de treonina en la dieta), con los datos globales (hembras y machos)

a) Comportamiento productivo

```

DATA TREONINA;
INPUT CORRALETA SEM TRAT CONS GDP CONV;
CARDS;
1 22...;

Proc means n min max mean std cv;

```

```

Var SEM TRAT CONS GDP CONV;
Run;Quit;
PROC MIXED;
CLASS CORRALETA TRAT SEM;
MODEL CONS = TRAT SEM TRAT*SEM/DDFM=SATTERTH;
RANDOM CORRALETA(TRAT);
REPEATED SEM/TYPE=AR(1) SUB=CORRALETA(TRAT) R RCORR;
LSMEANS TRAT SEM TRAT*SEM/pdiff ADJ=TUKEY;
/*POLINOMIOS ORTOGONALES*/
CONTRAST 'Efecto Lineal' TRAT -2 -1 0 +1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cuadrático' TRAT +2 -1 -2 -1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cubico' TRAT -1 +2 0 -2 +1;
CONTRAST 'Efecto Cuartico' TRAT +1 -4 +6 -4 +1;
RUN;
PROC MIXED;
CLASS CORRALETA TRAT SEM;
MODEL GDP= TRAT SEM TRAT*SEM/DDFM=SATTERTH;
RANDOM CORRALETA(TRAT);
REPEATED SEM/TYPE=AR(1) SUB=CORRALETA(TRAT) R RCORR;
LSMEANS TRAT SEM TRAT*SEM/pdiff ADJ=TUKEY;
/*POLINOMIOS ORTOGONALES*/
CONTRAST 'Efecto Lineal' TRAT -2 -1 0 +1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cuadrático' TRAT +2 -1 -2 -1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cubico' TRAT -1 +2 0 -2 +1;
CONTRAST 'Efecto Cuartico' TRAT +1 -4 +6 -4 +1;
RUN;
PROC MIXED;
CLASS CORRALETA TRAT SEM;
MODEL CONV= TRAT SEM TRAT*SEM/DDFM=SATTERTH;
RANDOM CORRALETA(TRAT);
REPEATED SEM/TYPE=AR(1) SUB=CORRALETA(TRAT) R RCORR;
LSMEANS TRAT SEM TRAT*SEM/pdiff ADJ=TUKEY;
/*POLINOMIOS ORTOGONALES*/
CONTRAST 'Efecto Lineal' TRAT -2 -1 0 +1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cuadrático' TRAT +2 -1 -2 -1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cubico' TRAT -1 +2 0 -2 +1;
CONTRAST 'Efecto Cuartico' TRAT +1 -4 +6 -4 +1;
RUN;

```

b) Para características de la canal y concentración de urea en plasma

```

DATA TREONINA;
INPUT TRAT PI PF GRDI GRDF AMLI AMLF GCM CMI CMF UREAI UREAF GDP;
CARDS;

1 22...;

PROC GLM;
CLASS TRAT;
MODEL PF GRDI GRDF MLI MLF CMI CMF GCM UREAI UREAF GDP= TRAT PI/SS3;
MEANS TRAT/TUKEY LINES;
LSMEANS TRAT/stderr pdiff adjust=tukey;
RUN;

PROC GLM;

CLASS TRAT;
MODEL PI PF GRDI GRDF AMLI AMLF GCM CMI CMF UREAI UREAF
GDP=TRAT/SS3;
CLASS TRAT;
CONTRAST 'Efecto Lineal' TRAT -2 -1 0 +1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cuadrático' TRAT +2 -1 -2 -1 +2;
CONTRAST 'Efecto Cubico' TRAT -1 +2 0 -2 +1;

```

```
CONTRAST 'Efecto Cuartico' TRAT +1 -4 +6 -4 +1;
RUN;
```

Anexo 3. Programa de SAS para el análisis del Experimento 2 (Niveles de treonina en la dieta), sólo con los datos de hembras.

```
DATA TREONINA HEMBRAS;
INPUT TRAT PI PF GRDI GRDF AMLI AMLF GCM CMI CMF UREAI UREAF GDP;
CARDS;
1 22...;

Proc means n min max mean std cv;
Var PI PF GRDI GRDF AMLI AMLF GCM CMI CMF UREAI UREAF GDP;
Run;Quit;
PROC GLM;
CLASS TRAT;
MODEL PI PF GRDI GRDF AMLI AMLF GCM CMI CMF UREAI UREAF GDP=
TRAT/SS3;
MEANS TRAT/TUKEY LINES;
lsmeans trat/stderr pdiff tdiff adjust=tukey;
PROC MEANS MEAN STDERR; BY trat;
RUN;
```

Anexo 4. Programa de SAS para el análisis del Experimento 2 (Niveles de treonina en la dieta), sólo con los datos de machos castrados.

```
DATA TREONINA MACHOS;
INPUT TRAT PI PF GRDI GRDF AMLI AMLF GCM CMI CMF UREAI UREAF GDP;
CARDS;
1 22...;

Proc means n min max mean std cv;
Var PI PF GRDI GRDF AMLI AMLF GCM CMI CMF UREAI UREAF GDP;
Run;Quit;
PROC GLM;
CLASS TRAT;
MODEL PI PF GRDI GRDF AMLI AMLF GCM CMI CMF UREAI UREAF GDP= TRAT
/SS3;
MEANS TRAT/TUKEY LINES;
lsmeans trat/stderr pdiff adjust=tukey;
PROC MEANS MEAN STDERR; BY trat;
RUN;
/*Efecto lineal*/
PROC GLM;
TRAT PI PF GRDI GRDF AMLI AMLF GCM CMI CMF UREAI UREAF GDP =TRAT;
Efecto cudrático
TRAT PI PF GRDI GRDF AMLI AMLF GCM CMI CMF UREAI UREAF GDP = TRAT
TRAT*TRAT;
Efecto cúbico
TRAT PI PF GRDI GRDF AMLI AMLF GCM CMI CMF UREAI UREAF GDP = TRAT
TRAT*TRAT TRAT*TRAT*TRAT;
RUN;
```

Anexo 5. Programa de Excel para el nivel de lisina que maximiza el consumo de alimento acumulado (CONSAC) en el periodo experimental.

(UA = 1%)							
LISINA							
Función Objetivo			Fórmulas	Tipo			
	CONSAC		51.43	=	Máximo		
Restricciones							
	Min LIS (%)	1	0.75	>=	0.67		
	Max LIS (%)	1	0.75	<=	0.99		
Variable	LIS	0.75					
Betas Variable	CONSAC	intercepto	LIS	LIS ²	LIS ³	PI	SEMANA
		-829.14	2949.48	-3556.43	1411.62	0.97	12.94
	51.43511	1	0.75	0.562500	0.421875	22.34	4
		Manual	Óptimo	Manual	Manual	Manual	Manual
CONSAC							
	48.52304	1	0.67	0.4489	0.30076	22.34	4
	49.94455	1	0.69	0.4761	0.32851	22.34	4
	50.85856	1	0.71	0.5041	0.35791	22.34	4
	51.33283	1	0.73	0.5329	0.38902	22.34	4
	51.43511	1	0.75	0.5625	0.42188	22.34	4
	51.23317	1	0.77	0.5929	0.45653	22.34	4
	50.79475	1	0.79	0.6241	0.49304	22.34	4
	50.18762	1	0.81	0.6561	0.53144	22.34	4
	49.47954	1	0.83	0.6889	0.57179	22.34	4
	48.73826	1	0.85	0.7225	0.61412	22.34	4
	48.03154	1	0.87	0.7569	0.65850	22.34	4
	47.42714	1	0.89	0.7921	0.70497	22.34	4
	46.99281	1	0.91	0.8281	0.75357	22.34	4
	46.79632	1	0.93	0.8649	0.80436	22.34	4
	46.90542	1	0.95	0.9025	0.85737	22.34	4
	47.38787	1	0.97	0.9409	0.91267	22.34	4
	48.31143	1	0.99	0.9801	0.97030	22.34	4

Anexo 6. Programa de Excel para el nivel de lisina que maximiza la ganancia de peso (GPAC) acumulada en el periodo experimental.

(UA = 1%)

LISINA

Función Objetivo			Fórmulas	Tipo	
	GPAC		24.35	=	Máximo
Restricciones	Min LIS (%)	1	0.74	>=	0.67
	Max LIS (%)	1	0.74	<=	0.99

Variable LIS 0.74

Betas Variable	GPAC	intercepto	LIS	LIS ²	LIS ³	PI	SEMANA
		-271.01	964.46	-1165.71	463.31	0.35	6.11
	24.35114	1	0.74123	0.54942	0.40725	22.34	4
		Manual	Óptimo	Manual	Manual	Manual	Manual

GPAC						
23.49649	1	0.67	0.4489	0.30076	22.34	4
23.93337	1	0.69	0.4761	0.32851	22.34	4
24.20493	1	0.71	0.5041	0.35791	22.34	4
24.33341	1	0.73	0.5329	0.38902	22.34	4
24.34103	1	0.75	0.5625	0.42188	22.34	4
24.25005	1	0.77	0.5929	0.45653	22.34	4
24.08269	1	0.79	0.6241	0.49304	22.34	4
23.86120	1	0.81	0.6561	0.53144	22.34	4
23.60782	1	0.83	0.6889	0.57179	22.34	4
23.34478	1	0.85	0.7225	0.61412	22.34	4
23.09433	1	0.87	0.7569	0.65850	22.34	4
22.87870	1	0.89	0.7921	0.70497	22.34	4
22.72013	1	0.91	0.8281	0.75357	22.34	4
22.64086	1	0.93	0.8649	0.80436	22.34	4
22.66314	1	0.95	0.9025	0.85737	22.34	4
22.80919	1	0.97	0.9409	0.91267	22.34	4
23.10126	1	0.99	0.9801	0.97030	22.34	4

Anexo 7. Programa de Excel para el nivel de lisina que maximiza el peso vivo final (PVF) en el periodo experimental.

(UA = 1%)

LISINA

Función Objetivo		Fórmulas	Tipo	
PVF		46.36	=	Máximo
Restricciones				
Min LIS (%)	1	0.75	>=	0.67
Max LIS (%)	1	0.75	<=	0.99

Variable LIS 0.75

Betas Variable	PVF	intercepto	LIS	LIS ²	LIS ³	PI	SEMANA
		-320.6	1149	-1393.91	558.41	1.31	6.11
	46.36062	1	0.75166	0.56499	0.42468	22.34	4
		Manual	Óptimo	Manual	Manual	Manual	Manual

PVF						
45.15827	1	0.67	0.4489	0.30076	22.34	4
45.71756	1	0.69	0.4761	0.32851	22.34	4
46.08645	1	0.71	0.5041	0.35791	22.34	4
46.29174	1	0.73	0.5329	0.38902	22.34	4
46.36024	1	0.75	0.5625	0.42188	22.34	4
46.31875	1	0.77	0.5929	0.45653	22.34	4
46.19408	1	0.79	0.6241	0.49304	22.34	4
46.01302	1	0.81	0.6561	0.53144	22.34	4
45.80238	1	0.83	0.6889	0.57179	22.34	4
45.58897	1	0.85	0.7225	0.61412	22.34	4
45.39958	1	0.87	0.7569	0.65850	22.34	4
45.26103	1	0.89	0.7921	0.70497	22.34	4
45.20011	1	0.91	0.8281	0.75357	22.34	4
45.24363	1	0.93	0.8649	0.80436	22.34	4
45.41840	1	0.95	0.9025	0.85737	22.34	4
45.75121	1	0.97	0.9409	0.91267	22.34	4
46.26887	1	0.99	0.9801	0.97030	22.34	4

Anexo 8. Programa de Excel para el nivel de lisina que maximiza el porcentaje de carne magra (%CM) en el periodo experimental.

(UA = 1%)

LISINA

Función Objetivo			Fórmulas	Tipo	
			%CM	34.67	= Máximo
Restricciones					
	Min LIS (%)	1	0.99	>=	0.67
	Max LIS (%)	1	0.99	<=	0.99

Variable LIS 0.99

Betas Variable	%CM	intercepto	LIS	LIS ²	LIS ³	PI
		60.39133	-66.21172	40.48645	0	0.00661
	34.67015	1	0.99	0.9801	0.970299	22.34
		Manual	Óptimo	Manual	Manual	Manual

%CM						
34.35149	1	0.67	0.4489	0.30076	22.34	
34.12849	1	0.69	0.4761	0.32851	22.34	
33.93788	1	0.71	0.5041	0.35791	22.34	
33.77965	1	0.73	0.5329	0.38902	22.34	
33.65382	1	0.75	0.5625	0.42188	22.34	
33.56037	1	0.77	0.5929	0.45653	22.34	
33.49932	1	0.79	0.6241	0.49304	22.34	
33.47065	1	0.81	0.6561	0.53144	22.34	
33.47437	1	0.83	0.6889	0.57179	22.34	
33.51048	1	0.85	0.7225	0.61412	22.34	
33.57898	1	0.87	0.7569	0.65850	22.34	
33.67987	1	0.89	0.7921	0.70497	22.34	
33.81315	1	0.91	0.8281	0.75357	22.34	
33.97881	1	0.93	0.8649	0.80436	22.34	
34.17687	1	0.95	0.9025	0.85737	22.34	
34.40731	1	0.97	0.9409	0.91267	22.34	
34.67015	1	0.99	0.9801	0.97030	22.34	

Anexo 9. Programa de Excel para el nivel de lisina que maximiza el área del músculo longissimus (AML) en el periodo experimental.

(UA = 1%) LISINA					
Función Objetivo			Fórmulas	Tipo	
	AML		17.36	=	Máximo
Restricciones					
	Min LIS (%)	1	0.99	>=	0.67
	Max LIS (%)	1	0.99	<=	0.99
Variable	LIS	0.99			

Betas Variable	AML	intercepto	LIS	LIS ²	LIS ³	PI
		44.82490	-97.23768	60.40131	0	0.42998
	17.36470	1	0.99	0.9801	0.97030	22.34
		Manual	Óptimo	Manual	Manual	Manual

AML					
16.39558	1	0.67	0.4489	0.30076	22.34
16.09374	1	0.69	0.4761	0.32851	22.34
15.84022	1	0.71	0.5041	0.35791	22.34
15.63503	1	0.73	0.5329	0.38902	22.34
15.47815	1	0.75	0.5625	0.42188	22.34
15.36960	1	0.77	0.5929	0.45653	22.34
15.30937	1	0.79	0.6241	0.49304	22.34
15.29745	1	0.81	0.6561	0.53144	22.34
15.33386	1	0.83	0.6889	0.57179	22.34
15.41859	1	0.85	0.7225	0.61412	22.34
15.55165	1	0.87	0.7569	0.65850	22.34
15.73302	1	0.89	0.7921	0.70497	22.34
15.96271	1	0.91	0.8281	0.75357	22.34
16.24073	1	0.93	0.8649	0.80436	22.34
16.56706	1	0.95	0.9025	0.85737	22.34
16.94172	1	0.97	0.9409	0.91267	22.34
17.36470	1	0.99	0.9801	0.97030	22.34

Anexo 10. Programa de Excel para el nivel de lisina que minimiza la concentración de urea (UREA) en el periodo experimental.

(UA = 1%) LISINA					
Función Objetivo			Fórmulas	Tipo	
	UREA		6.69	=	Mínimo
Restricciones					
	Min LIS (%)	1	0.84	>=	0.67
	Max LIS (%)	1	0.84	<=	0.99
Variable	LIS	0.84			

Betas Variable	UREA	intercepto	LIS	LIS ²	LIS ³	PI
		43.98890	-98.81221	58.97507	0	0.18314
	6.69053	1	0.83775	0.70182	0.58795	22.34
		Manual	Óptimo	Manual	Manual	Manual

UREA					
8.35000	1	0.67	0.4489	0.30076	22.34
7.97788	1	0.69	0.4761	0.32851	22.34
7.65294	1	0.71	0.5041	0.35791	22.34
7.37517	1	0.73	0.5329	0.38902	22.34
7.14459	1	0.75	0.5625	0.42188	22.34
6.96119	1	0.77	0.5929	0.45653	22.34
6.82497	1	0.79	0.6241	0.49304	22.34
6.73593	1	0.81	0.6561	0.53144	22.34
6.69406	1	0.83	0.6889	0.57179	22.34
6.69938	1	0.85	0.7225	0.61412	22.34
6.75188	1	0.87	0.7569	0.65850	22.34
6.85156	1	0.89	0.7921	0.70497	22.34
6.99842	1	0.91	0.8281	0.75357	22.34
7.19246	1	0.93	0.8649	0.80436	22.34
7.43367	1	0.95	0.9025	0.85737	22.34
7.72207	1	0.97	0.9409	0.91267	22.34
8.05765	1	0.99	0.9801	0.97030	22.34

Anexo 11. Programa de Excel para el nivel de lisina que maximiza las utilidades (NOE)

función objetivo	(UA=Kg)										(UA=1 %) (UA=1 Peso)		Costo de dieta	Nivel Optimo	Restric- ción	RHS min.
	Soya	Sorgo	Aceite	Carbonato de calcio	Orto- fosfato	VIT	MIN	HCl-lisina	Treonina	DL-met.	Sal	Filler	Lisina			
Utilidad (costos)														195.54	=	MAX
Restricciones																
Costo (pesos)	3.50	2.30	12	0.35	0.80	70	17.5	35	41	40	3.5	0	0	-1	0.00	= 0
Min EM (kcal)	3180	3340	8400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3265	>= 3265
Min PC (%)	43.80	9.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	>= 16
Max PC (%)	43.80	9.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	<= 16
Lisina (%)	2.83	0.22	0	0	0	0	0	78	0	0	0	0	0	0	0.87	>= 0.95
Lisina dig (%)	2.40	0.13	0	0	0	0	0	78	0	0	0	0	-1	0	0.000	= 0
Min lis dig (%)	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0.72	>= 0.67
Max lis dig (%)	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0.72	<= 0.99
Arginina (%)	3.23	0.38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.95	>= 0.37
Arginina dig (%)	3.00	0.30	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0.85	>= 0.33
Arginina dig (%)	3.00	0.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.85	<= 1
Treonina (%)	1.73	0.31	0	0	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0.67	>= 0.61
Treonina dig (%)	1.35	0.21		0	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0.52	>= 0.52
Treonina dig (%)	1.35	0.21		0	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0	0.52	<= 0.65
Triptofano (%)	0.61	0.10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.20	>= 0.17
Triptofano dig (%)	0.48	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.156	>= 0.15
Met+cis (%)	1.31	0.34	0	0	0	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0.547	>= 0.54
Met+cis dig (%)	1.12	0.29	0	0	0	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0.470	>= 0.47
Met+cis dig (%)	1.12	0.29	0	0	0	0	0	0	0	99	0	0	0	0	0.470	<= 0.5
Calcio (%)	0.81	0.03	0	38.3	24.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.600	>= 0.6
Calcio (%)	0.81	0.03	0	38.3	24.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.600	<= 0.9
Fósforo total (%)	0.62	0.29	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.513	>= 0.5

Continuación del cuadro anterior

Fósforo disp. (%)	0.24	0.06	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	>=	0.23
Fósforo disp. (%)	0.24	0.06	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.230	<=	0.28
PMVIT (Kg)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002	=	0.002
PMMIN (Kg)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0.001	=	0.001
P. soya	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.206	>=	0
Sorgo	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.758	>=	0
Aceite	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.009	>=	0
Hcl-lisina	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0.002	>=	0
Treonina	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.001	>=	0
Metionina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.000	>=	0
Sal (kg)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0.004	=	0.0035
Filler	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0.004	=	0.0041
PESO (kg)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1.000	=	1

SOLUCIÓN

KGS DE:	0.2061	0.757	0.0093	0.00593	0.0075	0.002	0.001	0.0016	0.00083	0.0002	0.0035	0.0041	0.7179	2.851
	Soya	Sorgo	Aceite	Carbonato	Fosfato	VIT	MIN	HCl-lis	Treo	DL-met.	Sal	Filler	Nivel Lisina	Costo Dieta

Ecuación de Regresión	CONSUMO DE ALIMENTO		GANANCIA DE PESO	
	PARAMETRO	VARIABLE	PARAMETRO	VARIABLE
INTERCEPTO	-829.148	1		1
SEMANA	12.9408	4	6.11924	4
NIVLIS	2949.49	0.71789	964.47	0.71789
NIVLIS2	-3556.44	0.51537	-1165.72	0.51537
NIVLIS3	1411.62	0.36998	463.312	0.36998
PI	0.97253	22.34	0.35331	22.34
VALOR ESTIMADO		51.1493		24.3872

CONCEPTOS DE UTILIDAD

INGRESOS	=	PRECIO/KG CERDO *	GANANCIA DE PESO
341.42		14	24.3872
MANUAL			
EGRESOS	=	COSOTO/KG DIETA *	CONSUMO DE ALIMENTO
145.877		2.85199	51.1493
UTILIDAD	=	INGRESOS MENOS	EGRESOS
195.543		341.42 -	145.877