



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD-GANADERÍA

**NIVELES DE LISINA Y TREONINA DIGESTIBLE EN DIETAS
SORGO-PASTA DE SOYA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO**

SANDRA GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

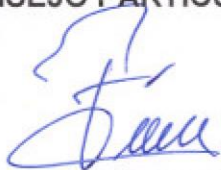
MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO.

2014

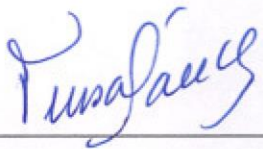
La presente tesis titulada: **Niveles de lisina y treonina digestible en dietas sorgo-pasta de soya para cerdos en etapa de crecimiento**, realizada por el alumna: **Sandra Gutiérrez Hernández**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERIA**

CONSEJO PARTICULAR:

Consejero 

Dr. José Luis Figueroa Velasco

Asesor 

Dra. Ma. Teresa Sánchez-Torres Esqueda

Asesor 

Dra. Aleida Selene Hernández Cázares

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Abril de 2014.

RESUMEN

NIVELES DE LISINA Y TREONINA DIGESTIBLE EN DIETAS SORGO-PASTA DE SOYA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

SANDRA GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2014

La lisina (lis) y treonina (tre) son el primer y segundo aminoácidos limitantes en las dietas de cerdos para la síntesis de proteína. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de diferentes niveles de lisina y treonina en dietas sorgo-pasta de soya para cerdos en crecimiento, sobre el comportamiento productivo, características de la canal y la concentración de urea en plasma. En el experimento 1 los tratamientos (T) fueron: T1, 0.83 lis+ 0.52 tre; T2, 0.83 lis+ 0.62 tre; T3, 0.93 lis+ 0.52 tre; T4, 0.93 lis+ 0.62 tre). Se utilizaron 36 cerdos (19 hembras y 17 machos castrados) híbridos (Landrace×Yorkshire×Pietrain) con peso promedio inicial de $27,65 \pm 5,65$ kg durante cuatro semanas, distribuidos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×2. En el experimento 2 se evaluaron cinco niveles de treonina digestible (0.52; 0.62; 0.72; 0.82 y 0.92%) durante seis semanas. Se utilizaron 35 cerdos (19 hembras y 16 machos castrados) híbridos (Landrace×Yorkshire×Pietrain) con peso promedio inicial de 16.71 ± 7.85 kg durante seis semanas. Los animales se distribuyeron en un diseño completamente al azar. En ambos experimentos fueron evaluadas la respuesta productiva (ganancia diaria de peso, consumo diario de alimento, conversión alimenticia, ganancia de carne magra), las características de la canal (grasa dorsal, área del músculo *longissimus*, porcentaje de carne magra), y la concentración de urea en plasma. Las variables fueron analizadas con PROC GLM. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) y se utilizaron contrastes ortogonales para detectar efectos lineales, cuadráticos y cúbicos para la determinación

del nivel óptimo biológico (NOB) para cada una de las variables. En el experimento 1 no se observó efecto de la concentración de lisina y treonina digestible tanto en las variables productivas como de la canal ($p>0.05$). En el experimento 2 el NOB para ganancia diaria de peso (GDP) y consumo de alimento fue 0.90% de treonina digestible. Tanto en el experimento 1 como en el 2 la concentración de urea en plasma se modificó por la cantidad de lisina y treonina presentes en la dieta. Se concluye que el aumento de lisina digestible no mejora las variables productivas y de la canal. El NOB de treonina digestible para cerdos en crecimiento para consumo de alimento y ganancia diaria de peso es de 0.90%.

Palabras clave: lisina, treonina, comportamiento productivo, características de la canal.

ABSTRACT

SANDRA GUTIÉRREZ HERNÁNDEZ, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2014

Lysine (lys) and threonine (thr) are the first and second limiting amino acids for protein synthesis in pig diets. The objective of this study was to evaluate the effect of different levels of lysine and threonine in sorghum-soybean meal diets for growing pigs on growth performance, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration. In experiment 1 treatments (T) were: T1, 0.83 lys + 0.52 thr; T2, 0.83 lys + 0.62 thr; T3, 0.93 lys + 0.52 thr; T4, 0.93 lys + 0.62 thr, fed to 36 hybrid (Landrace×Yorkshire×Pietrain) pigs (19 barrows and 17 gilts) with an initial body weight of 27.65±5.65 kg during four weeks, allotted in a completely randomized design with a factorial 2×2 arrangement. In experiment 2, five levels of digestible threonine (0.62, 0.72, 0.52, 0.82 and 0.92%) were evaluated during six weeks in 35 hybrid (Landrace×Yorkshire×Pietrain) pigs (19 barrows and 16 gilts) with an initial body weight of 16.71±7.85 kg, allotted in a completely randomized design. In both experiments were evaluated growth performance (average daily gain, average daily feed intake, feed:gain ratio, fat free lean gain), carcass characteristics (backfat thickness, *longissimus* muscle area, lean meat percentage) and plasma urea nitrogen concentration. The variables were analyzed using PROC GLM. Comparison of means was performed with the Tukey test ($p \leq 0.05$); orthogonal contrasts were used to determine linear, quadratic and cubic effects to estimate the biological optimum level (BOL) for each variable. In Experiment 1, there was not effect of digestible lysine and threonine concentration on both growth performance and carcass characteristics variables ($p > 0.05$). In experiment 2, the BOL for average daily gain and average daily feed intake was 0.90% of digestible threonine.

It was concluded that increasing digestible lysine does not improve the growth performance and carcass characteristics variables; the BOL of digestible threonine for growing pigs for average daily feed intake and average daily gain is 0.90%.

Keywords: lysine, threonine, productive performance, carcass characteristics.

Agradecimientos

Al Colegio de Postgraduados, en especial al Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería por la oportunidad que me brindó para lograr mis estudios de maestría y lograr así una meta más para mí formación profesional.

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

Al Dr. José Luis Figueroa Velasco, por darme la oportunidad de ingresar a este programa; por enseñarme, guiarme y apoyarme en esta difícil experiencia que me ha hecho crecer personal y profesionalmente. Además de sus sabios consejos durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

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

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

Sandra Gutiérrez Hernández

Dedicatoria

A dios por darme la vida por iluminarme y guiarme durante todo este tiempo, porque sin él no hubiera podido salir adelante en los momentos difíciles y de prueba, no tengo palabras para agradecer lo mucho que me ha dado.

A MIS PADRES

Gracias por todos sus consejos y apoyo incondicional que me han dado desde mi infancia hasta el día de hoy, por estar conmigo en cada etapa de mi vida, por los constantes desvelos que han tenido por mí, por comprenderme en los momentos más difíciles, por su paciencia que muchas veces me libero de presiones y estrés, por ese gran ejemplo que siempre me han brindado, sé que con este logro ustedes se sentirán orgullosos de mí.

A ambos les digo GRACIAS, porque son el pilar en mi camino y hoy les entrego mi esfuerzo, y este triunfo no solo es mío sino también de USTEDES, pues este logro me abre puertas inimaginables en mi desarrollo profesional.

A mis hermanos les agradezco sus consejos y su apoyo que me brindaron en el momento exacto para que no me rindiera, por estar siempre a mi lado, por su cariño y comprensión.

Al gran amor de mi vida que llego acompañando este gran logro, mi hija Vannia porque es la persona más importante en mi vida. Porque con su llegada me impulso a culminar esta etapa. Gracias por darle un gran giro a mi vida llenándola de alegría, amor y felicidad. A Eduardo por ser un gran esposo, gracias cielo por todo tu amor, apoyo, confianza y comprensión.

Para aquellas personas que con sus consejos y apoyo, estuvieron atrás de mí guiándome para culminar esta meta.

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1. Objetivos.....	3
2. Hipótesis.....	3
3. Revisión de literatura.....	4
3.1 Clasificación de los aminoácidos.....	4
3.2 Aminoácidos esenciales para cerdos.....	4
3.3 Características generales de los aminoácidos.....	5
3.4 Características generales de lisina.....	5
3.5 Requerimientos de lisina para cerdos en crecimiento.....	6
3.5.1 Ganancia diaria de peso.....	7
3.5.2 Consumo de alimento.....	8
3.5.3 Conversión alimenticia.....	8
3.5.4 Ganancia de carne magra	8
3.5.5 Grasa dorsal.....	9
3.5.6 Efecto del nivel de lisina en la concentración de urea en plasma.....	9
3.6 Características generales de treonina.....	10
3.7 Efecto del nivel de treonina dietética sobre el comportamiento productivo en cerdos de crecimiento.....	11
3.7.1 Consumo de alimento.....	11

3.7.2 Ganancia de peso.....	12
3.7.3 Conversión alimenticia.....	12
3.7.4 Ganancia de carne magra.....	13
3.7.5 Grasa dorsal.....	14
3.7.6 Área del <i>Musculus longissimus</i>	14
3.7.7 Concentración de urea en plasma en cerdos en crecimiento.....	14
3.8 Relación de lisina y treonina para cerdos de crecimiento.....	15
4. Bibliografía.....	18
CAPÍTULO I. NIVELES DE LISINA Y TREONINA DIGESTIBLE EN DIETAS SORGO-PASTA DE SOYA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO.....	24
1.1. Resumen.....	25
1.2. Abstract.....	26
1.3. Introducción.....	28
1.4. Materiales y métodos.....	30
1.5. Resultados y discusión.....	36
1.6. Conclusiones.....	40
1.7. Literatura citada.....	41

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Niveles de lisina digestible para variables productivas de cerdos en etapa de crecimiento.....	9
2	Niveles de lisina digestible para características de la canal y concentración de urea en plasma (CUP) de cerdos en crecimiento...	10
3	Requerimientos de lisina y treonina en cerdos en crecimiento de 20 a 50 kg de peso vivo, alimentados <i>ad libitum</i> (90% de materia seca).	17
1.1.	Dietas experimentales para cerdos en crecimiento (experimento 1).....	30
1.2.	Dietas experimentales para cerdos en crecimiento (experimento 2).....	32
1.3	Comportamiento productivo de cerdos hembras y machos castrados en crecimiento alimentados con dos niveles de lisina y treonina digestible en la dieta.....	36
1.4	Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos hembras y machos castrados en crecimiento alimentados con dos niveles de lisina y treonina digestible en la dieta.....	37
1.5	Comportamiento productivo de cerdos en crecimiento alimentados con cinco niveles de treonina.....	38
1.6	Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento, alimentados con cinco niveles de treonina.....	39

INTRODUCCIÓN GENERAL

La industria ganadera ocupa una posición dominante en la economía agrícola de muchos países, y la producción porcina es la actividad ganadera más importante en las granjas de un gran número de regiones. Los cerdos pueden considerarse como el prototipo de animal de abasto, debido a sus buenos índices de transformación de alimento en carne, su elevada precocidad, su alta prolificidad, los buenos rendimientos de la canal y las cualidades de su carne. La porcicultura moderna exige un alto grado de tecnificación para lograr la mayor rentabilidad posible, tanto en aspectos de manejo (raza, nutrición, personal calificado, instalaciones, entre otras) como en aspectos de higiene.

A pesar de sus bondades, la producción porcina está condicionada a gran cantidad de factores externos como son: la relación de precios cerdo-maíz, la disponibilidad de ingredientes, las enfermedades en el ganado porcino, la oferta del cerdo en el mercado, la demanda de los consumidores y la situación económica mundial. Los requerimientos nutritivos de los cerdos dependen de la raza que se explote; aunque hay generalidades, existen diferencias importantes en cuanto al manejo de la alimentación dependiendo de la etapa de desarrollo y productiva de los animales.

En este contexto, el presente trabajo se enfocó al aspecto de la nutrición, tomando en cuenta que es una de las bases de la producción y se enfatiza en los fundamentos de la industria porcícola. Para ello se observaron los cambios que presentan los animales en su comportamiento productivo al analizar los efectos de adición de diferentes concentraciones de lisina y treonina digestible en dietas a base de sorgo-pasta de soya para cerdos en etapa de crecimiento con la finalidad de mejorar la eficiencia de la dieta.

1. OBJETIVOS

- Evaluar el comportamiento productivo, las características de la canal y la concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con diferentes niveles de lisina y treonina en dietas bajas en proteína adicionadas con aminoácidos sintéticos.
- Determinar el nivel óptimo biológico de treonina digestible para variables productivas, características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento con dietas con base en sorgo-pasta de soya.

2. HIPÓTESIS

- El nivel de lisina y treonina recomendado por el National Research Council (NRC, 1998) para cerdos en crecimiento no es el apropiado para optimizar el comportamiento productivo y las características de la canal de cerdos en crecimiento y finalización alimentados con dietas con base en sorgo-pasta de soya.
- El nivel óptimo biológico de treonina digestible para variables productivas, características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento es diferente al establecido por el NRC (1998).

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Clasificación de los aminoácidos

Los aminoácidos (AA), unidades estructurales de las proteínas, se clasifican en esenciales y no esenciales. Los AA esenciales son aquellos que no se pueden sintetizar en el organismo y por lo tanto deben ser aportados en la dieta, mientras que los 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.

3.2 Aminoácidos esenciales para cerdos

En la alimentación de los cerdos el aporte de AA esenciales es fundamental, incluso es más importante que el aporte de proteína como tal (Santomá, 1991). En dietas básicas para cerdos (sorgo y/o maíz-pasta de soya), los AA más limitantes son lisina, treonina, metionina y triptófano, aunque es necesario que en la dieta de cerdos se incluyan los diez AA esenciales: lisina, metionina, treonina, triptófano, isoleucina, histidina, fenilalanina, leucina, valina y arginina (NRC, 1998; Kopinski, 2005).

La lisina y treonina son típicamente el primer y segundo AA poco presentes en las dietas para cerdos a base de cereales y, generalmente se adicionan en la dieta de fuente sintética para cubrir los requerimientos del cerdo para la máxima síntesis de proteína (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 no rumiantes a un costo aceptable. Al mismo tiempo se tiene la posibilidad de disminuir el uso excesivo de proteína, permitiendo así

la utilización 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 (CA) y la ganancia de carne magra (GCM). La rápida mejora genética inducida científicamente en las razas de cerdos, conlleva al aumento permanente de las necesidades de lisina proporcionalmente al incremento de la eficiencia alimenticia. Además de esto, la selección genética orientada a la obtención de carnes magras genera mayor necesidad de lisina (Donzele, 2005).

3.3 Características generales de los aminoácidos

La estructura bioquímica de los AA contienen un grupo amino primario ($-NH_2$), un grupo de carboxilo ($COOH$) y una cadena lateral o grupo R. El grupo amino primario ocupa una posición alfa con relación al grupo carboxilo, lo cual influye en la formación de estereoisómeros, mientras que la cadena lateral R influye directamente sobre las propiedades fisicoquímicas del AA, por lo tanto, de las propiedades de la proteína que los contiene (De Blas *et al.*, 2003).

3.4 Características generales de lisina

La lisina o ácido 2,6 diaminohexaenoico 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.

Comercialmente la L- lisina se encuentra como monoclóhidrato de L-lisina, que se obtiene de la fermentación oxidativa de una fuente de carbono (azúcar, almidón,

melazas) y 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%.

3.5 Requerimientos de lisina para cerdos en crecimiento

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

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

Los cuadros de requerimientos del NRC (1998) para cerdos ha sido uno de los pilares en la formulación de las dietas; sin embargo, los valores ahí establecidos podrían ser inadecuados para las líneas de cerdos con alta capacidad de crecimiento, debido a que en estudios recientes el nivel de lisina determinado es diferente al recomendado por el NRC (Cuadros 1 y 2). La variabilidad de los datos probablemente

se deba a las distintas condiciones en que se han realizado las evaluaciones (sexo, edad, genotipo, ambiente, proporción de lisina con respecto a los demás nutrientes, etc.; NRC, 1998; Paraksa *et al.*, 1999; Fontes *et al.*, 2000).

Martínez *et al.* (2007) y López *et al.* (2010) sugieren que el mejor nivel de lisina para cerdos depende de la variable utilizada para su determinación (ganancia de peso, conversión alimenticia, características de la canal y retención de proteína en el músculo) y de aquel que se requiera optimizar (Cuadros 1 y 2).

3.5.1 Ganancia diaria de peso

La ganancia diaria de peso (GDP) es uno de los principales indicadores productivos en las explotaciones porcinas comerciales. La GDP es afectada por el nivel de lisina en la dieta; por ello, es necesario buscar el nivel de lisina que maximice esta variable. Los niveles de lisina recomendados por el NRC (1998) se basan principalmente en maximizar la GDP. En los cuadros 1 y 2 se observa que los valores recomendados por el NRC están por abajo de la concentración de lisina encontrada en estudios realizados por diferentes autores en años recientes. No obstante, la mayor parte de los trabajos indican que la concentración óptima de lisina en la etapa de crecimiento alcanza un valor cercano al 1.00% de lisina digestible.

3.5.2 Consumo de alimento

Susenbeth *et al.* (1999) señalan que a mayor concentración de lisina en la dieta se reduce el consumo de alimento (CAL), debido a que existe un límite en la retención de lisina en el animal; sin embargo, en el Cuadro 1 se observa que en cerdos en crecimiento alimentados con una mayor cantidad de lisina en la dieta, en comparación

con el nivel recomendado por el NRC (1998), aumenta el consumo, obteniéndose una mayor GDP, aunque no necesariamente una mejor conversión alimenticia.

3.5.3 Conversión alimenticia

La conversión alimenticia (CA) es la relación entre el alimento consumido y la ganancia de peso que estos tienen durante el tiempo en que la consumen. Kiefer *et al.* (2010) han demostrado que el aumento en el nivel óptimo de lisina digestible (1.225%) mejora la CA de cerdos en crecimiento (Cuadro 1).

3.5.4 Ganancia de carne magra

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

El NRC (1998) usa un modelo biológico para estimar los requerimientos de lisina basado en la producción de tejido magro. Según Loughmiller *et al.* (1998) las altas tasas de producción de tejido magro aumentan los requerimientos de lisina. Es por ello que se debe proporcionar un nivel óptimo de lisina para maximizar la producción de este tejido en cerdos en crecimiento (Wei y Zimmerman, 1998). Para optimizar la GCM se requieren valores superiores a 1% de lisina digestible en cerdos en crecimiento (Cuadro 1).

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

Autor	Rango de peso (kg)	Sexo	Nivel óptimo de lisina (%)			
			GDP	CAL	CA	GCM
NRC (1998)	20-50	H, M	0.75			
Kiefer <i>et al.</i> (2010)	27	M	1.20		1.20	
Lopez <i>et al.</i> (2010)	20-45	H, M	0.75	0.75	0.91	0.75-0.91
Brazilian Tables for poultry and swine (Rostango <i>et al.</i> , 2011)	30-50	M	0.90			
Haese <i>et al.</i> (2011)	25-60	M				1.04
Gattás <i>et al.</i> (2012)	25-60	M	0.96		0.92	0.90
NRC (2012)			1.00			

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

3.5.5 Grasa dorsal

En la actualidad, con el mejoramiento genético en los cerdos para mayor ganancia de tejido magro, se han reducido los niveles de grasa en la canal, pues la energía se usa preferentemente para sintetizar proteína (Cline *et al.*, 2000). Loughmiller *et al.* (1998) reportaron una reducción en la grasa dorsal (GD) al incrementar el nivel de lisina dietética. Es claro que si se quieren cerdos más magros, el valor de lisina recomendado por el NRC (1998) no es el adecuado.

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

Algunos compuestos derivados del metabolismo del nitrógeno sirven para medir rápidamente la respuesta a cambios de concentración de los AA en la dieta; esta respuesta permite tener un criterio rápido y preciso para estimar los requerimientos de lisina dietética para cerdos en etapas específicas de crecimiento (Coma *et al.*, 1995). Uno de estos metabolitos es la concentración de urea en plasma (CUP), que varía con

el aumento o la disminución en el contenido de proteína en la dieta y con el balance de AA de la proteína. Bajos niveles de urea en plasma indican el uso adecuado de AA en general, que permite su máxima utilización; por el contrario, un uso ineficiente se infiere por las altas concentraciones de urea. Sin embargo, esto también resulta de un desbalance entre AA en la dieta (Friesen *et al.*, 1994).

El nivel adecuado de lisina en la dieta puede inferirse midiendo la CUP, ya que en esta forma se transportan los excesos de nitrógeno al riñón para su excreción (Wei y Zimmerman, 1998). Friesen *et al.* (1994) coinciden con el valor de 0.83% de lisina digestible del NRC (1998) para cerdos en etapa de crecimiento. Sin embargo, en términos generales, el nivel que se ha logrado establecer es cercano a 1.00% (Cuadro 3).

Cuadro 2. Niveles de lisina digestible concentración de urea en plasma (CUP) de cerdos en crecimiento

Autor	Rango de peso (kg)	Sexo	Nivel óptimo de lisina (%) CUP
Medina (2002)	20-50	M	1.0
Lopez <i>et al.</i> (2010)	20-45	H, M	0.75- 0.91

CUP= concentración de urea en plasma

3.6 Características generales de treonina

La treonina es otro de los nueve AA que son esenciales para los animales superiores, se deriva de la cadena carbonada de la homocisteína; 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. Su estructura contiene dos átomos de carbono asimétricos y en la naturaleza sólo se ha encontrado el isómero L-treonina (C₄H₉NO₃); químicamente llamado ácido alpha-amino-beta-

hidroxibutírico. Su producción industrial se hace a partir de procesos fermentativos, donde se genera únicamente el isómero L-treonina (De Blas *et al.*, 2003).

3.7 Efecto del nivel de treonina dietética sobre el comportamiento productivo de cerdos de crecimiento

3.7.1 Consumo de alimento

La adición de treonina a dietas para cerdos en crecimiento a base sorgo y pasta de soya con 16% de proteína cruda (PC) no afectó ninguna variable del comportamiento productivo (Figueroa *et al.* 1999). De igual manera Berto *et al.* (2002) no encontraron diferencias entre tratamientos ($p>0.10$) para consumo de alimento en lechones (destetados de 7.23 a 12.32 kg de peso vivo [PV] y en iniciación de 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%; 0.69, 0.74, 0.80 y 0.85%) para cada fase, respectivamente; ni Wang *et al.* (2006) 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 para cerdas con alto potencial genético de 30 a 60 kg de PV.

3.7.2 Ganancia de peso

A fin de encontrar el nivel óptimo de treonina digestible ileal verdadera para cerdos en crecimiento (35 a 65 kg de PV), en función de la ganancia de peso Ertle *et al.* (2004) evaluaron cuatro niveles de treonina combinados con dos de lisina en cerdos en crecimiento. Los machos castrados 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.

Wang *et al.* (2006) encontraron 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. 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, al igual que Pichardo *et al.* (2003) quienes observaron que la adición de treonina incrementó la ganancia de peso. Sin embargo, Berto *et al.* (2002) no encontraron diferencias significativas 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, pero, cuando la ganancia de peso fue ajustada por regresión, se observó un efecto cuadrático para lechones destetados ($p=0.08$) y en iniciación ($p<0.05$).

3.7.3 Conversión alimenticia

Un estudio realizado por Ertle *et al.* (2004) muestran que la conversión alimenticia disminuyó significativamente con el aumento en la concentración de treonina

digestible en dietas para cerdos en crecimiento. Además el requerimiento de treonina digestible ileal para optimizar la conversión alimenticia fue 10.3 g/animal/d para crecimiento. 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 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.

Saldaña *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. También Pozza *et al.* (2000) obtuvieron un efecto cuadrático ($p < 0.01$) en la conversión alimenticia. 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.

3.7.4 Ganancia de carne magra

La ganancia de carne magra en cerdos no mostró efecto de la adición de treonina en la dieta (Ettle *et al.*, 2004; Donzele, 2005) quienes no observaron efecto del nivel de treonina sobre la ganancia de carne magra en cerdos en finalización; sin embargo, la mejor ganancia 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 (2004) indicaron que el máximo nitrógeno retenido por día es mucho más alto en cerdos con genotipos modernos que con cerdos con genotipos no mejorados genéticamente. Los cerdos con genotipos

modernos tienen un alto potencial para deposición de proteína. En este sentido, los autores concluyeron que los requerimientos de treonina encontrados dependen de la eficiencia en deposición de proteína (8.96, 10.45 y 12.22 g/día de treonina por 130, 145 y 160 g de deposición de proteína diaria en cerdos de 50 kg de PV).

3.7.5 Grasa dorsal

Ferreira *et al.* (2005) encontraron que al reducir el nivel de PC (17 a 13%) en la dieta, se incrementó la deposición 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 triptófano). Esto es contrario a los reportes de Ertle *et al.* (2004), quienes no hallaron diferencias significativas en la grasa dorsal cuando se adicionó treonina a la dieta.

3.7.6 Área del músculo *longissimus*

Los niveles de treonina influyen la tasa de deposición 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 g de PV con alto potencial genético (Rodrigues *et al.*, 2001). Thong y Liebert (2004) indicaron que la eficiencia de treonina varía dependiendo de la fuente de proteica y reportan un requerimiento de treonina para cerdos de 50 kg de PV, de 8.52, 9.92 y 11.61 g/d para una deposición de proteína diaria de 130, 145 y 160 g, respectivamente.

3.7.7 Concentración de urea en plasma en cerdos en crecimiento

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 nitrógeno (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, triptófano 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 treonina se incrementó de 4.1 a 5.0 g por día en cerdos de 10 a 25 kg.

3.8 Relación de lisina y treonina para cerdos de crecimiento

El desempeño de la treonina, además de la utilización para la síntesis de proteína (crecimiento y síntesis de leche), está involucrado 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). Berto *et al.* (2002) reportaron un nivel óptimo biológico de 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 digestible fue 0.56% para cerdos machos castrados de 15 a 30 kg. Pozza *et al.* (2000) encontraron un requerimiento de treonina digestible de 0.53%, 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. En la revisión 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 del 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.

Las necesidades de treonina son relativamente elevadas, de forma que la relación treonina:lisina en la proteína ideal para cubrir las necesidades de 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. Las concentraciones de lisina y treonina recomendados en los últimos años se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Requerimientos de lisina y treonina en cerdos en crecimiento de 20 a 50 Kg de peso vivo, alimentados ad libitum (90% de materia seca)

	Lisina (%)	Treonina (%)
NRC (1998)	0.83	0.52
Brazilian Tables for poultry and swine (Rostango <i>et al.</i> , 2011)	0.90	0.59
NRC (2012)	1.00	0.60

4. Bibliografía

- 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.
- Bikker, P., W. A. Verstegen, and M. W. Bosch. 1994. Amino acid composition of growing pigs is affected by protein and energy intake. J. Nutr. 124: 1961-1969.
- 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 D. R. Zimmerman. 1995. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine the lysine requirement of pig. J. Anim. Sci. 73: 472-481.
- de Lange, K., and K. Coudenys. 1996. Interactions between nutrition and the expression of genetic performance potentials in grower-finisher pigs. Ping Liand, Department of Animal Science. University of Guelph. Accesado: 10 abril de 2013. <http://www.nsif.com/Conferences/1996/delange.htm>
- 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, 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.
- 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. Acesso: 5 de Agosto de 2013.

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.

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, D. O., J. L. Donzele, and A. S. Ferreira. 2000. Níveis de lisina para leitões selecionadas geneticamente para deposição de carne magra, dos 60 aos 95 kg. *R. Bras. Zootec.* 29: 784-793.

Friesen, K. G., J. L. Nelsen, R. D. Goodband, M. D. Tokach, J. A. Unruh, D. H. Kropf, and B. J. Kerr. 1994. Influence of dietary lysine on growth and carcass composition of high-lean-growth gilts fed from 34 to 72 kg. *J. Anim. Sci.* 62: 1761-1770.

Gattás, G., F. C. de Oliveira, F. F. Barbosa, J. L. Donzele, A. S. Ferreira e O. R. F. de Miranda. 2012. Níveis de lisina digestível em dietas para suínos machos castrados dos 60 aos 100 dias de idade. *R. Bras. Zootec.* 41: 91-97.

- Haese, D., J. L. Donzele, O. R. F. de Miranda, A. Saraiva, F. C. de Oliveira, J. L. Kill, M. L. T. J. L. Abreu. 2011. Digestible lysine for barrows of genetic lines selected for meat deposition from 60 to 100 days of age. R. Bras. Zootec. 40: 1941-1946.
- Kiefer, C., J. L. Donzele, and O. R. F. de Miranda. 2010. Lisina digestível para suínos machos não castrados de alto potencial genético em fase de crescimento. Ciência Rural, Santa Maria. 40: 1630-1635.
- Kopinski, J. 2005. Amino acids for pig diets. Department of Primary Industries and Fisheries. Queensland. The Australian Pig Institute. Acceso: 23 de Febrero del 2012. <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 20013. www.lysine.com.
- López, M., J. L. Figueroa, M. J. González, L. A. Miranda, V. Zamora, y J. L. Cordero. 2010. Niveles de lisina y treonina digestible en dietas sorgo- pasta de soya para cerdos en crecimiento. Archivos de Zootecnia. 59: 205-216.
- Loughmiller, J. A., J. L. Nelssen, R. D. Goodband, M. D. Tokach, E. C. Titgemeyer, and I. H. Kim. 1998. Influence of dietary lysine on growth performance and carcass characteristics of late-finishing gilts. J. Anim. Sci. 76:1075-1080.
- Martínez, M., J. L. Figueroa, M. J. González, J. L. Landero, and R. Medina. 2007. Optimal biological level of total lysine for finishing pigs fed sorghum- soybean meal diets. J. Anim. Vet. Adv. 6: 1146-1151.
- Medel, P., y A. Fuentetaja. 2000. Efecto del perfil genético, del sexo, el peso al sacrificio y de la alimentación sobre la productividad y la calidad de la canal y de la carne

de cerdos grasos. Memorias del XVI Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España. Pp. 113-139.

Medina G. R. 2002. Optimización biológica y económica de niveles de lisina total en dietas para cerdos en crecimiento. Tesis de Maestría en Producción Animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 91 p.

National Research Council (NRC). 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th Ed. National Academy Press, Washington, D. C.

National Research Council (NRC). 2012. Nutrient Requirements Tables and Feed Ingredient Composition. Nutrient Requirements of Swine. 11th Ed. National Academy Press, Washington, DC. Pp 208-239.

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

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. Lysine catabolism in the neonatal piglet during postnatal stages of growth and development. FASEB. J. 17: 702 (Abstract).

Pozza, P. C., P. C. Gomes, J. L. Donzele, A. S. Ferreira, M. I. Leão, M. S. dos Santos, and R. J. B. Rodrigueiro. 2000. Exigência de treonina para leitoas dos 15 aos 30 kg. R. Bras. Zootec. 29(3): 817-822.

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.

- 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.
- Rostango, H. S., L. F. T. Albino, J. L. Donzeme, P. C. Gomez, de R. F. Oliveira, D. C. Lopez, A. S. Ferreira, S. R. T. Barreto, and R. F. Euclides. 2011. Brazilian Tables for Poultry and Swine. Composition of feedstuffs and Nutritional Requeriments. 3rd edition. Universidade Federal de Vicosa- Departamento de Zootecnia. Editor: Horacio Santiago Rostagno; Translated by Bettina Gertum Becker. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. Pp. 251.
- Saldaña, 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.
- Stryer, L. 1988. Biochemistry. 3rd Edition. W. H. Freeman and Company (eds.). New York. 1089 p.
- Susenbeth, A., T. Dickel, A. Diekenhorst, and D. Hohler. 1999. The effect of energy intake, genotype, and body weight on protein retention in pigs when dietary lysine is the first-limiting factor. J. Anim. Sci. 77:2985-2989.

- Thong, H. T., and F. Liebert. 2004. 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 Techn.* 129: 264-278.
- Wei, R., and D. R. Zimmerman. 1998. Lysine requirements of PIC barrows during growing-finishing period. Department of Animal Science, Iowa State University, Ames, IA. Pp. 39-41.

CAPÍTULO I

NIVELES DE LISINA Y TREONINA DIGESTIBLE EN DIETAS SORGO-PASTA DE SOYA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

NIVELES DE LISINA Y TREONINA DIGESTIBLE EN DIETAS SORGO-PASTA DE SOYA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

Gutiérrez, S.¹, Figueroa, J.L.¹, Sánchez-Torres, M.T.¹, Hernández-Cázares, A.S.²,
Martínez, J.A.¹

RESUMEN

La lisina (lis) y treonina (tre) son el primer y segundo aminoácidos limitantes en las dietas de cerdos para la síntesis de proteína. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de diferentes niveles de lisina y treonina en dietas sorgo-pasta de soya para cerdos en crecimiento, sobre el comportamiento productivo, características de la canal y la concentración de urea en plasma. En el experimento 1 los tratamientos (T) fueron: T1, 0.83 lis+ 0.52 tre; T2, 0.83 lis+ 0.62 tre; T3, 0.93 lis+ 0.52 tre; T4, 0.93 lis+ 0.62 tre). Se utilizaron 36 cerdos (19 hembras y 17 machos castrados) híbridos (Landrace×Yorkshire×Pietrain) con peso promedio inicial de $27,65 \pm 5,65$ kg durante cuatro semanas, distribuidos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×2. En el experimento 2 se evaluaron cinco niveles de treonina digestible (0.52; 0.62; 0.72; 0.82 y 0.92%) durante seis semanas. Se utilizaron 35 cerdos (19 hembras y 16 machos castrados) híbridos (Landrace×Yorkshire×Pietrain) con peso promedio inicial de 16.71 ± 7.85 kg durante seis semanas. Los animales se distribuyeron en un diseño completamente al azar. En ambos experimentos fueron evaluadas la respuesta productiva (ganancia diaria de peso, consumo diario de alimento, conversión alimenticia, ganancia de carne magra), las características de la canal (grasa dorsal, área del músculo *longissimus*, porcentaje de carne magra), y la concentración de urea en plasma. Las variables fueron analizadas con PROC GLM. La comparación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) y se utilizaron contrastes

ortogonales para detectar efectos lineales, cuadráticos y cúbicos para la determinación del nivel óptimo biológico (NOB) para cada una de las variables. En el experimento 1 no se observó efecto de la concentración de lisina y treonina digestible tanto en las variables productivas como de la canal ($p>0.05$). En el experimento 2 el NOB para ganancia diaria de peso (GDP) y consumo de alimento fue 0.90% de treonina digestible. Tanto en el experimento 1 como en el 2 la concentración de urea en plasma se modificó por la cantidad de lisina y treonina presentes en la dieta. Se concluye que el aumento de lisina digestible no mejora las variables productivas y de la canal. El NOB de treonina digestible para cerdos en crecimiento para consumo de alimento y ganancia diaria de peso es de 0.90%.

Palabras clave: lisina, treonina, comportamiento productivo, características de la canal.

DIGESTIBLE LYSINE AND THREONINE LEVELS IN SORGHUM-SOYBEAN MEAL DIETS FOR GROWING PIGS

ABSTRACT

Lysine (lys) and threonine (thr) are the first and second limiting amino acids for protein synthesis in pig diets. The objective of this study was to evaluate the effect of different levels of lysine and threonine in sorghum-soybean meal diets for growing pigs on growth performance, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration. In experiment 1 treatments (T) were: T1, 0.83 lys + 0.52 thr; T2, 0.83 lys + 0.62 thr; T3, 0.93 lys + 0.52 thr; T4, 0.93 lys + 0.62 thr, fed to 36 hybrid (Landrace×Yorkshire×Pietrain) pigs (19 barrows and 17 gilts) with an initial body weight of 27.65 ± 5.65 kg during four weeks, allotted in a completely randomized design with a

factorial 2x2 arrangement. In experiment 2, five levels of digestible threonine (0.62, 0.72, 0.82, 0.82 and 0.92%) were evaluated during six weeks in 35 hybrid (LandracexYorkshirexPietrain) pigs (19 barrows and 16 gilts) with an initial body weight of 16.71 ± 7.85 kg, allotted in a completely randomized design. In both experiments were evaluated growth performance (average daily gain, average daily feed intake, feed:gain ratio, fat free lean gain), carcass characteristics (backfat thickness, *longissimus* muscle area, lean meat percentage) and plasma urea nitrogen concentration. The variables were analyzed using PROC GLM. Comparison of means was performed with the Tukey test ($p \leq 0.05$); orthogonal contrasts were used to determine linear, quadratic and cubic effects to estimate the biological optimum level (BOL) for each variable. In Experiment 1, there was not effect of digestible lysine and threonine concentration on both growth performance and carcass characteristics variables ($p > 0.05$). In experiment 2, the BOL for average daily gain and average daily feed intake was 0.90% of digestible threonine. It was concluded that increasing digestible lysine does not improve the growth performance and carcass characteristics variables; the BOL of digestible threonine for growing pigs for average daily feed intake and average daily gain is 0.90%.

Keywords: lysine, threonine, productive performance, carcass characteristics.

INTRODUCCIÓN

La adición de aminoácidos (AA) sintéticos a las dietas de cerdos puede resolver el problema de la deficiencia y el exceso de estos (Hansen *et al.*, 1993); además, disminuye la excreción del nitrógeno y la contaminación ambiental (Le Bellego *et al.*, 2001). Las necesidades de AA para la producción en cerdos está influenciada por factores como su capacidad genética para la síntesis de proteína corporal, el sexo y la edad del animal (NRC, 1998). La lisina (lis) y treonina (tre) son el primer y segundo AA limitantes en las dietas de los cerdos para la síntesis de proteína (Fontes *et al.*, 2000; Pink *et al.*, 2003); por lo cual, se debe buscar el porcentaje adecuado de todos los AA para evitar desbalances que puedan afectar la síntesis de proteína (Susenbeth *et al.*, 1999), ya que la concentración de cada uno de los AA presentes en las dietas para cerdos se hacen considerando la proporción que guardan con respecto a lisina (NRC, 2012).

A pesar de que existe mucha investigación acerca del nivel de lisina digestible que debe incluirse en cada etapa de desarrollo de los cerdos, hay mucha variación con respecto al nivel recomendado, debido al rápido progreso genético que ha experimentado la especie en los últimos años, propiciando un aumento de los requerimientos de lisina del cerdo; sin embargo, los resultados no han sido consistentes debido a que el mejor nivel de lisina para cerdos depende de la variable en estudio (Martínez *et al.*, 2007; López *et al.*, 2010).

Se ha observado que el aumento de treonina digestible afecta a la conversión alimenticia en cerdos en crecimiento (Ettle *et al.*, 2004) y puede mejorarse la ganancia de peso (Pichardo *et al.*, 2003), ya que un exceso o una deficiencia de treonina en la

dieta disminuye la síntesis de proteína en los tejidos en crecimiento rápido de los cerdos jóvenes (Wang *et al.*, 2006). Cuando los AA esenciales derivan exclusivamente de la dieta, la relación lis:tre óptima es 65%, mientras que cuando los AA esenciales se originan de la movilización de tejidos, la relación lis:tre óptima será 75% (Kim *et al.*, 2001). Las concentraciones de lisina y treonina recomendados por el NRC (2012; lis 1.00%:tre 0.60%) y Brazilian Tables for poultry and swine (Rostago *et al.*, 2011; lis 0.90%:tre 0.59%) exceden considerablemente a la concentración de estos dos aminoácidos respecto al anterior NRC (1998; lis 0.83%:tre 0.52%)

El objetivo del presente trabajo fue determinar el mejor nivel de lisina y treonina digestibles para el comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo-pasta de soya.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se realizaron dos experimentos en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, ubicada en Montecillo, Estado de México, localizada a 98° 48' 27" O y a 19° 48' 23" N y una altitud de 2241 m, con clima templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 15.2°C y precipitación media anual de 644.8 mm (García, 1988).

Experimento 1

Dos niveles de lisina y dos de treonina digestibles se evaluaron en dietas para cerdos en crecimiento. En el experimento 1 los tratamientos (T) fueron: T1, 0.83 lisina + 0.52 treonina (recomendados por el NRC, 1998); T2, 0.83 lisina + 0.62 treonina; T3, 0.93 lisina + 0.52 treonina; T4, 0.93 lisina + 0.62 treonina). Se utilizaron 36 cerdos (19 hembras y 17 machos castrados) híbridos (LandracexYorkshirexPietrain) con peso promedio inicial de 27,65 ± 5,65 Kg durante cuatro semanas, distribuidos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial con nueve repeticiones por tratamiento. Las dietas fueron formuladas con el comando *Solver* de Excel (Microsof Excel, 2007) para cubrir o exceder los requerimientos sugeridos por el NRC (1998) excepto para PC ya que se consideró el concepto de dietas bajas en proteína (Cuadro 1).

Cuadro 1. Dietas experimentales para cerdos en crecimiento (experimento 1)

Tratamiento	T1	T2	T3	T4	
Ingrediente, %					
Sorgo	77.01	77.17	77.25	77.40	-
Pasta de soya	17.38	17.16	16.95	16.73	-
Aceite de soya	2.04	1.99	2.00	1.95	-
Ortofosfato	1.48	1.48	1.48	1.49	-
Carbonato de calcio	0.89	0.88	0.88	0.88	-
L- Lisina ^D	0.53	0.54	0.74	0.75	-
L-Treonina	0.08	0.18	0.08	0.19	-
L-Triptófano	0.001	0.01	0.01	0.01	-
DL-Metionina	0.05	0.05	0.05	0.05	-

Sal común	0.25	0.25	0.25	0.25	-
Premezcla vitamínica ^A	0.12	0.12	0.12	0.12	-
Premezcla mineral ^B	0.12	0.12	0.12	0.12	-
Total	100.00	100.0000	100.0000	100.0000	-
Análisis calculado					NRC ^C
EM, Mcal Kg ⁻¹	3.27	3.270	3.270	3.270	3.265
PC, %	15.10	15.100	15.100	15.100	18.000
Fósforo total, %	0.60	0.600	0.600	0.600	0.500
Calcio, %	0.700	0.700	0.700	0.700	0.600
Lisina, %	0.830	0.830	0.930	0.930	0.830
Treonina, %	0.520	0.620	0.520	0.620	0.520
Metionina, %	0.246	0.247	0.248	0.249	0.220
Triptófano, %	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Arginina, %	0.770	0.763	0.759	0.752	0.330
Histidina, %	0.327	0.325	0.323	0.321	0.260
Isoleucina, %	0.609	0.605	0.603	0.599	0.450
Leucina, %	1.431	1.427	1.423	1.418	0.830
Fenilalanina, %	0.682	0.678	0.675	0.671	0.490
Valina, %	0.670	0.667	0.665	0.662	0.560
Análisis determinado, %					
PC	15.640	15.69	15.59	15.54	
Calcio	0.980	0.99	0.98	0.98	
Fósforo total	0.650	0.67	0.68	0.66	

^A Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg. ^B Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg. ^C Recomendaciones de nutrientes sugeridas para la etapa de crecimiento (20-50 Kg) por el NRC (1998). ^D Biolys aporta 50% de lisina.

Experimento 2

Cinco niveles de treonina digestible (0.52, 0.62, 0.72, 0.82 y 0.92%) se evaluaron durante seis semanas en cerdos en etapa de crecimiento. Se utilizaron 35 cerdos (19 hembras y 16 machos castrados) híbridos (LandracexYorkshirexPietrain) con peso promedio inicial de 16.71 ± 7.85 kg. Los animales fueron distribuidos en un diseño experimental completamente al azar con siete repeticiones por tratamiento. El periodo de evaluación fue de seis semanas. Las dietas fueron formuladas con el comando

Solver de Excel (Microsof Excel, 2007) para cubrir o exceder los requerimientos sugeridos por el NRC (1998) excepto para PC ya que se formularon con el concepto de dietas bajas en proteína (Cuadro 2).

Análisis químicos

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

Cuadro 2. Dietas experimentales para cerdos en crecimiento (experimento 2)

TRATAMIENTO	T1	T2	T3	T4	T5	
Ingrediente, %						
Sorgo	76.9969	77.1503	77.3037	77.4571	77.6105	-
Pasta de soya	17.5711	17.3497	17.1284	16.9070	16.6857	-
Aceite de soya	2.0814	2.0317	1.9819	1.9322	1.8824	-
Ortofosfato	1.4807	1.4860	1.4910	1.4963	1.5016	-
Carbonato de calcio	0.8892	0.8875	0.8858	0.8840	0.8823	-
L-Lisina ^D	0.3371	0.3435	0.3500	0.3564	0.3628	-
L-Treonina	0.0839	0.1888	0.2937	0.3986	0.5035	-
DL-Metionina	0.0516	0.0535	0.0555	0.0574	0.0593	-
L-Triptófano	0.0081	0.0090	0.0100	0.0110	0.0119	-
Sal común	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	-
Premezcla vitamínica ^A	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	-
Premezcla mineral ^B	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	-
Total	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000	-
Análisis calculado						NRC ^C
EM, Mcal Kg ⁻¹	3.270	3.270	3.270	3.270	3.270	3.265
PC, %	15.100	15.100	15.100	15.100	15.100	18.000
Fosforo total, %	0.600	0.600	0.600	0.600	0.600	0.500
Calcio, %	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.600

Lisina, %	0.830	0.830	0.830	0.830	0.830	0.830
Treonina, %	0.520	0.620	0.720	0.820	0.920	0.520
Metionina, %	0.246	0.247	0.248	0.249	0.250	0.220
Triptófano, %	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Arginina, %	0.772	0.766	0.759	0.753	0.747	0.330
Histidina, %	0.329	0.327	0.325	0.323	0.321	0.260
Isoleucina, %	0.610	0.606	0.603	0.599	0.596	0.450
Leucina, %	1.433	1.428	1.423	1.419	1.414	0.830
Fenilalanina, %	0.686	0.682	0.678	0.675	0.671	0.490
Valina, %	0.670	0.666	0.663	0.660	0.656	0.560
Análisis						
determinado (%)						
PC	14,46	13,52	14,21	13,91	13,49	
Calcio total	1,06	1,10	1,12	1,13	1,17	
Fosforo total	0,59	0,63	0,63	0,67	0,69	

^A Proporcionó por kg de alimento: vitamina A, 15,000 UI; vitamina D3, 2,500 UI; vitamina E, 37.5 UI; vitamina K, 2.5 mg; tiamina, 2.25 mg; riboflavina, 6.25 mg; niacina, 50 mg; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg. ^B Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg. ^C Recomendaciones de nutrientes sugeridas para la etapa de crecimiento (20-50 Kg) por el NRC (1998). ^D Biolys aporta 50% de lisina.

Variables de respuesta

Las variables de respuesta estudiadas en ambos experimentos fueron: comportamiento productivo (consumo de alimento, CAL; ganancia diaria de peso, GDP; conversión alimenticia, CA; ganancia de carne magra, GCM; y peso vivo final de los cerdos, PVF) y características de la canal (grasa dorsal, GD inicial [GDI] y final [GDF]; porcentaje de carne magra, %CM inicial [%CMI] y final [%CMF]; área del músculo *Longissimus dorsi*, AML inicial [AMLI] y final [AMLF]) y concentración de urea en plasma, CUP). Las variables GDP y CAL se midieron cada 7 d y con esta información se calculó la CA. La GD y AML se midieron utilizando un ultrasonido de tiempo real (SonoVet 600, Medison, Inc., Cypress, California, USA) al inicio y al final de cada etapa. Con estos datos y con los PVI y PVF se calculó la GCM y el PCM utilizando la ecuación del National Pork Producers Council (1991).

Al final de cada experimento se obtuvieron muestras de sangre de la vena cava anterior con tubos *Vacutainer*® con heparina, que se colocaron en hielo hasta centrifugarse (centrifuga SIGMA 2-16k, Alemania) a 2500 rpm (1286 g) por 20 min, para separar el plasma del paquete celular. El plasma se transfirió a tubos de polipropileno y se almacenó en un congelador a -20 °C (EUR251P7W Tappan, Electrolux Home Products North America, USA) hasta la determinación de la urea en plasma por espectrofotometría (espectrofotómetro Cary 1E UV-vis, Varian, Australia; Chaney y Marbach, 1962).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de ambos experimentos se analizaron por sexo (machos y hembras) y de manera global mediante el procedimiento GLM y la comparación de medias con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) usando SAS (2010). El efecto de la concentración de treonina en el experimento 2 se evaluó con contrastes ortogonales para detectar tendencias lineales, cuadráticas o cúbicas (SAS, 2010), así como curvas de respuesta con modelos de regresión tomando en cuenta el coeficiente de determinación (R^2), criterio que se utilizó para determinar el mejor modelo para ser utilizado en los modelos econométricos, con los cuales se calcularon los niveles óptimos biológicos (NOB) de lisina que minimiza o maximiza las variables de respuesta. El NOB se calculó con el comando *Solver* de Excel (Microsoft Excel, 2007) para las variables que presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$) bajo el siguiente modelo econométrico: Función Objetivo: Minimizar o Maximizar $Y = f(\text{treonina})$ bajo las siguientes restricciones: $AX \geq B$; $AX_{\text{treonina-treonina}}=0$; $X \geq 0$, condición de no negatividad. En donde: Y es el parámetro, $f(\text{treonina})$ es la curva respuesta del modelo de regresión, en función del nivel de lisina, A es el aporte

nutrimental de lisina de los ingredientes, **X** representa los ingredientes, y **B** representa los requerimientos nutrimentales sugeridos por el NRC (1998) para cerdos en crecimiento. En todos los análisis estadísticos se utilizó el peso inicial (PI) y el sexo del animal como covariables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En virtud de que no se observó efecto del sexo de los cerdos en ambos experimentos ($p>0.05$) para las variables estudiadas, se procedió a realizar el análisis estadístico de manera global.

Experimento 1

El nivel de lisina y treonina digestible no afectó ($P>0,05$) las variables productivas y las características de la canal (cuadro 3 y 4), esto debido posiblemente al incremento en la concentración de lisina sin respetar la concentración de treonina, ya que no se consideró la proporción que guardan estos dos aminoácidos. Le Bellego *et al.* (2003), concluyeron que la relación óptima lis:tre varía del 67 al 73% (69% como media), considerando a la lisina como el 100%. De igual manera *The Brazilian Tables for Poultry and Swine* (Rostango *et al.*, 2011) reportan una relación lis:tre del 66% y el NRC (2012) de 60%; mientras que la proporción lis:tre fue diferente en cada uno de los tratamientos (T1:0.62%, T2:0.74%, T3:0.55% y T4: 0.66%).

Cuadro 3. Comportamiento productivo de cerdos hembras y machos castrados en crecimiento alimentados con dos niveles de lisina y treonina digestible en la dieta

TRATAMIENTO	COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO							
	LIS	TRE	CAL (kg/d)	GDP (kgd ⁻¹)	CA	PVI (Kg)	PVF (Kg)	GCM (kgD ⁻¹)
1	0.83	0.52	1.90	0.78	2.43	28.33	56.49	0.29
2	0.83	0.62	1.85	0.77	2.38	26.87	56.41	0.29
3	0.93	0.52	1.85	0.77	2.41	27.37	56.17	0.29
4	0.93	0.62	1.88	0.78	2.40	28.03	56.55	0.30
EEM			0.06	0.01	0.06	1.08	0.71	0.008
Fuente de variación	VALOR DE P							
Lisina			0.84	0.90	0.99	-	0.90	0.52
Treonina			0.83	0.83	0.64	-	0.83	0.54
Lis* Treo			0.95	0.98	0.95	-	0.98	0.75

^{ab}Medias con distinta letra difieren significativamente ($p<0,05$). CAL= Consumo de alimento, GDP= Ganancia de peso, CA= Conversión alimenticia, PVI= Peso inicial, PVF= Peso final, GCM= Ganancia de carne magra.

Cuadro 4. Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos hembras y machos castrados en crecimiento alimentados con dos niveles de lisina y treonina digestible en la dieta

TRATAMIENTO	CARACTERISTICAS DE LA CANAL								CUP (mgdL ⁻¹)
	LIS	TRE	GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	%CMI	%CMF	
1	0.83	0.52	3.07	5.58	12.80	20.80	49.79	43.60	18.12
2	0.83	0.62	3.04	5.54	12.60	20.63	49.49	43.55	24.97
3	0.93	0.52	3.01	4.03	12.37	20.60	49.20	43.59	21.46
4	0.93	0.62	3.08	5.39	12.50	21.68	49.39	44.08	22.13
EEM			0.30	0.249	0.42	0.701	0.49	0.42	1.65
Fuente de variación	VALOR DE P								
Lisina			-	0.17	-	0.54	-	0.54	0.88
Treonina			-	0.52	-	0.52	-	0.61	0.03
Lis*Treo			-	0.40	-	0.67	-	0.79	0.05
0.83Lis+0.52Treo vs 0.83Lis+0.62Treo			-	-	-	-	-	-	0.03

^{ab}Medias con distinta letra difieren significativamente ($p < 0.05$). 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 del nitrógeno uréico en plasma, EEM= Error estándar de la media.

Experimento 2

El consumo de alimento (CAL) y la ganancia diaria de peso (GDP) fueron las variables en las cuales se observó efecto ($P < 0.05$) de la concentración de treonina en la dieta (cuadro 5); por lo cual, se determinó el NOB. Para CAL la ecuación que más se ajustó fue: $CAL = -0.82(tre) + 0.36(tre^2) - 0.04(tre^3) + 0.05(PVI) + 0.64$ ($R^2 = 0.54$), obteniendo un NOB 0.90% de treonina digestible. Mientras que para la ganancia diaria de peso fue: $GDP = -0.54(tre) + 0.21(tre^2) - 0.024(tre^3) + 0.02(PVI) + 0.48$ ($R^2 = 0.42$), obteniendo un NOB 0.90% de treonina digestible. Entre tratamientos no hubo diferencias ($P > 0.05$) para las características de la canal y concentración de urea en plasma (cuadro 6). Esto coincide con lo reportado por López *et al.* (2010) quienes observaron que el nivel de treonina digestible no afectó las variables productivas ni de la canal al utilizar valores inferiores al 0.62% de treonina digestible. Por su parte 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; mientras que el consumo de alimento se incrementó cuadráticamente por arriba del 0.66% en cerdos de 30 a 60 kg de PV.

En cuanto a la ganancia de carne magra y deposición de grasa dorsal Ertle *et al.* (2004) y Donzele (2005) no observaron ningún efecto de la adición de treonina en la dieta para cerdos en crecimiento.

Sin embargo los resultados del presente trabajo no coinciden con la recomendación realizada por *Brazilian Tables for Poultry and Swine* (Rostango *et al.*, 2011) y el NRC (2012) en donde se recomienda un valor de 0.59% y 0.60% de treonina digestible, respectivamente.

Cuadro 5. Comportamiento productivo de cerdos en crecimiento alimentados con cinco niveles de treonina

Treonina (%)	Comportamiento productivo \forall					
	GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	PVI (kg)	PVF (kg)	GCM (kg)
0.52	0.57 ^{ab}	1.24 ^a	2.22	21.14	37.55	0.24
0.62	0.54 ^b	1.30 ^a	2.40	22.17	36.89	0.22
0.72	0.54 ^b	1.31 ^a	2.38	20.84	36.95	0.22
0.82	0.70 ^a	1.66 ^b	2.37	22.01	41.37	0.28
0.92	0.60 ^{ab}	1.47 ^{ab}	2.47	21.77	38.55	0.25
EEM	0.04	0.08	0.10	1.37	1.13	0.01
Efecto (R ²)						
Lineal	0.33	0.48	0.06	-	-	0.33
Cuadrático	0.33	0.48	0.07	-	-	0.34
Cúbico	0.42	0.54	0.09	-	-	0.38

^{abc} Medias con distinta letra difieren significativamente (P<0,05). \forall En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM). PC = Proteína cruda, GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, PVI = Peso inicial, PVF = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 6. Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento, alimentados con cinco niveles de treonina

Treonina (%)	Características de la canal						CUP mg dL ⁻¹
	GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI	PCMF	
0.52	2.02	5.93	8.25	15.18	49.10	46.23	24.05
0.62	2.10	5.46	8.57	15.06	49.63	46.54	25.47
0.72	2.18	5.55	7.97	14.01	48.72	45.68	27.89
0.82	2.11	6.35	8.04	15.30	48.77	44.74	21.56
0.92	2.13	6.11	7.90	15.40	48.43	45.78	20.75
EEM	0.13	0.35	0.35	0.78	0.53	0.60	1.75
Efecto (R ²)							
Lineal	-	0.33	-	0.29	-	0.41	0.08
Cuadrático	-	0.34	-	0.30	-	0.42	0.19
Cúbico	-	0.38	-	0.30	-	0.39	0.20

^{abc} Medias con distinta letra difieren significativamente (P<0.05). y En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM). PC = Proteína cruda, GDI= Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLI = Área del Músculo *longissimus* inicial, AMLF = Área del músculo *longissimus* final, PCMI = % Carne magra inicial, PCMF = % Carne magra final.

Urea en plasma

La concentración de urea en plasma (CUP) en los experimentos 1 y 2 (Cuadros 4 y 6) no se vio afectada ($p>0.05$) por la cantidad de lisina y treonina en la dieta. Esto debido posiblemente a que la concentración de ambos AA en la dieta no fue suficientemente grande como para provocar un desequilibrio entre AA, de tal manera que se viera reflejado en un cambio en esta variable; además, todas las dietas experimentales se formularon bajo el concepto de dietas bajas en proteína (Trujillo-Coutiño *et al.*, 2007; Martínez-Aispuro *et al.*, 2009).

CONCLUSIONES

El aumento de lisina digestible no mejora las variables productivas y de la canal bajo las condiciones del presente experimento. El NOB de treonina digestible para cerdos en crecimiento para consumo de alimento y ganancia diaria de peso es de 0.90%.

LITERATURA CITADA

- Association of Analytical Chemists (AOAC). 1990. Official Methods of Analysis. 15th Edn. Arlington, VA, USA. pp. 128.
- Chaney, A. L., and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. Clin. Chem. 8: 130-132.
- 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.
- 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 2013.
- Ferreira, R. A., O. R. F. de Miranda, D. J. de Lopes, A.C. de Viera, S. F. C. de Oliveira, F. D. de Oliveira, e S. E. Paes. 2005. Reducto do nível de proteína bruta e suplementação de aminoácidos em rações para suínos machos castrados mantidos em ambiente termoneutro dos 30 aos 60 kg. Rev. Bras. Zootecnia. 34: 548:556.
- Fontes, O. D. de., J. L. Donzele, O. R. F. de Miranda, C. G. Silva, e P. Aragão. 2000. Níveis de lisina para leitoas selecionadas geneticamente para deposição de carne magra, dos 30 aos 60 kg, mantendo constante a relação entre lisina e metionina+cistina, treonina, triptofano, isoleucina e valina. R. Bras. Zootecn. 29: 776-783.

- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). 4ª edición. México D. F. Pp. 217
- 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.
- Karl, R. F., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. Funk, y J. H. Corad. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. 2a Ed. Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Florida. Gainesville. Florida, USA.
- Kim, S.W., D.H. Baker, and R.A. Easter. 2001. Dynamic ideal protein and limiting amino acids for lactating sows: the impact of amino acid mobilization. *J. Anim. Sci.* 79: 2356-2366.
- 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 2013. www.lysine.com.
- López, M., J. L. Figueroa, M. J. González, L. A. Miranda, V. Zamora, y J. L. Cordero. 2010. Niveles de lisina y treonina digestible en dietas sorgo- pasta de soya para cerdos en crecimiento. *Archivos de Zootecnia* 59: 205-216.
- Loughmiller, J. A., J. L. Nelssen, R. D. Goodband, M. D. Tokach, E. C. Titgemeyer, and I. H. Kim. 1998. Influence of dietary lysine on growth performance and carcass characteristics of late-finishing gilts. *J. Anim. Sci.* 76: 1075-1080.

- Martínez, M., J. L. Figueroa, M. J. González, J. L. Landero, and R. Medina. 2007. Optimal biological level of total lysine for finishing pigs fed sorghum- soybean meal diets. *J. Anim. Vet. Adv.* 6: 1146-1151.
- Martínez-Aispuro, M., J. L. Figueroa-Velasco, J. E. Trujillo-Coutiño, V. Zamora- Zamora, J.L. Cordero- Mora, M. T. Sánchez-Torres, y L. Reyna-Santamaría. 2009. Respuesta productiva y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo–pasta de soya con baja proteína. *Vet. Méx.* 40: 27-38.
- Merino, C. B., R. S. Gómez, e I. J. A. Cuarón. 2005. Requerimientos de lisina digestible de cerdos de 14 a 50 kg de peso corporal sujetos a diferentes condiciones de manejo y alojamiento. *Téc. Pec. Méx.* 43: 139-153.
- Microsof Excel. 2007. Microsoft Corporation. 1985- 2001. USA. Redmond, WA, USA.
- National Pork Producers Council (NPPC). 1991. Procedures to evaluate market hogs. 3rd ed. National Pork Producers Council. Des Moines. IA, USA. Pp. 16.
- National Research Council (NRC). 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th Ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- National Research Council (NRC). 2012. Nutrient Requirements Tables and Feed Ingredient Composition. Nutrient Requirements of Swine. 11th Ed. National Academy Press, Washington, DC. Pp 208-239.
- Paraksa, N., K. Uthai, and C. Suchaet. 1999. Requirement of ileal digestible lysine for european growing and finishing pigs under tropical conditions. *Kasetsart J. Nat. Sci.* 33: 216-223.

- 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. Lysine catabolism in the neonatal piglet during postnatal stages of growth and development. *FASEB. J.* 17: 702 (Abstract).
- 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.
- Rostango, H. S., L. F. T. Albino, J. L. Donzeme, P. C. Gomez, de R. F. Oliveira, D. C. Lopez, A. S. Ferreira, S. R. T. Barreto, and R. F. Euclides. 2011. Brazilian Tables for Poultry and Swine. Composition of feedstuffs and Nutritional Requirements. 3rd edition. Universidade Federal de Viçosa- Departamento de Zootecnia. Editor: Horacio Santiago Rostagno; Translated by Bettina Gertum Becker. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa. Pp. 251.
- Statistical Analysis System (SAS). 2010. The SAS system for Windows V8. SAS 9.3 Institute, Cary, NC, USA.
- Susenbeth, A., T. Dickel, A. Diekenhorst, and D. Hohler. 1999. The effect of energy intake, genotype, and body weight on protein retention in pigs when dietary lysine is the first-limiting factor. *J. Anim. Sci.* 77:2985-2989.

- Trujillo-Coutiño, J. E., J. L. Figueroa-Velasco, M. Martínez- Aispuro, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres, M. Cuca-García, y M. Cervantes-Ramírez. 2007. Concentración de urea en plasma y respuesta productiva de cerdos en iniciación alimentados con dietas sorgo-pasta de soya bajas en proteína. *Agrociencia* 41: 597-607.
- 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 Techn.* 129: 264-278.