

NIVELES ÓPTIMOS BIOLÓGICOS DE LISINA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO-FINALIZACIÓN

Optimum Biological Levels of Total Lysine for Growing- Finishing Pigs

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

¹Programa de Ganadería. Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 56230, México. ²Posgrado en Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. 56230, México. *jlfigueroa@colpos.mx

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar el nivel óptimo de lisina total para las variables productivas, características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento y finalización. Se evaluó el efecto de cuatro niveles de lisina total para cerdos en crecimiento (0,95; 1,05; 1,15 y 1,25%) y cuatro en finalización (0,75; 0,85; 0,95 y 1,05%) manteniendo constante la relación de treonina, metionina y triptófano con respecto a lisina (base ideal). Se utilizaron 24 cerdos híbridos, con peso vivo inicial de $23,3 \pm 3,4$ kg, distribuidos en un diseño completamente al azar con seis repeticiones, un cerdo fue la unidad experimental. Se determinaron los niveles óptimos biológicos (NOB) para las variables en que hubo diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos. En la etapa de crecimiento no hubo diferencias ($P > 0,05$) en las variables productivas y características de la canal. En finalización se detectaron diferencias ($P < 0,05$) únicamente para el comportamiento productivo. El NOB para ganancia diaria de peso, conversión alimenticia y ganancia de carne magra fue 0,88% de lisina total; mientras que para consumo de alimento fue 0,961% de lisina total; respetando la relación establecida de treonina (0,68%), metionina (0,26%) y triptófano (0,18%) con respecto a lisina. El requerimiento de lisina total para cerdos en crecimiento es mayor a 0,75%, debiéndose respetar la relación que existe entre treonina, metionina y triptófano.

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

ABSTRACT

The objective of the present study was to determine the optimum total lysine level on the productive variables, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration in growing-finishing barrows. The effect of four levels of total lysine on growing (0.95, 1.05, 1.15 and 1.25%) and finishing pigs (0.75, 0.85, 0.95 and 1.05%) was evaluated on growth performance, carcass characteristics, and plasma urea nitrogen concentration. Ratios of threonine, methionine and tryptophan to lysine remained constant. 24 crossbred pigs were used, with initial live weight 23.3 ± 3.4 kg, distributed in a completely randomized design with six replications, a pig was the experimental unit. Optimum biological levels (OBL) for the variables that showed statistical differences among treatments were determined. In the growing phase there were not significant differences for both growth performance and carcass characteristics. In the finishing phase there were significant differences for growth performance variables. The OBL for average daily gain, feed: gain ratio and fat free lean gain was 0.88% total lysine; meanwhile the OBL for average daily feed intake was 0.961% total lysine. Maintaining the relationship established threonine (0.68%), methionine (0.26%) and tryptophan (0.18%) with referenced to lysine. The total lysine requirement for growing pigs is greater than 0.75%, whilst respecting the relationship between threonine, methionine and tryptophan.

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

INTRODUCCIÓN

La lisina es el primer aminoácido (AA) limitante en dietas para cerdos (*Sus scrofa domestica*) en engorde en la mayoría de los ingredientes que se utilizan para preparar alimen-

tos balanceados [11, 24]. La recomendación de la concentración de lisina de acuerdo al National Research Council (NRC) [24] pudiera no ser adecuada actualmente, debido al progreso genético en las características productivas alcanzado en los últimos años, ya que la industria porcina no sólo ha avanzado en la obtención de líneas genéticas más precoces con mejores índices de conversión de alimento, sino también, hacia la obtención de cerdos con canales más magras. Así los requerimientos de los cerdos han sido establecidos acorde a su potencial genético con la finalidad de obtener la máxima respuesta productiva [31].

Se ha observado que diferentes cantidades de lisina reducen la concentración de urea en plasma, indicando una mejor utilización de los AA [7]. Esto ocasiona que el incremento en el nivel de lisina mejore el consumo de alimento [5], aumente la ganancia de peso (GP) [10], incremente la retención de proteína corporal [11] y el área del músculo *longissimus* [13]; sin embargo, los resultados no han sido consistentes y esto depende de la variable de estudio con la que se determine [17,19]. Los requerimientos de lisina para los cerdos durante el engorde dependerán del criterio de respuesta esperada, ya que el nivel de lisina dependerá de la variable productiva (GP, conversión alimenticia (CA), características de la canal (CC) y (RPM) retención de proteína en el músculo) que se quiera optimizar [24].

En investigaciones que se han realizado para establecer el mejor nivel de lisina en la dieta [5, 8, 10, 11, 13, 17], la relación de los demás AA no se respetó con respecto al nivel de lisina en las dietas experimentales, sin considerar que la relación entre AA se establece a partir del requerimiento de lisina [24]. Knowles y col. [16] consideran que los AA azufrados son limitantes, por tanto es importante mantener una óptima proporción entre los AA esenciales y lisina. Por lo anterior, es importante evaluar el comportamiento productivo de los cerdos conservando la relación establecida entre los AA, ya que cuando la concentración de alguno de éstos (lisina) se incrementa en la dieta, únicamente con la adición de todos los AA simultáneamente se podrá mejorar la retención de nitrógeno por parte del animal [3].

El objetivo de esta investigación fue determinar el nivel óptimo de lisina total (LT) para variables productivas, características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos en engorde (crecimiento-finalización) alimentados con dietas con base en sorgo (*Sorghum bicolor* L.) -pasta de soya (*Glycine max*), manteniendo constante la relación de treonina, triptófano y metionina con respecto a (LT).

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se realizó en la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en Texcoco, estado de México, a una altitud de 2250 m. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de 15,2°C y precipitación media anual de 644,8 mm [12].

Tratamientos. Se utilizaron cuatro niveles de lisina total (LT) tanto en la etapa de crecimiento (0,95; 1,05; 1,15 y 1,25%) como en la de finalización (0,75; 0,85; 0,95 y 1,05%) con la adición de AA sintéticos, respetando la relación de lisina con treonina (crecimiento: 0,6; finalización: 0,51), triptófano (crecimiento: 0,17; finalización: 0,14) y metionina (crecimiento: 0,26; finalización: 0,26) [24]. Las dietas fueron formuladas con el comando *Solver* de Excel [22] para cubrir o exceder los requerimientos y relaciones entre (AA) sugeridos por el NRC [24]. Las dietas fueron formuladas con base en sorgo-pasta de soya y adicionadas con AA sintéticos (L-Lisina·HCl, DL-Metionina, L-Triptófano y L-Treonina); el nivel de energía metabolizable (3,265 Mcal kg⁻¹) se mantuvo constante en todos los tratamientos y etapas (TABLAS I y II). Para la determinación del perfil de AA totales en las dietas se utilizó un cromatógrafo líquido de alta respuesta (HPLC) Biochrom 20® (Pharmacia Biotech, Cambridge, Reino Unido) con una columna de intercambio catiónico de alta resolución de 200 mm x 4,6 mm (Pharmacia Biotech). La proteína cruda fue determinada por el método de Macro Kjeldahl [2]. La concentración de calcio fue determinada por espectrofotómetro de absorción atómica [15; Perkin Elmer 4000, serie Lambda 2, Perkin Elmer Inc., Norwalk, CT, EUA].

Animales y diseño estadístico. Se utilizaron 24 cerdos híbridos (Landrace×Yorkshire×Duroc) en las etapas de crecimiento y finalización, con peso vivo inicial (PVI) de 23,3 ± 3,4 kg de 49 días (d) de edad, distribuidos en un diseño completamente al azar en cuatro tratamientos, con seis repeticiones y un animal por unidad experimental. Los cerdos se alojaron en corrales individuales equipados con comedero tipo tolva y bebedero de chupón. El periodo de evaluación fue de 29 d para crecimiento y 34 d para finalización. El alimento y el agua se ofrecieron a libre acceso.

Variables de respuesta. Las variables de respuesta fueron: comportamiento productivo (consumo de alimento [CAL]; ganancia diaria de peso [GDP]; conversión alimenticia [CA]; ganancia de carne magra [GCM]; y peso vivo final de los cerdos [PVF]), características de la canal (grasa dorsal [GD] inicial [GDI] y final [GDF]; porcentaje de carne magra [PCM] inicial [PCMI] y final [PCMF]; área del músculo *longissimus* [AML] inicial [AMLI] y final [AMLF]) y concentración de urea en plasma [CUP]. 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 marca MEDISON (Medison, Inc., Cypress, California, EUA) al inicio y al final de cada etapa. Con estos datos y con los PVI y PVF se estimó la GCM y el PCM utilizando la ecuación del National Pork Producers Council (NPPC) [23].

Al final de cada etapa se obtuvieron muestras de sangre de la vena cava anterior con tubos *Vacutainer*® con heparina, que se colocaron en hielo hasta centrifugarse (centrifuga SIGMA 2-16k, Alemania) a 2500g por 20 min, para separar el plasma del paquete celular. El plasma se transfirió a tubos de polipropileno y se almacenó en un congelador (SANYO MDF-

TABLA I
COMPOSICIÓN DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES PARA CERDOS EN CRECIMIENTO

Ingrediente (%)	Tratamiento			
	T1	T2	T3	T4
Sorgo	73,276	74,349	74,093	73,829
Pasta de Soya	21,657	20,858	20,702	20,475
Aceite de soya	1,533	1,408	1,569	1,760
L-Lisina	0,226	0,396	0,444	0,452
DL-Metionina	0,007	0,073	0,128	0,193
L-Triptófano	0,000	0,000	0,078	0,222
L-Treonina	0,015	0,087	0,151	0,228
Premezcla de vitaminas ^A	0,225	0,225	0,225	0,225
Premezcla de minerales ^B	0,225	0,225	0,225	0,225
Sal común	0,300	0,300	0,300	0,300
CaCO ₃	0,659	0,744	0,739	0,733
Fosfato dicálcico	1,877	1,335	1,345	1,358
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
Análisis calculado (%)				
EM (Mcal kg ⁻¹)	3,265	3,265	3,265	3,265
Proteína Cruda	16,50	16,50	16,60	16,70
Calcio	0,70	0,70	0,70	0,70
Fosforo	0,60	0,60	0,60	0,60
Lisina	0,95	1,06	1,15	1,25
Treonina	0,61	0,67	0,73	0,80
Triptófano	0,19	0,20	0,21	0,23
Metionina	0,25	0,27	0,30	0,35
Arginina	0,26	0,32	0,38	0,44
Histidina	0,98	0,96	0,95	0,94
Isoleucina	0,42	0,42	0,41	0,41
Leucina	0,70	0,69	0,69	0,68
Valina	1,63	1,61	1,60	1,59
Metionina +Cistina	0,54	0,60	0,65	0,71
Análisis determinado (%)				
Proteína Cruda	16,67	17,32	17,29	17,30
Calcio	0,72	0,74	0,73	0,75
Lisina	0,94	1,01	1,18	1,20
Treonina	0,66	0,79	0,79	0,91
Metionina +Cistina	0,57	0,67	0,67	0,78
Metionina	0,29	0,38	0,39	0,51
Arginina	1,02	1,05	1,01	0,99
Histidina	0,43	0,43	0,42	0,41
Isoleucina	0,71	0,72	0,69	0,67
Leucina	1,69	1,66	1,68	1,62
Valina	0,82	0,82	0,78	0,77

^A Proporcionó por kg de alimento: vitamina A 15000 UI; vitamina D3 2500 UI; vitamina E 37,5 UI; vitamina K 2,5 mg; tiamina 2,25 mg; riboflavina 6,25 mg; niacina 50 mg; piridoxina 2,5 mg; cianocobalamina 0,0375 mg; biotina 0,13 mg; cloruro de colina 563 mg; ácido pantoténico 20 mg; ácido fólico 1,25 mg. ^B Aportó por kg de alimento: Fe 150 mg; Zn 150 mg; Mn 150 mg; Cu 10 mg; Se 0,15 mg; I 0,9 mg; Cr 0,2 mg.

TABLA II
COMPOSICIÓN DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES PARA CERDOS EN FINALIZACIÓN

Ingrediente (%)	Tratamiento			
	T1	T2	T3	T4
Sorgo	83,767	83,544	83,570	83,596
Pasta de Soya	10,872	10,737	10,216	9,673
Aceite de soya	1,444	1,584	1,770	1,965
L-Lisina	0,342	0,452	0,461	0,470
DL-Metionina	0,045	0,066	0,133	0,201
L-Triptófano	0,000	0,014	0,168	0,322
L-Treonina	0,067	0,139	0,211	0,296
Premezcla de vitaminas ^A	0,300	0,300	0,300	0,300
Premezcla de minerales ^B	0,300	0,300	0,300	0,300
Sal común	0,300	0,300	0,300	0,300
CaCO ₃	0,995	0,989	0,975	0,960
Fosfato dicálcico	1,566	1,575	1,595	1,615
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00
Análisis calculado (%)				
EM (Mcal kg ⁻¹)	3,265	3,265	3,265	3,265
Proteína Cruda	13,00	13,10	13,10	13,10
Calcio	0,70	0,70	0,70	0,70
Fosforo	0,60	0,60	0,60	0,60
Lisina	0,75	0,85	0,95	1,05
Treonina	0,51	0,58	0,64	0,71
Triptófano	0,15	0,15	0,17	0,19
Metionina	0,25	0,27	0,34	0,40
Arginina	0,67	0,66	0,65	0,63
Histidina	0,32	0,32	0,31	0,31
Isoleucina	0,53	0,52	0,51	0,50
Leucina	1,39	1,38	1,36	1,34
Valina	0,61	0,61	0,59	0,58
Metionina +Cistina	0,47	0,49	0,55	0,61
Análisis determinado (%)				
Proteína Cruda	12,43	12,23	12,19	12,17
Calcio	0,75	0,74	0,75	0,76
Lisina	0,78	0,80	0,93	1,00
Treonina	0,53	0,56	0,61	0,69
Metionina +Cistina	0,50	0,48	0,53	0,58
Metionina	0,26	0,26	0,31	0,37
Arginina	0,68	0,64	0,62	0,61
Histidina	0,32	0,30	0,30	0,29
Isoleucina	0,51	0,49	0,47	0,46
Leucina	1,35	1,35	1,32	1,27
Valina	0,61	0,58	0,57	0,54

^A Proporcionó por kg de alimento: vitamina A 15000 UI; vitamina D₃ 2500 UI; vitamina E 37,5 UI; vitamina K 2,5 mg; tiamina 2,25 mg; riboflavina 6,25 mg; niacina 50 mg; piridoxina 2,5 mg; cianocobalamina 0,0375 mg; biotina 0,13 mg; cloruro de colina 563 mg; ácido pantoténico 20 mg; ácido fólico 1,25 mg. ^B Aportó por kg de alimento: Fe 150 mg; Zn 150 mg; Mn 150 mg; Cu 10 mg; Se 0,15 mg; I 0,9 mg; Cr 0,2 mg.

436, EUA) a -20°C hasta la determinación de la urea en plasma [9].

Análisis estadístico. Las observaciones se analizaron mediante el procedimiento GLM de SAS [29] utilizando el PVI como covariable. Se estimaron coeficientes en modelos de regresión que incluyeron efectos lineales, cuadráticos y/o cúbicos; así como curvas de respuesta con modelos de regresión tomando en cuenta el coeficiente de determinación (R^2), que se utilizó como criterio para determinar el mejor modelo para ser utilizado en los modelos econométricos, con los cuales se calcularon los niveles óptimos biológicos (NOB) de lisina que minimizaran o maximizaran las variables de respuesta. Se realizó la comparación de medias utilizando la prueba de Tukey [29]. El NOB se calculó con el comando *Solver* de Excel [22] para las variables que presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$).

El modelo econométrico para calcular el NOB fue el siguiente: Función Objetivo: Minimizar o Maximizar $Y = f(\text{lisina})$ bajo las siguientes restricciones: $AX \geq B$; $AX_{\text{lisina-lisina}} = 0$; $X \geq 0$, condición de no negatividad. En donde: Y es el parámetro, $f(\text{lisina})$ es la curva respuesta del modelo de regresión, en función del nivel de lisina, A es el aporte nutrimental de lisina de los ingredientes, X representa los ingredientes, y B representa los requerimientos nutrimentales sugeridos por el NRC [24] para cerdos en crecimiento y finalización.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al realizar el análisis de concentración de AA en las dietas se observó en ambas etapas que, los valores formulados con el comando *Solver* de Excel [22] para cubrir o exceder los requerimientos sugeridos por el NRC [24] no coinciden del todo con los determinados en laboratorio. Para el cálculo de los NOB de las variables y la discusión de los resultados se consideraron los niveles de lisina determinados en laboratorio y no los calculados en el programa *Solver* [22], ya que se con-

sideró que era más prudente utilizar los valores cotejados y que se apegaban más a la realidad. Los valores encontrados para LT fueron: para la etapa de crecimiento 0,94; 1,01; 1,18 y 1,20%, para los tratamientos del 1 al 4, respectivamente, es importante resaltar que los valores determinados en laboratorio de treonina y metionina excedieron ligeramente la relación con respecto a lisina, por lo cual no se respetó la relación de dichos AA (TABLA I); y para finalización 0,78; 0,80; 0,93 y 1,00%, para los tratamientos del 1 al 4, respectivamente (TABLA II), durante esta etapa en los valores determinados en laboratorio, la relación de metionina y treonina con respecto a lisina se mantuvo constante en cada uno de los tratamientos.

Etapa de crecimiento

No hubo diferencias ($P > 0,05$) entre tratamientos para las variables productivas y las características de la canal (TABLAS III y IV). En el trabajo realizado por López y col. [17] se observó que el nivel de LT afectó negativamente el CAL, GDP y CA, cuando la concentración de lisina fue menor (0,76 y 0,85%) que 0,95%, nivel recomendado por el NRC [24], pero no encontraron diferencias entre estas variables cuando se utilizaron mayores niveles de lisina (1,04 y 1,13%), por lo cual se puede inferir que el valor más apropiado para esta etapa es cercano al 0,95%. Merino y col. [21] concluyeron que, el mejor nivel de lisina para las variables productivas (CAL, GDP y CA) para cerdos en crecimiento (35 - 50 kg) es igual o menor que 1,01% de LT, manteniendo la relación entre AA con respecto a lisina. De igual forma, en los valores indicados en *Brazilian Tables for Poultry and Swine* [4], el nivel de LT recomendado en la dieta es de 1,053%. Esto concuerda con los resultados del presente estudio, donde se obtuvo una respuesta cuadrática para las variables productivas estudiadas, observándose que el mejor valor para estas variables fue 1,01% de LT manteniendo fija la relación de AA con respecto a lisina; sin embargo, el coeficiente de determinación (R^2) es muy bajo como para concluir que este valor es más aproximado al requerimiento de lisina. Para GCM tampoco hubo dife-

TABLA III
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CERDOS EN CRECIMIENTO, ALIMENTADOS CON CUATRO NIVELES DE LISINA

Lisina (%)	Comportamiento productivo*					
	GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	PI (kg)	PF (kg)	GCM (kg)
0,94	0,862 ± 0,041	2,256 ± 0,111	2,636 ± 0,084	35,600 ± 1,679	59,501 ± 1,181	0,322 ± 0,019
1,01	0,841 ± 0,041	2,205 ± 0,111	2,625 ± 0,083	33,900 ± 1,678	58,905 ± 1,173	0,326 ± 0,019
1,18	0,740 ± 0,040	2,058 ± 0,111	2,771 ± 0,084	35,633 ± 1,678	55,973 ± 1,872	0,261 ± 0,019
1,20	0,800 ± 0,041	2,160 ± 0,113	2,720 ± 0,085	32,833 ± 1,938	57,703 ± 1,195	0,292 ± 0,019
Efecto (R^2)						
Lineal	0,131	0,061	0,375	-	-	0,093
Cuadrático	0,268	0,110	0,422	-	-	0,317
Cúbico	0,268	0,110	0,422	-	-	0,317

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

TABLA IV
CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y CONCENTRACIÓN DE UREA EN PLASMA DE CERDOS EN CRECIMIENTO,
ALIMENTADOS CON CUATRO NIVELES DE LISINA

Lisina (%)	Características de la canal*						CUP mg dL ⁻¹
	GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI	PCMF	
0,94	3,55 ± 0,27	6,92 ± 0,41	15,73 ± 0,87	25,65 ± 1,28	45,29 ± 0,67	42,01 ± 0,67	10,52 ± 3,36
1,01	3,30 ± 0,26	6,87 ± 0,41	14,96 ± 0,86	25,95 ± 1,28	45,06 ± 0,68	42,39 ± 0,68	13,16 ± 3,36
1,18	3,38 ± 0,27	7,42 ± 0,42	16,34 ± 0,87	24,31 ± 1,29	46,03 ± 0,67	41,91 ± 0,67	15,21 ± 3,38
1,20	3,75 ± 0,27	6,94 ± 0,42	16,40 ± 0,88	25,03 ± 1,30	45,85 ± 0,68	42,09 ± 0,68	8,64 ± 3,55
Efecto (R ²)							
Lineal	-	0,097	-	0,012	-	0,194	0,058
Cuadrático	-	0,142	-	0,053	-	0,203	0,057
Cúbico	-	0,142	-	0,053	-	0,203	0,057

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

rencias significativas (P>0,05) entre tratamientos, reflejo de la similitud en los parámetros productivos y características de la canal entre tratamientos.

Probablemente, los niveles utilizados en el presente experimento no fueron los adecuados para observar efectos del nivel de lisina sobre las variables productivas; ya que el nuevo NRC [25] indica un requerimiento de 1,12% de LT para cerdos en esta etapa, por lo cual las concentraciones de lisina en los tratamientos 3 (1,18%) y 4 (1,2%) podrían representar un exceso de este AA en la dieta. De igual manera pudo existir un desbalance entre AA debido a que la relación de treonina y metionina con respecto a lisina se excedió ligeramente.

En cuanto a las características de la canal, trabajos previos [14, 17] no encontraron efecto (P>0,05) al aumentar o reducir el nivel de lisina con respecto al recomendado por NRC [24] para la etapa de crecimiento, coincidiendo con lo obtenido en este estudio. Esto probablemente se debe a que los niveles utilizados no fueron lo suficientemente extremos como para alterar la composición corporal del animal, ya que Paraksa y col. [27] observaron una reducción de la grasa dorsal y aumento del AML con un nivel de 1,25% de LT.

Otra posible explicación a la similitud entre tratamientos, tanto en los parámetros productivos y composición de la canal se debe a un exceso de proteína en la dieta, ya que en el nuevo NRC [25] únicamente considera la concentración de AA y no el porcentaje de proteína cruda PC, con el propósito de no exceder la cantidad de PC en la dieta. Ya que si se tiene un exceso de AA en la dieta y además incrementamos el nivel de lisina únicamente se agudizaría más este desbalance, lo cual no permite establecer el requerimiento de lisina, dado que se han realizado experimentos en donde se redujo el nivel de proteína hasta en dos unidades porcentuales en la dieta cubriendo los requerimientos de lisina metionina, treonina y triptófano con respecto a las recomendaciones del NRC [24] y los parámetros productivos no se afectaron [20].

Etapa de finalización

Se observaron diferencias (P<0,05) entre tratamientos para CAL, GDP, CA y GCM (TABLA V), por lo que se procedió a determinar los NOB para estas variables. En el análisis de regresión se observaron diferencias (P<0,05) para la GDP y se observó que el modelo que más se ajusta para obtener el NOB de LT fue el cuadrático, con la siguiente ecuación: $Y_{ij} = -17,811 + 41,969(\text{lisina}) - 23,618(\text{lisina}^2) + 0,00628(\text{PVI}=58,025)$, con una R²=0,67. El análisis de optimización calculó el NOB en 0,888% para una GDP máxima de 1,197 kg d⁻¹.

El nivel de lisina mostró un efecto cuadrático para CA (P<0,05). La ecuación que se obtuvo con el modelo ajustado para CA fue: $Y_{ij} = -26,485 - 53,120(\text{lisina}) - 29,863(\text{lisina}^2) + 0,0022(\text{PVI}= 58,025)$ con una R²=0,51. El NOB de lisina total para minimizar la CA fue 0,89% para un valor de 2,996.

En el caso del CAL, se detectaron diferencias (P<0,05) entre tratamientos; el modelo cuadrático explicó mejor esta variable, con la ecuación: $Y_{ij} = -32,752 + 78,915(\text{lisina}) - 44,483(\text{lisina}^2) + 0,0234(\text{PVI}=58,025)$, con una R²=0,35. El análisis de optimización, estimó que el NOB de lisina total para maximizar el CAL fue 0,961% con un valor de 3,361 kg d⁻¹.

Se observó que el incremento de lisina en la dieta mejoró la CA (0,89%de lisina) y aumentó la GDP (0,88%de lisina) y el CAL (0,96%de lisina) en cerdos durante la etapa de finalización, observando un efecto cuadrático en las tres variables, debido probablemente a que a un nivel superior de 0,88% de LT en la dieta existe un exceso de este AA afectando negativamente la CA y la GDP, sin embargo el consumo de alimento se incrementó con una concentración de 0,96% de lisina; ya que se ha observado que cuando las dietas contienen niveles excesivos de lisina se incrementa el consumo de alimento [17, 21], aunque este efecto todavía no está claro [5]. Cline y col. [5] encontraron que el aumento de lisina en la dieta con respecto al nivel recomendado por el NRC [24] mejora dichos parámetros, concluyendo que dicho valor se encuentra

TABLA V
COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE CERDOS EN FINALIZACIÓN, ALIMENTADOS CON CUATRO NIVELES DE LISINA

Lisina (%)	Comportamiento productivo*					
	GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	PI (kg)	PF (kg)	GCM (kg)
0,78	0,924 ± 0,034 ^a	3,091 ± 0,135 ^{ab}	3,338 ± 0,060 ^a	60,416 ± 1,854	89,435 ± 1,164 ^a	0,351 ± 0,020 ^{ab}
0,80	1,007 ± 0,032 ^a	3,278 ± 0,130 ^{ab}	3,253 ± 0,057 ^a	58,461 ± 1,851	92,271 ± 1,119 ^a	0,381 ± 0,019 ^{bc}
0,93	1,158 ± 0,033 ^b	3,522 ± 0,131 ^b	3,039 ± 0,058 ^b	56,916 ± 2,851	97,419 ± 1,121 ^b	0,421 ± 0,019 ^c
1,00	0,902 ± 0,034 ^a	3,041 ± 0,133 ^a	3,365 ± 0,059 ^a	56,333 ± 1,851	88,708 ± 1,141 ^a	0,308 ± 0,019 ^a
Efecto (R ²)						
Lineal	0,020	0,061	0,024	-	-	0,130
Cuadrático	0,665	0,347	0,510	-	-	0,543
Cúbico	0,666	0,347	0,514	-	-	0,544

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

entre 0,80 y 0,95% de lisina; mientras que Oliveira y col. [26] lo reportaron en 0,80%; y Abreu y col. [1] en 0,978% de LT. A pesar de que Coma y col. [8] y Martínez y col. [19] no encontraron diferencias significativas al evaluar distintos niveles de lisina (de 0,56 a 0,95%), observaron tendencias lineales y/o cuadráticas al incrementar el nivel de lisina en la dieta, respecto al valor recomendado por el NRC [24], y así poder mejorar los parámetros productivos.

Se encontraron diferencias entre tratamientos (P<0,05) para la GCM. En el análisis de regresión se encontró que el modelo con mejor ajuste para predecir el NOB de la GCM fue el que incluyó el término cuadrático: $Y_{ij} = -7,073 + 16,513(\text{lisina}) - 9,380(\text{lisina} \times \text{lisina}) + 0,0042(\text{PVI}=58,025)$, con R²=0,54. En el análisis de optimización se observó que el NOB de LT para maximizar GCM fue 0,880% con una ganancia de 0,444 kg d⁻¹ de carne magra. Coffey y col. [6] encontraron que los cerdos con alto potencial genético para crecimiento magro requieren altos niveles de lisina en la dieta (0,80 a 0,95%) para maximizar la GCM. Por su parte, Loughmiller y col. [18] establecieron como óptimo el valor de 0,70% de lisina; posteriormente, Oliveira y col. [24] lo estableció en 0,79%; en tanto que Martínez y col. [19], como en el presente estudio, el NOB de lisina para cerdos en finalización fue 0,88%, notándose un incremento a través de los años a partir del nivel recomendado por el NRC [24] de 0,75%.

El valor recomendado de LT por el NRC [24], de 0,75%, no es el adecuado para cerdos en finalización para ninguna de las variables productivas. Los valores para GDP, CA y GCM de este trabajo, convergen en 0,88% de lisina, valor muy cercano al nivel recomendado por [4] para cerdos de 70 a 100 kg (0,867% LT). Por otra parte, el nivel de lisina para optimizar el CAL (0,961%) del presente estudio, es muy cercano al nivel recomendado [4] para cerdos de 50 a 70 kg de PV (0,935% LT) y al nuevo NRC [0,97% LT; 25]. Cabe resaltar que en las recomendaciones realizadas, tanto por [4] como por del NRC

[25] se respetó la relación entre AA al incrementar el nivel de lisina. En concordancia a lo que encontraron Martínez y col. [19], al utilizar valores de lisina similares al del presente trabajo, pero sin mantener fija la relación de lisina con los otros AA (metionina, treonina y triptófano) no obtuvieron una mejor respuesta productiva.

La concentración de lisina dietética no tuvo efecto (P>0,05) sobre las características de la canal (GDF, AMLF, y PCMF; TABLA VI). Esto concuerda con Witte y col. [32], quienes al utilizar dietas a base de maíz (*Zea mays*)-pasta de soya, no encontraron efecto del nivel de lisina sobre AMLF y la cantidad de grasa corporal de cerdos en finalización. Sin embargo, los resultados no son consistentes debido a que no se logró establecer un valor para estas variables. Pérez y col. [28] observaron que, el nivel de GD fue menor (P<0,05) con 1,15% de lisina en la dieta comparado con 0,95 y 1,05%; mientras que el PCMF se incrementó al aumentar la concentración de lisina en la dieta (P<0,05); sin embargo, existió una tendencia a disminuir el AMLF al elevar el nivel de lisina. Esta respuesta es diferente a los resultados encontrados por Schinckel y col. [30], quienes observaron una tendencia a aumentar el AMLF a medida que se incrementaba el nivel de lisina (0,82 y 1,08%).

Concentración de urea en plasma

El nivel de lisina dietética no tuvo efecto (P>0,05) sobre la concentración de urea en plasma (CUP), tanto en la etapa de crecimiento como en finalización (TABLAS IV y VI). Durante la etapa de crecimiento, la ausencia de diferencias puede deberse a que no existió un déficit de AA y hubo un balance adecuado entre ellos, debido a que la relación de AA se mantuvo constante en las dietas utilizadas al aumentar la lisina. A diferencia de lo planteado por Abreu y col. [1] y López y col. [17] quienes, al incrementar la cantidad de lisina en la dieta sin mantener constante la relación con los demás AA, se pro-

TABLA VI
CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y CONCENTRACIÓN DE UREA EN PLASMA DE CERDOS EN FINALIZACIÓN, ALIMENTADOS CON CUATRO NIVELES DE LISINA

Lisina (%)	Características de la canal*						CUP mg dL ⁻¹
	GDI (mm)	GDF (mm)	AMLI (cm ²)	AMLF (cm ²)	PCMI	PCMF	
0,78	6,90 ± 0,44	10,89 ± 0,51	24,93 ± 1,16	33,53 ± 3,19	41,80 ± 0,76	40,82 ± 0,52	6.63 ± 2.12
0,80	7,48 ± 0,42	11,17 ± 0,49	24,26 ± 1,61	36,42 ± 3,07	41,72 ± 0,73	39,72 ± 0,50	4.73 ± 2.14
0,93	6,87 ± 0,43	10,97 ± 0,50	25,29 ± 1,12	37,21 ± 3,10	42,37 ± 0,74	39,54 ± 0,51	5.45 ± 2.11
1,00	6,89 ± 0,43	10,78 ± 0,51	26,47 ± 1,13	36,09 ± 3,13	42,51 ± 0,75	40,30 ± 0,51	4.79 ± 2.12
Efecto (R ²)							
Lineal	-	0,014	-	0,010	-	0,017	0.075
Cuadrático	-	0,019	-	0,027	-	0,133	0.075
Cúbico	-	0,025	-	0,038	-	0,178	0.075

^{abc} Medias con distinta letra difieren significativamente (P<0,05). * En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM). PC = Proteína cruda, GDI= Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLI = Área del músculo *longissimus* inicial, AMLF = Área del músculo *longissimus* final, PCMI = % Carne magra inicial, PCMF = % Carne magra final.

vocó un desequilibrio entre ellos, lo que trajo como consecuencia que existiera una CUP más alta en niveles extremos de LT (0,76 y 1,13%).

En la etapa de finalización la CUP no se redujo, ni aumentó con una mayor cantidad de lisina, debido probablemente a que se mantuvo la relación de este AA con treonina, metionina y triptófano, teniendo un mejor balance de AA. Coma y col. [7] y Martínez y col. [19] determinaron que, el NOB para CUP fue 0,72% de LT, pero como no se respetó la relación con los otros AA, un incremento en la concentración de lisina ocasionó un aumento en la CUP. Se puede inferir que el NOB para la CUP para cerdos en finalización, es menor al nivel de lisina recomendado por el NRC [24] de 0,75%, ya que a pesar de que la concentración de lisina en este trabajo fue superior en todos los tratamientos, los niveles de urea en plasma no se alteraron.

CONCLUSIONES

Los niveles utilizados de LT no fueron los adecuados para establecer el nivel óptimo de lisina para cerdos en crecimiento.

El NOB para LT para GDP, CA y GCM fue 0,88%, mientras que el NOB de LT para el CAL fue 0,961%, respetando la relación establecida de treonina (0,68%), metionina (0,26%) y triptófano (0,18%) con respecto a lisina, para lograr optimizar las variables productivas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABREU, M.L.T.; DONZELE, J.L.; MIRANDA, O.R.F.; OLIVEIRA, A.L.S.; SANTOS, F.; PEREIRA, A.A. Níveis de lisina digestível em rações, utilizado-se o conceito de proteína ideal, para suínos machos castrados de alto potencial genético para deposição de carne magra na carcaca dos 60 aos 95 kg. **Rev. Bras. Zoot.** 36:54-61. 2007.
- [2] ASSOCIATION OF ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis. 15th Ed. Arlington, VA, USA. 128 pp. 1990.
- [3] BAKER, D.H. Ideal amino acid profiles for swine and poultry and their applications in feed formulation. **BioKyo-owa Tech. Rev.** No.9:1-24. 1997.
- [4] BRAZILIAN TABLES FOR POULTRY AND SWINE. Composition of feedstuffs and Nutritional Requirements. 3rd Ed. Universidade Federal de Vicosa- Departamento de Zootecnia. Editor: Horacio Santiago Rostagno. Pp 165-199. 2011.
- [5] CLINE, T.R.; CROMWELL, G.L.; CRENSHAW, T.D.; EWAN, R.C.; HAMILTON, C.R.; LEWIS, A.J.; MAHAN, D.C.; SOUTHERN, L.L. Further assessment of the dietary requirements of finishing gilts. **J. Anim. Sci.** 78:987-992. 2000.
- [6] COFFEY, J.; CARRION, D.; ZIMMERMAN, D.R. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine the lysine requirement of pigs. **J. Anim. Sci.** 73: 472- 481. 1995.
- [7] COMA, J.; CARRION, D.; ZIMMERMAN, D.R. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine the lysine requirement of pigs. **J. Anim. Sci.** 73:472-481. 1995a.
- [8] COMA, J.; ZIMMERMAN, D.R.; CARRION, D. Interactive effects of intake and stage of growth on the lysine requirement of pigs. **J. Anim. Sci.** 73: 3369-3375. 1995b.
- [9] CHANEY, A.L.; MARBACH, E.P. Modified reagents for determination of urea and ammonia. **Clin. Chem.** 8:130-132. 1962.
- [10] FERREIRA, R.A.; MIRANDA, O.R.F.; LOPES, D.J.; VIEIRA, A.C.; OLIVEIRA, S.F.C.; OLIVEIRA, F.D.; PAES,

- S.E. 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. Zoot.** 34: 548-556. 2005.
- [11] FONTES, O.D.; DONZELE, J.L.; MIRANDA, O.R.F.; SILVA, C.G.; ARAGÃO, P. Níveis de lisina para leitoas selecionadas genéticamente para deposição de carne magra, dos 30 aos 60 kg, mantendo constante a relação entre lisina e metionina+cistina, treonina, triptofano, isoleucina e valina. **Rev. Bras. Zoot.** 29:776-783. 2000.
- [12] GARCÍA, E. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). 4ª Ed. México D. F. 217 pp. 1988.
- [13] HAHN, J.D.; BIEHL, R.R.; BAKER, D.H. Ideal digestible lysine level for early- and late-finishing swine. **J. Anim. Sci.** 73: 773-784. 1995.
- [14] HANSEN, B. C.; LEWIS, A. J. Effects of dietary protein concentration (corn: soybean meal ratio) on de performance and carcass characteristics of growing boars, barrows and gilts. **J. Anim. Sci.** 71:2122- 2132. 1993.
- [15] KARL, R.F.; MCDOWELL, L.R; MILES, P.H.; WILKINSON, N.S; FUNK, J.D.; CORAD. J.H. Determinación de calcio. **Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales.** 2ª Ed. Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Florida. Gainesville. Florida, USA. 39 pp. 1979.
- [16] KNOWLES, T.A.; SOUTHERN, L.L.; BIDNER, T.D. Ratio of total sulfur amino acids to lysine for finishing pigs. **J. Anim. Sci.** 76:1081-1090. 1998.
- [17] LÓPEZ, M.; FIGUEROA, J.L.; GONZÁLEZ, M.J.; MIRANDA, L.A.; ZAMORA, V.; CORDERO, J.L. Niveles de lisina y treonina digestible en dietas sorgo- pasta de soya para cerdos en crecimiento. **Arch. de Zoot.** 59 (226):205- 216. 2010.
- [18] LOUGHMILLER, J. A.; NELSSSEN, J.L.; GOODBAND, R.D.; TOKACH, M.D.; TITGEMEYER, E.C. KIM, I.H. Influence of dietary lysine on growth performance and carcass characteristics of late-finishing gilts. **J. Anim. Sci.** 76:1075-1080. 1998.
- [19] MARTÍNEZ, M.; FIGUEROA, J.L.; GONZÁLEZ, M.J.; LANDERO, J.L.; MEDINA, R. Optimal biological level of total lysine for finishing pigs fed sorghum- soybean meal diets. **J. Anim. Vet. Adv.** 6(10):1146-1151. 2007.
- [20] MARTÍNEZ, M.; FIGUEROA, J.L.; TRUJILLO J. E.; ZAMORA, V.; CORDERO, J.L.; SÁNCHEZ, M. T.; REYNA, L. Respuesta productiva y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína. **Vet. Méx.** 40: 27-38. 2009.
- [21] MERINO, C.B.; GÓMEZ, R.S.; CUARÓN, I.J.A. 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(2):139-153. 2005.
- [22] MICROSOFT EXCEL. Microsoft Corporation. 1985- 2001. USA. 2007.
- [23] NATIONAL PORK PRODUCERS COUNCIL (NPPC). Procedures to evaluate market hogs. 3rd Ed. National Pork Producers Council. Des Moines. IA, USA. 16 pp. 1991.
- [24] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Nutrient Requirements Tables and Feed Ingredient Composition. **Nutrient Requirements of Swine.** 10th Ed. National Academy Press, Washington, D.C. Pp 110-142. 1998.
- [25] NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Nutrient Requirements Tables and Feed Ingredient Composition. **Nutrient Requirements of Swine.** 11th Ed. National Academy Press, Washington, DC. Pp 208-239. 2012.
- [26] OLIVEIRA, A.L.S.; DONZELE, J.L.; MIRANDA, O.R.F.; FERREIRA, A.S.; MOITA, A.M.S.; OLIVEIRA, F.C.; FREITAS, L.S. Lisina em rações para suínos machos castrados selecionados para deposição de carne magra na carcaca dos 95 aos 110 kg. **Rev. Bras. Zoot.** 32(2):337-343. 2003.
- [27] PARAKSA, N.; UTHAI, K.; SUCHAET, C. Requirement of ileal digestible lysine for European growing and finishing pigs under tropical conditions. **Kasetsart J. Nat. Sci.** 33:216-223. 1999.
- [28] PÉREZ, A.; OBISPO, N.E.; PALMA, J.; CHICCO, C.F. Efectos de la ractopamina y lisina sobre la deposición de grasa en cerdos seleccionados magros en la fase de engorde. **Zoot. Trop.** 24(4):435-455. 2006.
- [29] STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE (SAS). The SAS system for Windows V8. SAS 9.3. USA. 2010.
- [30] SCHINCKEL, A.P.; HERR, C.T.; RICHERT, B.T.; FORREST, J.C.; EINSTEIN, M.E. Ractopamine treatment biases in the prediction of pork carcass composition. **J. Anim. Sci.** 81:16-28. 2003.
- [31] STAHLY, T.S.; CROMWELL, G.L.; TERHUNE, D. Responses of high, medium and low lean growth genotypes to dietary amino acid regimen. **J. Anim. Sci.** 69 (Suppl.1): 364 (Abstract). 1991.
- [32] WITTE, D.P.; MILLIS, M.; MCKEITH, F.K.; WILSON, E.R. Effect of dietary lysine and environmental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork. **J. Anim. Sci.** 78:1272-1276. 2000.