

Requerimientos de lisina digestible de cerdos de 14 a 50 kg de peso corporal sujetos a diferentes condiciones de manejo y alojamiento

Digestible lysine requirements of pigs between 14 and 50 kg body weight under different management and housing conditions

Beatriz Merino Carranza^a, Sergio Gómez Rosales^b, José Antonio Cuarón Ibarguengoytia^b

RESUMEN

Se realizaron dos experimentos con un total de 144 cerdos, inicialmente con 45 días de vida y 14.1±3.32 kg. En el primer experimento (Exp 1), se ensayó por 35 días la respuesta a cuatro niveles de lisina digestible ileal verdadera (LDIV): 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4 % en dietas con 3.3 Mcal de EM/kg, manteniendo constante la relación treonina, triptofano y metionina a LDIV. Cada nivel de LDIV tuvo seis unidades experimentales, cada una con seis cerdos, en tres bloques formados por rangos de peso inicial. En el Exp 2, se ensayaron por 21 días dos niveles de LDIV (0.9 y 1.1 %), aplicados a las dietas de los cerdos del Exp 1, los que se volvieron a aleatorizar, 48 a corraletas individuales para analizar la interacción con el tratamiento previo, y los restantes 96 a 12 corraletas para analizar la interacción con el tipo de alojamiento e inducción de estrés por la reubicación. En el Exp 1, el nivel de LDIV originó una respuesta cuadrática ($P < 0.02$) en la ganancia de peso = $-4.4563 + (7.9564X) - (3.1132X^2)$, y en la eficiencia alimenticia = $-2.4339 + (4.5201X) - (1.7486X^2)$; la suma de estos efectos a los 14 y 35 días permitieron establecer el requerimiento de LDIV entre el 1.278 y el 1.294 % de la dieta. En el Exp 2, no se detectaron diferencias ($P > 0.10$) entre niveles de LDIV, previos o durante los 21 días; sin embargo, los animales alojados individualmente consumieron más alimento (2.0 vs 1.7 kg, $P < 0.001$) y ganaron más peso (0.76 vs 0.58 kg, $P < 0.001$), como consecuencia del manejo y alojamiento.

PALABRAS CLAVE: Requerimiento de lisina, Cerdos en crecimiento, Manejo, Alojamiento.

ABSTRACT

A study was followed to determine of the true ileal digestible lysine (TIDL) requirements for pigs from 45 to 101 d of age. A total of 144 pigs (45 d initial age; 14.1±3.32 kg initial weight) were used in two consecutive experiments. In Experiment 1, measurements were taken of animal response after 35 d receiving diets with four TIDL levels: 1.1, 1.2, 1.3 and 1.4 % of diet. Diets were 3.3 Mcal of ME/kg, and Thr, Trp and Met levels were kept at a constant ratio to TIDL. Each TIDL level had six replicates of six pigs each, in three random blocks based on initial weight. In Experiment 2, two dietary TIDL levels (0.9 and 1.1%) were tested for 21 d in the pigs from Exp 1. Pigs wererandomized to 48 placed in individual pens to determine any possible interaction between the new and previous TIDL levels, and the remaining animals placed in 12 collective pens (eight pigs per pen) to determine any difference in TIDL requirements due to interaction with housing. Response to TIDL in Exp 1 was quadratic ($P < 0.02$) for average daily weight gain = $-4.4563 + (7.9564X) - (3.1132X^2)$, and feed efficiency = $-2.4339 + (4.5201X) - (1.7486X^2)$. Dietary TIDL requirements, established by the sum of effects, for pigs from 14 to 35 d of age, were between 1.278 and 1.294 % of the diet. No differences ($P > 0.10$) were observed in Exp 2 between the previous and new TIDL levels, however the stress suffered by the collectively-housed pigs caused them to have lower ($P < 0.001$) feed intake (1.7 vs 2 kg) and weight gain (0.58 vs 0.76 kg) than the individually-housed pigs.

KEY WORDS: Lysine requirement, Growing pigs, Management, Housing.

Recibido el 17 de junio de 2004 y aceptado para su publicación el 2 de noviembre de 2004.

a Patronato de Apoyo a la Investigación y Experimentación Pecuaria en México.

b Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Km 1 Carr. a Colón, 76280 Ajuchitlán, Colón, Qro. Tel 01 (419) 29200333. Correspondencia al tercer autor: cuaron.jose@inifap.gob.mx.

INTRODUCCIÓN

Una vez que sucede la madurez digestiva (entre 3 y 10 días después del destete), la densidad de nutrientes, particularmente de los aminoácidos, en dietas para cerdos jóvenes se mantiene relativamente alta, por una baja capacidad de ingestión de alimento, y porque la deposición de proteína explica la mayor parte de la ganancia de peso⁽¹⁾, tanto, que el crecimiento en estas etapas depende de la concentración y digestibilidad de los aminoácidos en la dieta, más que de la energía o del consumo de alimento^(2,3). Por esto, Gaines *et al.*⁽⁴⁾ y Kendall *et al.*⁽⁵⁾ sugirieron una enorme capacidad de respuesta de cerdos hasta los 25 kg de peso corporal a una concentración vasta de aminoácidos en la dieta, por ejemplo, que el requerimiento de lisina digestible de cerdos con un peso promedio de 30 kg sea igual o mayor al 1.32 % de la dieta.

Comercialmente, en México las raciones para lechones al destete pueden incluir alrededor del 1.50 % de lisina digestible ileal verdadera (LDIV) en el primer alimento, reduciéndose la concentración del aminoácido rápidamente, para que las dietas que consumen los cerdos con 20 kg o más de peso corporal, excepcionalmente contengan más del 1 % de LDIV. El NRC⁽¹⁾, para cerdos pesando 20 kg, recomienda 0.92 % de LDIV, cuando la dieta contenga 3.3 Mcal de EM/kg y los cerdos tengan una ganancia promedio de tejido magro libre de grasa (entre 20 y 120 kg de peso) de 310 g/día, lo que es una buena aproximación a la expresión de la capacidad productiva y los requerimientos de poblaciones actuales de cerdos en producción comercial.

Indudablemente, el nivel de LDIV en la dieta es una cuestión que debe decidirse en función del balance económico, porque a mayor concentración de aminoácidos en la dieta, mayor su costo, pero en las etapas tempranas del crecimiento (por ejemplo, hasta los 50 kg) hay un margen extraordinario, ya que la ganancia de peso debe ser del 45 % o más, del monto de alimento consumido. Entonces, la velocidad de crecimiento debe protegerse para alcanzar la mayor rentabilidad, pues aún cuando luego del destete (hasta los 50 kg) los animales tengan el potencial de llegar a una

INTRODUCTION

Once pigs are digestively mature (3 to 10 d post weaning) diet nutrient density requirements for young pigs, particularly for amino acids, remain relatively high due to their low feed intake capacity and because protein deposition accounts for the greater part of their weight gain⁽¹⁾. Indeed, growth at these stages depends on dietary amino acid concentration and digestibility more than on energy or feed intake^(2,3). For this reason, Gaines *et al.*⁽⁴⁾ and Kendall *et al.*⁽⁵⁾ reported an enormous response capacity for pigs of up to 25 kg body weight to high dietary amino acids concentrations; for example, the digestible lysine requirement for pigs with an average weight of 30 kg is equal to or greater than 1.32 % of the diet.

In a commercial context in Mexico, weaner pig rations can include up to 1.50 % true ileal digestible lysine (TIDL) in starter feed. Amino acids concentration is then quickly reduced so that the diets of pigs weighing 20 kg or more may contain as much as 1 % TIDL. For pigs weighing 20 kg the National Research Council (NRC)⁽¹⁾ recommends 0.92 % TIDL in diets containing 3.3 Mcal of ME/kg for pigs with an average fat-free lean gain (from 20 to 120 kg weight) of 310 g/d. This is a good approximation of the productive capacity and requirements of pig populations in a commercial production scenario.

Dietary TIDL levels clearly need to be determined as a function of financial balance because the more amino acids included in a diet the higher the cost. In early growth stages (e.g. up to 50 kg), there is a very wide margin as weight gain should be 45 % or more of the feed intake level. Thus, growth rate must be protected to attain greater profitability, since even after weaning (up to 50 kg) animals can potentially gain as much as, or more than, 660 g/d, though environmental conditions usually limit productive capacity to 550 g/d in the best of cases.

Stress, including disease, slows body protein synthesis and consequently growth^(6,7) since demand for lysine (as the primary limiting amino acid) is a direct function of protein deposition. This explains why lysine requirements in practice

ganancia diaria de peso igual o mayor a los 660 g diarios en el periodo, los efectos del medio usualmente limitan la capacidad productiva, para que se exprese sólo en 550 g/día en los mejores casos.

La presencia de estrés, incluyendo enfermedad, frena la síntesis de proteína corporal y, por ende, el crecimiento^(6,7) ya que la demanda de lisina (como primer aminoácido limitante) es una función directa de la deposición de proteína; esto explicaría porqué en la práctica los requerimientos de lisina sean significativamente menores a lo propuesto en el primer párrafo.

El objetivo de este trabajo fue el de estudiar los requerimientos de lisina digestible de los cerdos entre los 45 y los 100 días de vida cuando, los animales se sujetaron a condiciones diferentes de manejo y alojamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en la granja experimental del Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal, INIFAP, sita en el municipio de Colón, Qro. Se usaron un total de 144 cerdos (50 % machos castrados y 50 % hembras), producto de un cruzamiento alterno Landrace x Duroc. Los cerdos se manejaron convencionalmente desde el destete (20 ± 1.7 días de edad) hasta el inicio del experimento, aproximadamente a los 45 días de vida. En general las prácticas seguidas fueron: alojamiento en una sala cerrada con jaulas elevadas (seis cerdos por jaula) cuya temperatura se mantuvo a no menos de 29 °C durante la primera semana posdestete, permitiendo una reducción, equivalente a 2 °C por semana, en la temperatura mínima.

Desde el destete y hasta el día 44 de vida, los alimentos para todos los animales fueron los mismos y se prepararon como harina (Cuadro 1), para llenar los estándares de las prácticas comerciales vigentes: Fase 1, por los primeros 10 días posdestete y Fase 2, por 14 días más. La alimentación fue a libertad, ofreciendo cuatro comidas diarias (en intervalos de 6 h) durante la primera semana y tres comidas diarias (intervalos de 8 h) desde el inicio de la segunda semana después del destete.

are significantly lower than proposed above. The present study addressed TIDL requirements in pigs from 45 to 100 d of age under different management and housing conditions.

MATERIALS AND METHODS

The study was followed at the INIFAP National Center for Animal Physiology Research experimental farm in Colón municipality, in the state of Queretaro, Mexico. A total of 144 pigs were used (50 % castrated males and 50 % females) from a Landrace x Duroc alternate cross. The animals were managed using conventional methods from weaning (20 ± 1.7 d of age) to the beginning of the experiment at 45 d of age. Briefly, they were housed in an enclosed building with elevated pens (six pigs per pen), temperature at no less than 29 °C for the first week after weaning with a reduction in minimum temperature equal to 2 °C a week.

From weaning to 44 d of age, feed was the same for all animals and administered in meal form (Table 1). To meet applicable commercial practice standards, Phase 1 feed was given for the first 10 days after weaning and Phase 2 feed for 14 d more. Feeding was *ad libitum*, with four meals a day (every 6 h) for the first week and three a day (every 8 h) from the second week after weaning.

The farm is almost totally disease-free, though some respiratory bacterial processes occurred during the study. Antibiotics effective in controlling these diseases were included in the feed.

Feed formulation. All diets were formulated using a minimum cost linear formulation program with restrictions imposed by the experimental design, that is, TIDL = 1.1, 1.2, 1.3 and 1.4 %; 0.9 and 1.1 % (Table 1). The recommendations of Baker⁽⁸⁾ were used in all cases to maintain the amino acid profile (threonine, tryptophan, methionine and isoleucine as first limiting amino acids) in fixed ratios to TIDL and to fix the (total) lysine to crude protein ratio⁽⁹⁾ to approximate an ideal protein. Ingredient amino acid profiles were calculated using prediction equations based on analyzed

Cuadro 1. Composición y análisis calculado de las dietas

Table 1. Calculated composition and the nutrient analysis of the diets

TIDL level (%):	Phase 1, 10 d	Phase 2, 11 to	First 35 days			Second 21 days		
	weaned	24 d weaned	1.10	1.20	1.30	1.40	0.90	1.10
Ingredient, kg/t:								
Sorghum, grain (9.1%)	412.12	502.65	602.80	587.68	572.20	557.05	696.64	574.42
Soybean meal (47%)	140.00	240.00	286.00	297.60	309.60	322.00	178.00	268.60
Canola, paste (36%)	0	0	37.00	37.00	37.00	37.00	60.00	90.00
Tallow, white choice	54.00	50.00	39.80	41.40	43.00	44.20	37.00	41.00
Mono-dicalcic phosphate	5.20	5.60	12.82	12.80	12.80	12.70	7.60	7.00
Calcium carbonate	5.40	7.60	9.90	9.80	9.70	9.60	9.10	8.10
Salt	4.00	4.00	3.80	3.80	3.80	3.80	3.60	3.60
L-Lysine. HCl	2.94	3.18	2.27	3.20	4.10	4.78	2.71	1.90
L-Threonine	1.34	1.28	0.71	1.22	1.73	2.24	0.82	0.70
DL-Methionine	1.00	1.29	0.60	1.20	1.77	2.02	0.33	0.48
L-Lys- L-Trp premix ^a	0.90	0	0	0	0	0.31	0	0
Vitamin premix ^b	4.40	4.40	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Trace mineral premix ^c	1.20	1.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Tylosine phosphate (20%)	0	0	0.50	0.50	0.50	0.50	0.40	0.40
Other ingredients ^{d, e}	367.50	179.00	0	0	0	0	0	0
Totals	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00	1,000.00
Calculated composition								
Metabolizable energy, Mcal/kg	3.40	3.40	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
Crude protein, % ^f	22.25	22.60	20.72	21.30	21.90	22.50	17.29	21.50
Lysine, % ^f	1.55	1.50	1.23	1.33	1.44	1.54	1.01	1.25
Digestible Lysine, %	1.40	1.35	1.10	1.20	1.30	1.40	0.90	1.10
Digestible Threonine, %	0.91	0.88	0.72	0.78	0.85	0.91	0.61	0.74
Digestible Tryptophan, %	0.24	0.23	0.22	0.23	0.23	0.25	0.18	0.23
Digestible Methionine, %	0.42	0.45	0.33	0.39	0.44	0.47	0.27	0.34
Calcium, % ^f	0.80	0.78	0.75	0.75	0.75	0.75	0.60	0.60
Phosphorous, % ^f	0.70	0.65	0.64	0.64	0.64	0.64	0.51	0.55
Available phosphorous, %	0.46	0.37	0.32	0.32	0.32	0.32	0.23	0.23

^a L-Lysine.HCL, 70%; L-Tryptophan, 15%; vehicle (kaolin), sufficient for 100%.

^b Premix provided: 3,300,000 UI Vit. A; 330,000 UI Vit. D; 5 g Vit. E; 17.5 g Choline; 6.6 g Calcium pantotenate; 2.7 g Niacin; 1.1 g Riboflavin; and 1.8 g Vit. B₁₂, per kilogram finished feed.

^c Premix provided : Se, 25 mg; I, 150 mg; Zn, 28.5 g; Cu, 2.2 g; Fe, 25.5 g; and S, 33 g, per kilogram finished feed.

^d Phase 1: dehydrated milk whey, 230; fish meal, 70; soy protein concentrate, 60; ZnO, 3.5; VF Appetite (acidifier), 3; and Carbadox , 1 kg.

^e Phase 2: dehydrated milk whey, 100; fish meal, 60; soy protein concentrate 18; and Carbadox (5.5%), 1 kg.

^f Analyzed composition was equal to calculated composition ($P>0.99$).

La granja está prácticamente libre de enfermedades, pero casualmente se presentan algunos procesos infecciosos del síndrome respiratorio, razón por la que todos los alimentos incluyeron antibióticos efectivos en el control de estas enfermedades.

Formulación de los alimentos. Todas las dietas se calcularon usando un programa de formulación lineal a costo mínimo, con las restricciones impuestas por el diseño de los experimentos, LDIV: 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4 %; 0.9 y 1.1 %, las que se indican en cada columna del Cuadro 1. En todos los casos se usaron las recomendaciones de Baker⁽⁸⁾ para cuidar el perfil de aminoácidos (treonina, triptofano, metionina e isoleucina, como los primeros limitantes) con relación a LDIV y la relación lisina (total) a proteína cruda⁽⁹⁾, para aproximar una proteína ideal. Los perfiles de aminoácidos de los ingredientes se calcularon usando ecuaciones de predicción a partir de la composición bromatológica analizada⁽¹⁰⁾ y los coeficientes de digestibilidad (ileal verdadera), se obtuvieron del Cuadro publicado por el INIFAP⁽¹¹⁾. Los niveles de vitaminas y minerales excedieron las recomendaciones del NRC⁽¹⁾. La composición final de las dietas se constató analizando el contenido de proteína cruda (N de Kjeldhal)⁽¹⁰⁾.

Procedimientos. Al día 45 de vida, los animales fueron pesados y, para desafiarlos, se movieron a un edificio de tipo frente abierto con corrales de piso sólido de concreto con medidas de 2.96 a 2.22 m (6.57 m² - 0.93 m² de área de comedero = 5.64 m² de área utilizable), bebedero de chupón y un comedero de tolva con seis bocas. En cada corral, se alojaron seis cerdos, con 0.94 m² y 0.25 m² de espacio disponible de piso y espacio de comedero por cerdo, los que fueron aleatorizados conforme a un diseño de bloques completos al azar con cuatro tratamientos, establecidos por los niveles de LDIV: 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4 % (Cuadro 1) y seis repeticiones. Los bloques se formaron por la separación de tres grupos de peso inicial (dos repeticiones por bloque y tratamiento), a partir de grupos de aleatorización integrados por las camadas de origen y el sexo. Dentro de bloque, cada unidad experimental incluyó una proporción constante de animales de cada sexo, por ejemplo, tres machos

bromatológica⁽¹⁰⁾ and (true ideal) digestibility coefficients from the INIFAP Table⁽¹¹⁾. Vitamin and mineral levels exceeded NRC⁽¹⁾ recommended levels and final diet composition was confirmed by analyzing crude protein content (Kjeldhal N)⁽¹⁰⁾.

Procedures. At 45 d of age the experimental animals were weighed and challenged by being moved to an open-front type building with concrete floors and pens measuring 2.96 to 2.22 m (6.57 m² total area - 0.93 m² feeder space = 5.64 m² available area) and containing drip drinkers and a six-opening hopper feeder. Using a completely Randomized block design with four treatments corresponding to the four TIDL levels (1.1, 1.2, 1.3 and 1.4 %; Table 1), six animals were placed in each pen (0.94 m² available floor space and 0.25 m² feeder space per pig). Blocks were formed by separating three groups according to initial weight (two replicates per block and treatment) from randomized groups consisting of the litters by origin and sex. Within a block, each experimental unit included a constant proportion of each sex, that is, 3 castrated males:3 females, 2 males:4 females or 4 males:2 females (the effect of sex was considered null at this growth stage).

The switch to the experimental diets, which were different from the Phase 1 and 2 diets (Table 1), was done abruptly and coincided with the change in environment, readjustment and establishment of new social hierarchies. Feeding frequency was changed to just twice daily (0800 and 1600) ensuring *ad libitum* feeding by allowing a minimum of 10% feed remaining in the feeder. Daily feed offered was measured for 35 d, and intake was calculated by weighing the left-over feed at the end of each week. Daily weight gain was calculated by difference (weight of each animal was measured weekly). These two variables were used to estimate feed efficiency as a weight gain/intake ratio.

On d 36 of the experiment, the 12 heaviest pigs from each of the previous treatments were moved to individual (1.17 m²) pens and the remaining 96 animals were randomly redistributed, independent of their previous treatment (i.e. diet). They were

castrados y tres hembras, dos machos y cuatro hembras o viceversa (el efecto de sexo se consideró nulo para esta etapa del crecimiento).

El cambio a las dietas experimentales, cuya selección de ingredientes fue diferente al de los alimentos de las Fases 1 y 2 previas (Cuadro 1), se hizo abruptamente, coincidiendo con el cambio de ambiente, el reacomodo y establecimiento de las nuevas jerarquías sociales; la frecuencia de alimentación se cambió a sólo dos comidas diarias (0800 y 1600), asegurando el consumo a libertad al permitir un mínimo del 10 % de remanentes diarios en el comedero. Por 35 días, se midió la oferta diaria de alimento, calculando el consumo pesando los sobrantes al final de cada semana; la ganancia diaria de peso se calculó por diferencia (con los pesos de cada cerdo obtenidos semanalmente) y con ambas variables se estimó la eficiencia alimenticia, como la relación ganancia / consumo.

Al día 36 del experimento, los 12 cerdos más pesados de cada uno de los cuatro tratamientos previos se movieron a corraletas individuales (1.17 m²) y los 96 restantes se redistribuyeron en forma aleatoria, independientemente de la dieta anterior (tratamiento previo), considerando el reacomodo a tres grupos de peso corporal (bloques), en 12 corrales colectivos (cada uno con ocho cerdos), con piso sólido de concreto, salvo un 20 % de la superficie efectiva (16 m²) que tuvo un piso de malla de alambre entrelazado sobre una fosa de fermentación. Estos corrales contaron con dos bebederos de chupón y una superficie de comedero (con tolva de alimentación) de 0.74 m². En ambos tipos de alojamiento, las prácticas de manejo y alimentación fueron similares a lo descrito en el párrafo anterior, pero los tratamientos se modificaron, para ser dos: dietas, con 0.9 o 1.1 % de LDIV (Cuadro 1), que se impusieron a partir del día 36 del experimento.

La reubicación de los animales acusó diferentes cambios ambientales (a partir del día 36 del experimento): el cambio de alojamiento, los nuevos órdenes sociales, *i.e.*, peleas para el establecimiento de las jerarquías, o la pérdida de la identidad de grupo en las corraletas individuales.

distributed in three body weight groups (blocks) in 12 collective pens (eight pigs each) with concrete floors over 80 % of the surface and a wire mesh floor over a fermentation tank on the remaining 20 % (16 m²). These pens had drip drinkers, hopper feeders and a feeding space of 0.74 m². Management and feeding practices for both types of housing were similar to those described before but the treatments were modified to just two TIDL levels (0.9 or 1.1 %), offered initially on d 36. This relocation involved different environmental changes, such as change in housing type, new social orders (*i.e.* fighting to establish hierarchies) and loss of group identity in the individual pens.

Productive response was measured in the new treatment and housing conditions for 21 d (d 56 of the experiment; 101 d of age) and was analyzed in two parts. The first included the individually housed animals and used a covariance analysis (with initial weight as the covariable) of a completely random model with a 4 x 2 x 2 factorial arrangement, that is, the four previous treatments, the two from this stage and the two sexes. There were three replicates in the triple interaction, six replicates for the interaction between the previous treatments and this stage; 12 replicates for the major effect of the previous treatments; and 24 replicates for the major effect of the later treatment. The second part involved the two treatments of this stage and the housing system, discarding the effects of sex and the previous treatment, which could not be analyzed with the animals housed collectively (note: the associated variation was incorporated at the end of the error). This part studied the possible interaction between the housing system (collective or individual) and the two TIDL levels imposed during the final 21 d of the experiment. The initial weight was used as covariable in the data analysis.

All statistical analyses using the described models and arrangements were facilitated by the General Linear Models (GLM) procedure of SAS software⁽¹²⁾ with type-III sums of squares, except for analysis of the experimental data for the first 35 d, which were analyzed using type-1 sums of squares. Orthogonal comparisons were used to evaluate TIDL response trends and the regression

Con los nuevos tratamientos y alojamientos, se midió la respuesta productiva por 21 días (hasta el día 56 del ensayo, aproximadamente al día 101 de vida), lo que fue analizado en dos partes, la primera, con los animales alojados individualmente, un análisis de covarianza (siendo el peso inicial la covariable) de un modelo completamente al azar, en el arreglo factorial 4 x 2 x 2, considerando los cuatro tratamientos previos, los dos de la etapa y dos sexos. En la triple interacción se tuvieron tres repeticiones; la interacción entre los tratamientos previos y los de la etapa, contó con seis repeticiones, el efecto mayor del tratamiento previo tuvo 12 repeticiones y el del tratamiento de esta fase de producción, 24 repeticiones.

Para la segunda parte del análisis, se consideraron los dos tratamientos de la etapa y sistema de alojamiento. Para ello, se descartaron los efectos de sexo y de tratamiento previo, imposibles de analizar con los animales alojados colectivamente (por lo que la variación asociada se incorporó al término del error) y se estudió la posible interacción entre el sistema de alojamiento (colectivo o individual) y los dos niveles de LDIV impuestos durante la fase de alimentación correspondiente a los últimos 21 días del ensayo. Para el análisis de estos datos se incluyó la covariable peso inicial (al día 35).

Todos los análisis estadísticos, con los modelos y arreglos descritos, se facilitaron por el uso de los procedimientos lineales generales (GLM) de SAS⁽¹²⁾, usando las sumas de cuadrados tipo 3, excepto en el análisis de los resultados de los primeros 35 días del período experimental, cuando se usó la suma de cuadrados tipo 1. Se usaron comparaciones ortogonales para estudiar las tendencias de respuesta al nivel de LDIV y se calcularon las ecuaciones de regresión con el procedimiento de regresión (REG) de SAS⁽¹²⁾. Las medias que se presentan en los cuadros de resultados, son las de los cuadrados mínimos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El peso inicial de los animales fue de 14.1 ± 3.32 kg y durante la primera fase experimental (35 días)

equations were calculated with the regression procedure (REG) in SAS⁽¹²⁾. The means shown in the results are from the least squares.

RESULTS AND DISCUSSION

Initial weight for the experimental animals was 14.1 ± 3.32 kg and at the end of the first experimental stage (35 d) they reached an average weight of 34.6 ± 4.34 kg. The average weight variation coefficients of all the animals decreased much less than anticipated, from an initial coefficient of 23.61 % to 16.76 % by d 14 and 12.56 % at d 35. Variation was expected to be greater given the change from the weaning area with a minimum recorded temperature of 26 °C to the open-front building with a 12 to 23 °C average daily temperature range, the relocation, the deficient dietary amino acid content and the inherently greater susceptibility of some animals^(13,14,15). This suggests that the redistribution of the animals into more homogenous size groups (as a reflection of the expression of their growth potential), available space and feeding area size, together with *ad libitum* feeding allowed the smallest pigs for a compensatory response, as reported previously^(16,17). The variation sources were properly identified and isolated. This response also suggests that the animals were able to adapt to the imposed environmental changes. However, this inference is speculative since these results were not compared to a group kept in controlled environmental conditions.

The cumulative results from d 14 to d 35 (Table 2) show voluntary feed intake to be equal ($P > 0.90$) among treatments, being 1 kg during the first 14 d and almost 30 % greater in the accumulated response at 35 d. Daily weight gain, in contrast, had a quadratic response ($P < 0.05$) to TIDL level:

$$Y = -4.7383 + (8.1907X) - (3.1637X^2), r^2 = 0.43, \text{ at } 14 \text{ d}$$

$$Y = -4.4563 + (7.9564X) - (3.1132X^2), r^2 = 0.67, \text{ at } 35 \text{ d}$$

Using these equations, the curve inflexion point from the analysis of the first derivative was 1.29 % TIDL at 14 d and 1.28 % at 35 d. Analysis of the first derivative was used because the intersection between the ascending linear slope and the zero

Cuadro 2. Medias de mínimos cuadrados correspondientes al comportamiento productivo de cerdos en el Experimento 1
 Table 2. Least-squares means of the productive performance of pigs from Experiment 1

	True Ileal Digestible Lysine (TIDL), %				RMSE ^a	P, Effect
	1.10	1.20	1.30	1.40		
Response first 14 days						
Initial weight, kg	14.52	14.06	14.58	14.47	3.3207	>0.99
Feed intake, kg/day	0.99	1.00	1.03	1.02	0.1283	>0.92
Weight gain, kg/day ^b	0.43	0.53	0.54	0.52	0.0742	<0.02, Quadratic
Weight gain / intake, kg ^c	0.44	0.56	0.53	0.51	0.0918	<0.05, Quadratic
Cumulative response at 35 days						
Feed intake, kg/day	1.27	1.32	1.31	1.27	0.1757	>0.90
Weight gain, kg/day ^d	0.52	0.62	0.61	0.59	0.0413	<0.001, Quadratic
Weight gain / intake, kg ^e	0.42	0.48	0.47	0.47	0.0579	<0.09, Quadratic

^a RMSE = Root mean square error.

^b WG, kg = $-4.7383 + (8.1907X) - (3.1637X^2)$. First derivative of equation: 1.2945 %.

^c WG/I, kg = $-5.1245 + (8.9228X) - (3.4892X^2)$. First derivative of equation: 1.2786 %.

^d WG, kg = $-4.4563 + (7.9564X) - (3.1132X^2)$. First derivative of equation: 1.2778 %.

^e WG/I, kg = $-2.4339 + (4.5201X) - (1.7486X^2)$. First derivative of equation: 1.2925 %.

los cerdos alcanzaron un promedio de 34.6 ± 4.34 kg. Los coeficientes de variación del peso promedio de todos los animales se redujeron, del 23.61 % inicial, al 16.76 % para el día 14 del ensayo y 12.56 % al final de los 35 días. Esto es notable porque al cambio de ambiente, de una temperatura mínima registrada de 26 °C en la sala de destete, a una fluctuante de 12 a 23 °C (rango diario promedio) en el edificio de frente abierto; por la reubicación y por las diferencias en el aporte de aminoácidos de las dietas, se esperaba que la variación aumentara, en particular si se considera la inherente mayor susceptibilidad de algunos animales^(13,14,15). Es probable entonces que la redistribución de los cerdos para conformar grupos más homogéneos en tamaño (como reflejo de la expresión de su potencial de crecimiento), la disponibilidad de espacio y de la superficie de comedero, ligados al consumo irrestricto de alimento, hayan permitido que los cerdos más ligeros tuvieran una respuesta compensatoria, como se ha observado antes^(16,17), y es que las fuentes de variación fueron identificadas o aisladas apropiadamente. Esto también sugiere que los

slope that assumes a plateau in the “broken line” analysis⁽¹⁹⁾ tends to give lower estimates for the maximum response point, which by definition is calculated as the inflexion point. Thus, the point calculated using the “broken line” criterion (i.e. when the response loses linearity) should lead to the point of optimum efficiency, though the inflection point is more appropriate given the low intake capacity and consequent higher required nutrient concentration at this growth stage^(2,3). In fact, the optimum lysine level was very similar throughout the study period, even with a calculated reduction in demand of 0.03 % during the final 14 d *versus* the first days. As a result of daily weight gain, feed efficiency also responded quadratically ($P < 0.09$) and optimum TIDL levels in all cases were recorded between 1.28 and 1.30 % of the diet.

The estimated range of TIDL required, an average of 1.28 % of the diet, is slightly lower than other reports^(4,5), which recommend a TIDL level of about 1.32 % of the diet for pigs from 11 to 25 kg body weight. The present estimate, however, is

animales fueron capaces de adaptarse bien a los cambios ambientales impuestos, pero la inferencia resulta especulativa, porque no se compararon estos resultados contra los de un grupo mantenido en las condiciones de un ambiente controlado.

El Cuadro 2, muestra los resultados acumulados al día 14 y 35 del ensayo. Entre tratamientos, el consumo voluntario de alimento fue igual ($P > 0.90$), siendo de 1 kg en los primeros 14 días y casi 30 % mayor en la respuesta acumulada a los 35 días. En cambio, la ganancia diaria de peso respondió cuadráticamente ($P < 0.05$) al nivel de LDIV:

$$Y = -4.7383 + (8.1907X) - (3.1637X^2), r^2 = 0.43, \text{ a los 14 días}$$

$$Y = -4.4563 + (7.9564X) - (3.1132X^2), r^2 = 0.67, \text{ a los 35 días}$$

Con estas ecuaciones, el punto de inflexión de la curva, por el análisis de la primera derivada⁽¹⁸⁾, resultó en 1.29, a los 14 días y en 1.28 % de LDIV a los 35 días. Se optó por el análisis de la primera derivada, porque la intersección entre la línea de la pendiente lineal ascendente y aquella dependiente cero que presume el *plateau* en el análisis de la “línea quebrada”⁽¹⁹⁾, tiende a dar estimaciones menores al punto de máxima respuesta, el que por definición se calcula como el punto de inflexión. Por lo tanto, con el punto calculado por “línea quebrada” (cuando se pierde la linealidad de la respuesta) se llegaría al punto de mejor eficiencia; sin embargo, en esta etapa del crecimiento la capacidad de ingestión demanda mayor concentración de los nutrientes, por lo que el punto de inflexión es el más apropiado^(2,3). De hecho, el mejor nivel de lisina fue muy similar en todo el periodo, aún cuando se pudo calcular, con relación a los primeros días, una reducción de la demanda igual a 0.03 unidades porcentuales durante los últimos catorce días del periodo. En consecuencia de la ganancia diaria de peso, la eficiencia alimenticia también respondió en forma cuadrática ($P < 0.09$) y los mejores niveles de LDIV se detectaron, en todo caso, entre el 1.28 y el 1.30 % de la dieta.

El rango del requerimiento estimado de LDIV, en promedio del 1.28 % de la dieta, es ligeramente menor al de otras apreciaciones^(4,5), quienes

higher than that of Urynek and Buraczewska⁽²⁰⁾, who established an apparent ileal digestible lysine (AIDL) requirement of 1.17 % for body weight between 13 and 20 kg, or 1.06 % for a body weight between 20 and 30 kg. A level of 1.28 % TIDL is similar to 1.20 % AIDL. Either one of these estimates is notably higher than the 0.92 % TIDL (0.85% AIDL) requirement calculated with the NRC⁽¹⁾ model using conditions of muscle weight gain of 187 g/d at 20 kg body weight, 3.3 Mcal of ME/kg energy level, and a feed intake of 1.0 kg/d.

When the NRC model is used with the productive performance recorded in the present study, the estimated TIDL requirement is 1.28 %. This assumes a muscle weight gain of 266 g/d at 20 kg body weight, meaning that the average fat-free lean tissue gain would be as high as 440 g/d between 20 and 120 kg. These levels would be practically impossible to attain given the productive potential of the experimental animals and the general management conditions, suggesting that the growth curve used in the NRC model is erroneous and leads to a Type-1 error⁽²¹⁾. The problem lays in that the fat-free lean tissue growth profile is normally estimated using heavier animals, making the extrapolation outside the measurement parameters possible. These assumptions appear to be confirmed when calculating non-adipose tissue gain with the equation of Brannaman *et al.*⁽²²⁾. With this equation daily fat-free lean tissue gain is estimated at 264 g/d between 14 and 35 kg body weight over a 35-d period, similar to that needed from the NRC model to equal the productive behavior and TIDL requirement observed in the present study. Apparently, the prediction equation's cubic tendency underestimates the needs of young animals, indicating that the quadratic equation may be more appropriate for predicting the requirements of pigs less than 50 kg body weight, as accepted by the NRC⁽¹⁾. When protein deposition is considered the inferences of Schinckel *et al.*⁽²³⁾ about lysine versus energy demands coincide with the present results. Indeed, the TIDL demand calculated for the present study was approximately 3.88 g/Mcal ME, within the upper range estimated with these authors' data.

recomendaron un nivel de LDIV semejante al 1.32 % de la dieta para cerdos entre 11 y 25 kg de peso corporal; pero nuestra estimación fue mayor a la de Urynek y Buraczewska⁽²⁰⁾, quienes establecieron el requerimiento de lisina digestible ileal aparente en el 1.17 % de la dieta entre 13 y 20 kg, o 1.06 % en el rango de 20 a 30 kg de peso corporal. El 1.28 % de LDIV es similar al 1.20 % de lisina digestible ileal aparente. Como sea, cualquiera de estas apreciaciones es sensiblemente mayor al requerimiento calculado con el modelo del NRC⁽¹⁾, que, con una ganancia de magro en la canal de 187 g/día a los 20 kg de peso y un nivel de energía como el usado en este experimento (3.3 Mcal de EM/kg) y con el consumo de alimento observado (de 1.0 kg/día), resultó ser del 0.92 % de LDIV en la dieta (o 0.85 % de lisina digestible ileal aparente).

Cuando se usa el modelo del NRC⁽¹⁾, ajustando el comportamiento productivo a lo observado en este experimento, se llega a la estimación de un requerimiento de 1.28% de LDIV, cuando la ganancia de magro de cerdos pesando 20 kg sea de 266 g/día, lo que sería llevar el promedio de la ganancia de magro hasta 440 g/día entre 20 y 120 kg. Porque las últimas cifras serían prácticamente imposibles de obtener, dado el potencial productivo de los cerdos usados y por las condiciones generales del manejo, se sugiere que el perfil de la curva de

In the experiment addressing TIDL levels and housing type between 80 and 101 d of age, TIDL before the change had no effect whereas the housing type did (Table 3). The TIDL levels in the previous trial lost their effect, when the animals were changed to the 0.90 and 1.10 % levels used in the second trial. Average feed intake among the four TIDL levels used in the first experiment was 1.86 kg pig⁻¹ d⁻¹ ($P>0.20$), daily weight gain was 0.68 kg pig⁻¹ d⁻¹ ($P<0.85$) for the 1.1% TIDL, 0.68 for the 1.2 %, 0.66 for the 1.3 % and 0.67 for the 1.4 %, and feed efficiency was 0.36 kg weight gain per kilogram of feed intake ($P>0.94$). The housing type affected the animal's productive response ($P<0.001$). Pigs housed individually ate 17 % more feed (2.0 vs 1.7 kg/d), gained 31 % more weight (0.76 vs 0.58 kg/d) and were thus 12 % more efficient (0.38 vs 0.34 kg/d) than the collectively-housed pigs. These results can be explained by considering the short measurement period: of the 21-d observation period the collectively-housed animals invested from 5 to 11 d establishing hierarchies (based on subjective observation of agonistic activity), which reduced access to and time in the feeding area. These kind of effects were widely described^(24,25) and the reduction in animal productivity observed in the present study was similar to that reported elsewhere⁽²⁶⁾.

Cuadro 3. Medias de mínimos cuadrados correspondientes al comportamiento productivo de cerdos. Experimento 2

Table 3. Least-squares means of the productive performance of pigs. Experiment 2

	Individual housing		Collective housing		RMSE ^a	P, Effect
	0.90	1.10	0.90	1.10		
Lysine level, %	0.90	1.10	0.90	1.10		
Number of observations	24	24	6	6		
Initial weight, kg	36.42	35.76	33.71	36.17	2.2676	<0.03, Housing x Diet
Feed intake, kg/day ^b	1.990	2.000	1.730	1.690	0.1270	<0.001, Housing
Weight gain, kg/day ^c	0.770	0.760	0.600	0.570	0.0744	<0.001, Housing
Weight gain / Intake, kg ^d	0.390	0.380	0.340	0.340	0.0354	<0.001, Housing

^a RMSE = Root mean square error.

^b Initial weight used as covariable. Housing: individual = 2.00 vs collective = 1.71 kg.

^c Initial weight used as covariable. Housing: individual = 0.760 vs collective = 0.580 kg.

^d Initial weight used as covariable. Housing: individual = 0.380 vs collective = 0.340 kg.

crecimiento que se usó con el modelo del NRC⁽¹⁾ es errónea, conduciendo a un Error Tipo I⁽²¹⁾, y es que el problema radica en que normalmente se estima el perfil del crecimiento magro con animales de mayor peso, lo que hace probable la extrapolación fuera del ámbito de medición. Estas suposiciones parecen confirmarse al calcular la ganancia de tejido magro con la ecuación de Brannaman *et al.*⁽²²⁾: entre 14 y 35 kg de peso corporal y en un período de 35 días; la ganancia diaria de magro se estimó de 264 g/día, muy similar a la que fue necesaria establecer con el modelo del NRC⁽¹⁾, para igualar el comportamiento productivo y el requerimiento de LDIV obtenidos en este experimento. Por lo anterior, es aparente que la tendencia cúbica de la ecuación de predicción subestima las demandas de animales jóvenes; entonces, un modelo cuadrático podría ser más apropiado cuando se aplicara a la predicción de los requerimientos de cerdos quizá menores a 50 kg de peso, como el NRC⁽¹⁾ lo acepta. Cuando se considera la deposición de proteína, las inferencias de Schinckel *et al.*⁽²³⁾, respecto a las demandas de lisina en relación a la energía, coinciden con estas conjeturas; de hecho, la demanda de LDIV calculada en este experimento fue de aproximadamente 3.88 g/Mcal de EM, que está en el rango superior de la estimación con los datos de los autores citados.

La respuesta a los niveles de LDIV y al tipo de alojamiento entre los días 80 y 101 de vida se muestra en el Cuadro 3. Al cambiar a los niveles de 0.90 y 1.10 %, se perdieron los efectos previos del nivel de LDIV; en el promedio de los cuatro niveles de LDIV usados antes, el consumo voluntario de alimento fue de 1.86 kg cerdo⁻¹ día⁻¹ ($P > 0.20$), las ganancias diarias de peso: 1.1, 0.68; 1.2, 0.68; 1.3, 0.66 y 1.4 % de LDIV, 0.67 kg cerdo⁻¹ día⁻¹ ($P < 0.85$) y la eficiencia alimenticia ($P > 0.94$) de 0.36 kg de ganancia de peso por kilo de alimento consumido. Por lo tanto, el nivel previo de LDIV no influyó en la respuesta de los cerdos cuando se usaron niveles de LDIV de 0.90 y 1.10 % de la dieta. En cambio, el tipo de alojamiento sí afectó la respuesta productiva de los animales ($P < 0.001$): los cerdos alojados individualmente consumieron 17 % más alimento (2.0 vs 1.7 kg/d),

No signs of retarded growth were noted in the individually-housed animals due to loss of group identity, perhaps because the feeding pattern promoted animal comfort. In the collective pens, however, drops in weight gain were greater than those in feed intake, meaning the lower productivity in these conditions can be attributed to metabolism regulation induced by competition and the dominant animals' aggressive behavior⁽⁶⁾. As a whole, these depression in protein deposition and are likely manifested in a lower amino acids requirement⁽²⁷⁾. This is probably the case in the present results because the drop in weight gain was almost two times the drop in feed intake.

If the intake and productivity of the individually-housed pigs were better, and accepting the possibility of confusion due to the randomizing process, this was not reflected in a higher TIDL demand (at 0.9 %), which suggests that the amino acid levels were enough to satisfy and even exceed TIDL requirements at 0.9 % of the diet. In fact, the TIDL requirement reported for pigs in the weight range used in the present study is from 0.71 to 1.01 % of the diet^(28,29,30).

The difference between the proposed requirements may be due to variations in sex, genetic capacity, energy level and the proportion, digestibility and availability of dietary amino acids^(1,31,32). The NRC⁽¹⁾ suggests 0.82 % of the diet under the conditions and with the results in the present study, but if daily fat-free lean tissue gain in the period (42 kg average weight) is raised to 370 g/d (versus the proposed 335) the daily TIDL requirement would be 18 g (or 0.9% of the diet based on observed intake). Again, there is a discrepancy between expected fat-free lean tissue gain in the period and the study results, which confirms the need to use a quadratic model because with the cubic model average muscle weight gain for body weights between 20 and 120 kg would have been 345 g/d, far beyond the growth possibilities of this pig population.

The discrepancy in daily non-adipose tissue gain in the NRC model using younger pigs (< 35 d old) could be as high as 42 %, though during the second

ganaron 31 % más peso (0.76 vs 0.58 kg/d) y, por lo tanto, fueron 12 % más eficientes (0.38 vs 0.34 kg/d). Estos resultados no son difíciles de explicar si se considera el corto período de medición: de los 21 días del período de observación, los animales alojados colectivamente invirtieron un rango de 5 a 11 días (por la apreciación subjetiva de las actividades agonistas) en el establecimiento de los órdenes jerárquicos, lo que redujo el acceso y el tiempo en el comedero. Efectos como estos han sido descritos y explicados ampliamente^(24,25), incluso, la reducción de la productividad animal fue en este caso muy similar a la obtenida previamente⁽²⁶⁾.

Debe hacerse notar que en los animales alojados individualmente, no se observaron signos de retrasos en el crecimiento, por la pérdida de identidad de grupo, quizá porque el patrón de alimentación favoreció el confort de los cerdos. Ahora bien, ya que la depresión en la ganancia de peso fue mayor a la observada en el consumo, bien se puede atribuir la menor productividad en los corrales colectivos a los mecanismos de regulación del metabolismo inducidos por la competencia y las conductas agresivas de los cerdos dominantes⁽⁶⁾, los que en suma deprimen la deposición de proteína, y que deberían haberse manifestado en un menor requerimiento de aminoácidos⁽²⁷⁾, mismo que sugerimos porque el efecto del alojamiento fue una reducción en la ganancia diaria de peso casi dos veces más grave que la disminución en el consumo.

Si bien el consumo y la productividad de los cerdos alojados individualmente fueron mejores, aceptando la posibilidad de confusión por el proceso de aleatorización, esto no se reflejó en una demanda mayor (a 0.9 %) de LDIV. Estos resultados conducen a la inferencia de que los niveles de aminoácidos fueron suficientes para satisfacer o exceder la demanda de LDIV, desde el 0.9 % de la dieta. De hecho, el requerimiento de LDIV reportado para cerdos en el rango de peso de los usados en este experimento fue de 0.71 a 1.01 % de la dieta^(28,29,30). La amplia diferencia entre los requerimientos propuestos pueden ser debidas a las variaciones en sexo, capacidad genética, nivel de energía, y la proporción, digestibilidad y

stage this difference was unlikely more than 10 %. This suggests that the calculation error due to the cubic model application decreases as pig body weight increases (i.e. as they age). In effect, intake capacity increased and the opportunity for muscle tissue synthesis decreased, though probably not in proportion. Therefore, a drastic change in dietary TIDL concentration may be explained as a function of the change in feed intake capacity. For example, during the last 21 d of the first part of the study voluntary feed intake was about 1,400 g pig⁻¹ d⁻¹, resulting in a TIDL requirement of approximately 18 g/d. During the 21 d of the second part of the study feed intake was as high as 2,000 g pig⁻¹ d⁻¹ with the 0.9 % TIDL treatment in the individually-housed pigs, producing a similar (18 g/d) TIDL requirement estimate. Given this, a TIDL content equivalent to 0.9 % of the diet is appropriate for pigs weighing at least 35 kg and in good management and housing conditions.

The collectively housed pigs, in contrast, barely reached an intake of 1.7 kg/d and the calculated daily TIDL requirement range was from 15.3 to 18.7 g/d, meaning the requirement could have been met with 0.9 % TIDL. Like the individually-housed pigs, the collectively-housed pigs did not respond to higher TIDL density, though it was obvious that demand (g/d) was lower in the collectively-housed animals (15.3 g/d) than in the individually-housed ones (18 g/d).

Based on the above data, the TIDL requirement for pigs between 35 and 50 kg body weight in individual pens was 0.90 % or lower, which allows them to maintain the productivity levels observed in the first part of the study. Productivity was lower in the collectively-housed pigs, but apparent TIDL demand (percentage of diet) was very similar since they had lower feed intake. Nonetheless, the housing type and associated metabolic changes in each case indicate that expression of the requirement could be less than 0.9 % TIDL in the diet.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

The true ileal digestible lysine (TIDL) requirement for pigs between 45 and 80 days of age (i.e. 14 to

disponibilidad de los aminoácidos dietéticos^(1,31,32). El NRC⁽¹⁾ sugiere un 0.82 % de la dieta en las condiciones y resultados de este trabajo, pero si la ganancia diaria de magro en el periodo (peso promedio de 42 kg) se llevara a 370 g/d (*vs* los 335 supuestos), entonces la demanda diaria de LDIV sería de 18 g diarios (o del 0.9 % de la dieta, con el consumo observado). Nuevamente surge la discrepancia entre la esperanza de crecimiento magro en el periodo y los resultados obtenidos, lo que apunta a confirmar la necesidad de trabajar con un modelo cuadrático, en lugar del cúbico usado, porque el promedio de ganancia diaria de magro entre 20 y 120 kg se hubiera tenido en 345 g/día, lo que rebasa las posibilidades de crecimiento de esta población de cerdos.

Con cerdos más jóvenes (primeros 35 días), la discrepancia con el modelo del NRC⁽¹⁾ en la ganancia diaria de magro pudo ser hasta del 42 %; durante la segunda etapa, es probable que esta diferencia no fuera mayor al 10 %. Esto sugiere que el error de cálculo, por la aplicación del modelo cúbico, se va perdiendo al aumentar el peso corporal de los cerdos (a mayor edad). Lo que sucede, es que efectivamente la capacidad de consumo aumentó y la oportunidad de síntesis de tejido magro pudo decrecer, aunque no proporcionalmente. Entonces, un cambio drástico en la concentración de LDIV en la dieta puede explicarse en función del cambio en la capacidad de consumo. Por ejemplo, durante los últimos 21 días de la primera parte en este trabajo, el consumo voluntario de alimento llegó a ser alrededor de los 1,400 g cerdo⁻¹ día⁻¹, lo que resulta en una demanda de aproximadamente 18 g/d de LDIV. En los 21 días de la segunda parte, con los cerdos alojados individualmente, el consumo de alimento llegó hasta los 2,000 g cerdo⁻¹ día⁻¹, que con el aporte más bajo de LDIV (0.9 % de la dieta), se llega a una estimación similar de la demanda (*i.e.*, 18 g/d). Por lo tanto, es aparente que, para cerdos con un peso de 35 kg y en una buena situación de manejo y alojamiento, un aporte de LDIV equivalente al 0.9 % de la dieta es apropiado.

En contraste, los cerdos alojados colectivamente apenas alcanzaron un consumo de 1.7 kg/d y el rango del consumo diario calculado de LDIV llegó a ser de

35 kg body weight) is equal to 1.28 % of the diet, a daily intake of almost 13 g TIDL. For pigs between 80 and 101 d of age (*i.e.* 35 to 50 kg body weight), the TIDL requirement is equal to or less than 0.90 % of the diet. Housing and management conditions did not affect dietary lysine requirements. Pigs in collective housing conditions manifested lower feed intake, consequently lowering daily TIDL intake from 18 to 15.3 g/d. This lower daily TIDL requirement results from productivity loss due to the environmental conditions, and more specifically to a lower tissue accumulation rate.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Francisco Báez Medina and Francisco Guerrero Avendaño (ADM Biproductos, Mexico) for their critical comments and support of this study.

End of english version

15.3 a 18.7 g/d, lo que significa que el requerimiento pudo ser satisfecho con el 0.9 % de LDIV. Como en el caso de los cerdos en las corraletas individuales, no se tuvo respuesta a una mayor densidad de LDIV, pero es obvio que la demanda (en g/d) fue menor cuando los cerdos se sujetaron a las condiciones del alojamiento colectivo: 15.3 *vs* 18 g/d.

La discusión en los párrafos anteriores justifica, para cerdos entre 35 y 50 kg, el requerimiento de LDIV en 0.9 % de la dieta de animales alojados en mejores condiciones, porque su productividad se mantuvo en los niveles observados antes, la que fue mayor a la de los cerdos alojados colectivamente, pero la demanda aparente, en densidad de la dieta, es muy similar porque los animales sujetos al alojamiento colectivo consumieron una menor cantidad de alimento. Sin embargo, en ambos casos (por el tipo de alojamiento y los cambios metabólicos asociados), se tendrá que aceptar que la expresión del requerimiento pudo ser menor al 0.9 % de LDIV en la dieta.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

El requerimiento de lisina digestible ileal verdadera de cerdos entre los 45 y los 80 días de vida (14 a 35 kg de peso corporal) es igual al 1.28 % de la dieta, lo que fue un consumo diario de casi 13 g de LDIV por día. Cuando los cerdos se siguieron por 21 días más (de los 80 a los 101 días de vida), de 35 y hasta los 50 kg de peso, el requerimiento aparente de LDIV es igual o menor al 0.90 % de la dieta. Las condiciones de alojamiento y manejo no alteraron la demanda de lisina en la dieta. En el alojamiento colectivo se tuvo un menor consumo de alimento, el que redujo el aporte diario de LDIV (de 18 a 15.3 g/d); la menor demanda diaria de lisina es una consecuencia de la pérdida de productividad por los efectos del medio sobre el consumo, pero más relevantemente, por la menor tasa de acumulación de tejidos.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro reconocimiento a los MVZ Francisco Báez Medina y Francisco Guerrero Avendaño (ADM Biproductos, México), por su crítica y apoyo para la realización de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- NRC. National Research Council. The Nutrient Requirements of Swine. 8th rev. ed. Washington, DC, USA: National Academy Press; 1998.
- Nam DS, Aherne FX. The effects of lysine:energy ratio on the performance of weanling pigs. *J Anim Sci* 1994;72:1247-1256.
- Lawrence BV, Adeola O, Cline TR. Nitrogen utilization and lean growth performance of 20-50 kilogram pigs fed diets balanced for lysine: energy ratios. *J Anim Sci* 1994;72:2887-2895.
- Gaines AM, Kendall DC, Fent RW, Frank JW, Yi GF, Ratliff RW, Allee GL, Knight CD. Estimation of the ideal ratio of sulfur amino acids:lysine in diets for nursery pigs weighing 11-22 kg. *J Anim Sci* 2003;81(Suppl.1):139.
- Kendall DC, Allee GL, Gourley G, Cook DR, Ursy JL. Effects of lysine source on growth performance of 11 to 25 kg pigs. *J Anim Sci* 2003;81(Suppl 1):139.
- Moberg GP. Biological response to stress: implications for animal welfare. In: Moberg GP, Mench JA editors. The biology of animal stress. Basic principles and implications for animal welfare. 1st ed. CAB International. London, UK; 2000:1-21.
- Blecha F. Immune system response to stress. In: Moberg GP, Mench JA editors. The biology of animal stress. Basic principles and implications for animal welfare. 1st ed. CAB International. London, UK; 2000:111-121.
- Baker DH. Ideal amino acid profiles for swine and poultry and their applications in feed formulation. *Biokryowa Technical Review-9*. Chesterfield, MO: Nutri-Quest, Inc. 1997.
- Castañeda EO, Cuarón JA. Lysine to protein ratios in growing-finishing pigs. *J Anim Sci* 2001;79(Suppl 1):321.
- Tejada de Hernández I. Manual de laboratorio para el análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal. 3^a reimpresión, México: Sistema de educación continua en producción animal, AC; 1992.
- Mariscal G, Ávila E, Tejada I, Cuarón J, Vásquez C. Contenido de aminoácidos totales y digestibles verdaderos para cerdos. 1^a ed. Querétaro, México:CNIFyMA, INIFAP; 1998.
- SAS Institute Inc. SAS/STAT User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Cary, NC. SAS Institute Inc. 1989.
- McGlone JJ, Salak JL, Lumpkin EA, Nicholson RI, Gibson M, Norman RL. Shipping stress and social status effects on pig performance plasma cortisol natural killer cell activity and leukocyte numbers. *J Anim Sci* 1993;71:888-896.
- de Jonge FH, Bokkers EAM, Schouten WGP, Helmond FA. Rearing piglets in a poor environment: Developmental aspects of social stress in pigs. *Physiol Behav* 1996;60:389-396.
- Tuchscherer M, Puppe B, Tuchscherer A, Kanitz E. Effects of social status after mixing on immune, metabolic and endocrine responses in pigs. *Physiol Behav* 1998;64:353-360.
- Petherick JC, Beattie AW, Boderer DAV. The effect of group size on the performance of growing pigs. *Anim Prod* 1989;49:497-502.
- Nielsen BL, Lawrence AB, Whittemore CT. Effect of group size on feeding behavior, social behavior, and performance of growing pigs using single-space feeders. *Liv Prod Sci* 1995;44:73-85.
- Robbins KR, Norton HW, Baker DH. 1979. Estimation of nutrient requirements from growth data. *J Nutr* 109:1710-1714.
- Batschelet E. Introduction to mathematics for life scientists. 3rd ed. Springer-Verlag. Berlin, Alemania. 1979.
- Urynek W, Buraczewska L. Effect of dietary energy concentration and apparent ileal digestible lysine:metabolizable energy ration on nitrogen balance and growth performance of young pigs. *J Anim Sci* 2003;81:1227-1236.
- Steel RG, Torrie JH. Principles and Procedures of Statistics: A biometrical approach 2nd ed. New York, USA: McGraw-Hill Book Co.; 1980.
- Brannaman JL, Christian LL, Rothschild MF, Kline EA. Prediction equations for estimating lean quantity in 15- to 50-g pigs. *J Anim Sci* 1984;59:991-1001.
- Schinckel AP, Smith 2nd JW, Tokach MD, Drits SS, Einstein M, Nelssen JL, Goodband RD. Two on-farm data collection methods to determine dynamics of swine compositional growth and estimates of dietary lysine requirements. *J Anim Sci* 2002;80:1419-1432.
- Stookey JM, Gonyou HW. The effect of regrouping on behavioral and production parameters in finishing swine. *J Anim Sci* 1994;72:2802-2811.
- Gómez RS, Lewis AJ, Miller PS, Chen H-Y. Growth performance and metabolic responses of gilts penned individually or in groups of four. *J Anim Sci* 2000;78:597-603.

REQUERIMIENTOS DE LISINA DE CERDOS

26. Hernández CMG. Efectos del estrés crónico causado por la reducción del espacio disponible y/o tamaño de grupo sobre la productividad y cambios metabólicos y endócrinos de cerdos en crecimiento y finalización [tesis maestría]. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán-UNAM. 2003.
27. Chapple RP. Effects of stocking arrangement on pig performance. In: Batterham ES editor. Manipulating pig production IV Australian Pig Sci Assoc. Victoria, Australia; 1993:87-104.
28. Martínez GM, Knabe DA. Digestible lysine requirement of starter and grower pigs. *J Anim Sci* 1990;68:2748-2755.
29. Rao DS, McCracken KJ. Protein requirements of boars of high genetic potential for lean growth. *Anim Prod* 1990;51:179-189.
30. Coma J, Zimmerman DR, Carrion D. Interactive effects of feed intake and stage of growth on the lysine requirement of pigs. *J Anim Sci* 1995;73:3369-3375.
31. Campbell RG, Taverner MR, Curic DM. Effect of feeding level and dietary protein content on the growth, body composition and rate of protein deposition in pigs growing from 45 to 90 kg. *Anim Prod* 1984;38:233-240.
32. Campbell RG, Taverner MR, Curic DM. The influence of feeding level on the protein requirement of pigs between 20 and 45 kg liveweight. *Anim Prod* 1985;40:489-496

