

CONCENTRACIÓN DE UREA EN PLASMA Y RESPUESTA PRODUCTIVA DE CERDOS EN INICIACIÓN ALIMENTADOS CON DIETAS SORGO-PASTA DE SOYA BAJAS EN PROTEÍNA

PLASMA UREA CONCENTRATION AND GROWTH PERFORMANCE OF NURSERY PIGS FED SORGHUM-SOYBEAN MEAL, LOW-PROTEIN DIETS

Josué E., Trujillo-Coutiño¹, José L. Figueroa-Velasco¹, Manuel Martínez-Aispuro¹, Vicente Zamora-Zamora¹, José L. Cordero-Mora¹, Ma. Teresa Sánchez-Torres¹, Manuel Cuca-García¹ y Miguel Cervantes-Ramírez²

¹Ganadería. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (jlfigueroa@colpos.mx) ²Instituto de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Baja California, 21100. Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México.

RESUMEN

Existe poca información acerca del uso de dietas con baja proteína cruda (PC) para cerdos en iniciación. Por tanto, se realizaron dos experimentos para determinar el porcentaje mínimo de PC en dietas sorgo-pasta de soya que no afecte el comportamiento productivo, utilizando urea en plasma como indicador. En el experimento 1, los tratamientos (% PC) fueron: T1) testigo 20.5; T2) 19.0; T3) 17.5; T4) 16.0; T5) 14.5, y se aplicaron a 10 cerdas en iniciación usando un diseño cruzado con periodos de 7 d. El último día de cada periodo se obtuvo una muestra de sangre de la vena cava para determinar urea. La menor concentración de este metabolito indicó que la PC en la dieta puede reducirse hasta 16%. Mediante regresión no lineal exponencial se determinó que la PC en la dieta se puede reducir hasta 14.86% y aumentar hasta 20.12% para obtener la mínima y máxima concentración de urea en plasma. En el experimento 2, los tratamientos (%PC y Mcal EM kg⁻¹) fueron: T1) dieta estándar, 20.5 y 3.265; T2) 20.5 y 3.165; T3) 16 y 3.265; T4) 16 y 3.165; T5) 14.5 y 3.265; T6) 14.5 y 3.165, para 24 machos castrados usando un diseño en bloques completos al azar. El menor nivel de proteína redujo la urea en plasma, mientras que al reducir la energía disminuyó la grasa dorsal y aumentó la conversión alimenticia. Lo anterior indica que la urea se reduce al disminuir la PC en la dieta; que la grasa dorsal es menor al bajar la energía; y que otros factores como el peso inicial también influyen en la respuesta de los cerdos en iniciación.

Palabras clave: Cerdos iniciación, dietas con baja proteína, respuesta productiva, urea en plasma.

INTRODUCCIÓN

El porcentaje de proteína cruda (PC) de dietas maíz-pasta de soya adicionadas con aminoácidos (AA) sintéticos (lisina, treonina, metionina y triptófano), se ha reducido en 6% sin disminuir la res-

Recibido: Abril, 2006. Aprobado: Junio, 2007.
Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 41: 597-607. 2007.

ABSTRACT

There is little information on the use of low crude protein (CP) diets for nursery pigs. Therefore, two experiments were conducted to determine the minimum percentage of CP in sorghum-soybean meal diets that would not affect growth performance, using plasma urea as a marker. In experiment 1, the treatments (%CP) were: T1) control 20.5; T2) 19.0; T3) 17.5; T4) 16.0; T5) 14.5, applied to 10 nursery female pigs using a cross over design with periods of 7 d. The last day of each period, a blood sample was obtained from the cava vein to determine urea. The lowest concentration of this metabolite indicated that the CP in the diet can be reduced by as much as 16%. Using exponential non-linear regression, it was determined that the CP in the diet can be reduced by as much as 14.86% and increased by as much as 20.12% to obtain the minimum and maximum plasma urea concentration. In experiment 2, the treatments (%CP and Mcal EM kg⁻¹) were as follows: T1) standard diet, 20.5 and 3.265; T2) 20.5 and 3.165; T3) 16 and 3.265; T4) 16 and 3.165; T5) 14.5 and 3.265; T6) 14.5 and 3.165, for 24 barrows using a randomized complete blocks design. The lowest protein level reduced plasma urea, while backfat was reduced with a reduction in energy and food conversion increased. The above indicates that the urea is reduced when CP is reduced in the diet; that backfat is lower when energy is decreased; and that other factors such as initial weight also influence the performance of nursery pigs.

Key words: Nursery pigs, low protein diets, growth performance, plasma urea.

INTRODUCTION

The percentage of crude protein (CP) of maize-soybean meal with added synthetic amino acids (AA) (lysine, treonine, methionine and triptophane) has been reduced by 6% without decreasing growth performance in nursery pigs (Mavromichalis *et al.*, 1998). However, when sorghum is used instead of maize, the results are not consistent and there are few

puesta productiva de cerdos en iniciación (Mavromichalis *et al.*, 1998). Sin embargo, cuando se utiliza sorgo en lugar de maíz, los resultados no son consistentes y hay pocos estudios acerca del uso de dietas con baja proteína en cerdos durante esta etapa. Por tanto, no se ha determinado cuánto se puede reducir la proteína en la dieta usando sorgo como base de la dieta, ni su efecto en la respuesta productiva de los cerdos alimentados con estas dietas. Además, el nivel de energía metabolizable (EM) influye en la respuesta productiva de los cerdos alimentados con dietas con baja proteína, aumentando la retención de energía como tejido adiposo, lo que aumenta el grosor de la grasa dorsal y la adiposidad corporal (Kerr *et al.*, 1995).

La concentración de urea en plasma se utiliza frecuentemente como un indicador de rápida respuesta a los cambios en los niveles de PC o de AA en la dieta (Coma *et al.*, 1995). Este metabolito sanguíneo es muy sensible a estos cambios y en periodos muy cortos (días) pueden detectarse los efectos debidos a la dieta (Lewis *et al.*, 1980).

Los objetivos de esta investigación fueron: determinar el menor nivel de PC que puede proporcionarse a cerdos en iniciación usando la concentración de urea en plasma como indicador de rápida respuesta, y obtener una ecuación de regresión para determinar mejor esta variable en cerdos alimentados con dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con lisina, treonina, metionina y triptófano sintéticos. Además, evaluar la respuesta productiva, las características de la canal, y la concentración de urea en plasma de los cerdos alimentados con dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína, reduciendo la energía metabolizable de la dieta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento 1

Se usó un diseño cruzado 5×5, con cinco tratamientos y cinco periodos de 7 d cada uno. Diez cerdas híbridas (Landrace×Hampshire×Duroc) en iniciación (10.22±0.35 kg peso inicial) se dividieron en dos grupos: el primero recibió una secuencia de tratamientos asignada al azar, y el segundo la secuencia inversa para contrarrestar los posibles efectos residuales. Cada cerda se alojó en un corral individual (1.5×1.2 m) con comedero tipo tolva de una boca y bebedero de chupón. Los corrales estaban en una misma sala con capacidad para 20 corrales. El experimento se realizó en la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, en Tecámac, Estado de México, durante el verano (junio-julio; 19.8 °C temperatura promedio, 13.4 °C mínima y 26.2 °C máxima), durante 35 d. Los tratamientos (dietas) tuvieron como base sorgo-pasta de soya, cambiando la concentración de PC: T1) dieta testigo 20.5% PC (NRC, 1998); T2) 19.0% PC; T3) 17.5% PC; T4) 16.0% PC; T5) 14.5% PC (Cuadro 1). Todas las dietas se formularon con el mismo

estudios on the use of low protein diets in pigs during this stage. Therefore, it has not been determined how much of protein can be reduced in the diet using sorghum as the base of the diet, nor its effect on the growth performance of the pigs fed with these diets. In addition, the metabolizable energy (ME) level influences the growth performance of the pigs fed with low protein diets, increasing energy retention as adipose tissue, which increases the thickness of the backfat and the corporal adiposity (Kerr *et al.*, 1995).

The plasma urea concentration is frequently used as a marker of rapid response to the changes in the levels of CP or AA in the diet (Coma *et al.*, 1995). This blood metabolite is very sensitive to these changes and in very short periods (days) the effects from the diet can be detected (Lewis *et al.*, 1980).

The objectives of the present investigation were as follows: to determine the lowest level of CP that can be provided to nursery pigs using the plasma urea concentration as rapid response marker, and to obtain an regression equation to best determine this variable in pigs fed with sorghum-soybean meal diets with added synthetic lysine, treonine, methionine and tryptophane; and also to evaluate the growth performance, carcass characteristics, and the plasma urea concentration of the pigs fed with low protein sorghum-soybean meal diets, reducing the metabolizable energy of the diet.

MATERIALS AND METHODS

Experiment 1

A 5×5 cross over design was used, with five treatments and five periods of 7 d each one. Ten hybrid female (Landrace×Hampshire×Duroc) nursery pigs (10.22±0.35 kg initial weight) were divided into two groups: the first received a sequence of randomly assigned treatments, and the second received the inverse treatment sequence to counteract the possible residual effects. Each gilt was placed in an individual pen (1.5×1.2 m) with a single opening hopper type feeding trough and nipple feeders. The pens were in the same room with a capacity for 20 pens. The experiment was conducted in the Experimental Farm of the Colegio de Postgraduados, in Tecamac, State of México, during the summer (June-July; 19.8 °C average temperature, 13.4 °C minimum and 26.2 °C maximum), during 35 d. The treatments (diets) were based on sorghum-soybean meal, changing the concentration of CP: T1) control diet 20.5% CP (NRC, 1998); T2) 19.0% CP; T3) 17.5% CP; T4) 16.0% CP; T5) 14.5% CP (Table 1). All of the diets were formulated with the same level of metabolizable energy (ME; 3.265 Mcal kg⁻¹) adding corn oil when varying the amounts of sorghum and removing soybean meal from the diet to reach the predetermined protein concentration. The low-protein diets were enriched with synthetic AAs to equal the concentration of lysine, treonine, methionine and tryptophane of the control diet. The water and food were offered freely. The treatment

nivel de energía metabolizable (EM; 3.265 Mcal kg⁻¹), agregando aceite de maíz al variar las cantidades de sorgo y retirando pasta de soya en la dieta para alcanzar la concentración de proteína predeterminada. Las dietas con baja proteína fueron adicionadas con AA sintéticos para igualar la concentración de lisina, treonina, metionina y triptófano de la dieta testigo. El agua y el alimento se ofrecieron a libre acceso. Cada semana se cambió el tratamiento asignado a las cerdas, de acuerdo con el diseño experimental.

El último día de cada periodo se tomaron muestras de sangre con tubos vacutainer con heparina (BD Vacutainer, Franklin Lakes, NJ, 07417, USA), para determinar la concentración de urea según Charney y Marbach (1962). En las dietas experimentales se determinó

assigned to the pigs was changed each week, according to the experimental design.

On the last day of each period, blood samples were taken with vacutainer tubes with heparine (BD Vacutainer, Franklin Lakes, NJ, 07417 USA), to determine the urea concentration according to Charney and Marbach (1962). In the experimental diets, gross energy (GE) was determined using a Parr adiabatic calorimetric pump (Tejada, 1992), and CP by the Kjeldahl method (AOAC, 1990).

Each gilt was considered an experimental unit. The data were analyzed with PROC MIXED (SAS, 1996) for analysis of variance and of fixed effects (period, animal, CP and initial weight), using the initial weight as covariable when it was significant. The treatment

**Cuadro 1. Dietas experimentales para cerdas en iniciación (Experimento 1)[†].
Table 1. Experimental diets for female nursery pigs (Experiment 1)[†].**

Tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5	(NRC, 1998) [‡]
Proteína cruda (%)	20.50	19.00	17.50	16.00	14.50	
Ingrediente, %						
Sorgo	62.42	66.72	70.73	75.05	79.06	
Pasta de soya (44%)	33.50	28.75	24.25	19.50	15.00	
Fosfato dicálcico	1.03	1.06	1.11	1.25	1.16	
Carbonato de calcio	1.03	1.05	1.06	1.09	1.11	
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	
L-Lisina·HCl	0.05	0.21	0.37	0.53	0.69	
L-Triptófano	-	0.02	0.05	0.08	0.11	
L-Treonina	-	0.08	0.16	0.23	0.32	
DL-Metionina	-	0.06	0.10	0.15	0.20	
Premezcla vitaminas y minerales [§]	0.25	0.25	0.250	0.25	0.25	
Aceite de maíz	1.37	1.45	1.57	1.64	1.75	
Análisis calculado (%):						
Energía metabolizable Mcal kg ⁻¹	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26	3.26
Proteína cruda	20.50	19.00	17.50	16.00	14.50	20.90
Calcio	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Fósforo total	0.62	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Arginina	1.36	1.22	1.08	0.94	0.80	0.46
Histidina	0.55	0.50	0.46	0.41	0.36	0.36
Isoleucina	0.93	0.84	0.77	0.68	0.60	0.63
Leucina	1.94	1.83	1.71	1.60	1.49	1.12
Lisina	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Metionina + Cistina	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.65
Fenilalanina + Tirosina	1.88	1.72	1.57	1.42	1.27	1.27
Treonina	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Triptófano	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Valina	1.01	0.93	0.85	0.77	0.69	0.69
Análisis determinado:						
Proteína cruda (N×6.25), %	20.40	17.87	16.90	15.98	15.46	
Energía bruta, Mcal kg ⁻¹ (bomba calorimétrica)	3.90	4.04	4.09	4.09	4.02	
Costo de la dieta, USD kg ⁻¹ [‡]	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25	

[†]Base alimento, 90% materia seca. Se utilizaron cerdas con 10.22±0.35 kg de peso inicial.

[‡]Requerimientos sugeridos por el NRC (1998) para cerdas en iniciación.

[§]Proporcionó, por kg de alimento: vit. A 8,000 UI; vit. D 1,500 UI; vit. E 40 UI; vit. K 1.5 mg; ácido pantoténico 15 mg; niacina 20 mg; ácido fólico 0.6 mg; colina 200 mg; biotina 0.15 mg; tiamina 1 mg; Fe 180 mg; Zn 140 mg; Mn 50 mg; Cu 10 mg; Se 0.15 mg; I 0.9 mg; Cr 200 mg.

[‡]Costo del alimento con base al precio de los ingredientes en marzo de 2006. Conversión a dólar americano (USD) a la paridad del 11 de abril de 2006.

la energía bruta (EB) utilizando una bomba calorimétrica adiabática Parr (Tejada, 1992), y PC por el método de Kjeldahl (AOAC, 1990).

Cada cerda se consideró una unidad experimental. Los datos se analizaron con PROC MIXED (SAS, 1996) para análisis de varianza y de efectos fijos (periodo, animal, PC y peso inicial), usando el peso inicial como covariable cuando fue significativo. Los promedios de tratamiento se obtuvieron con PROC LSMEANS. Los datos también se analizaron con PROC REG para regresión lineal (modelos: lineal, cuadrático y cúbico) y polinomial (peso inicial como factor), y con PROC NLIN (regresión no lineal). Se obtuvo una ecuación de regresión para una mejor predicción de la concentración de urea en plasma en función del nivel de proteína o de otros factores (peso inicial), porque el balance de nitrógeno corporal está en función del nivel de proteína en la dieta y del peso inicial de los cerdos (Hansen y Lewis, 1993) cuando se alimentan *ad libitum*. Para el PROC NLIN se usó un modelo exponencial con el método de Gauss-Newton (Freund y Littell, 1991): $y = \beta e^{e^x} + \varepsilon$, donde, y es la concentración de urea en plasma, $\beta e^{e^x} + \varepsilon$ es una función no lineal de la urea en plasma. Esto se denomina modelo exponencial de crecimiento o de reducción, donde β representa el valor inicial de respuesta cuando no se reduce la PC (dieta testigo), y el parámetro e^x es el ritmo de crecimiento o reducción: cuando este valor es positivo indica aumento, y cuando es negativo indica reducción; ε representa el término del error, como en los modelos lineales.

Experimento 2

Se utilizaron 24 cerdos (machos castrados, 12.35 ± 0.204 kg peso inicial) híbridos (Yorkshire \times Duroc \times Pietrain); 28 d, en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial (3×2) de tratamientos (tres niveles de PC y dos de EM) y cuatro repeticiones por tratamiento (Steel *et al.*, 1997). Los cerdos se alojaron en corrales individuales (1.2×1.5 m) con piso de concreto, comedero tipo tolva y bebedero de chupón. Los corrales están en dos salas similares con capacidad para 20 corrales individuales cada una. Las dietas experimentales (Cuadro 2) tuvieron como base sorgo-pasta de soya, variando PC(%) y EM (Mcal kg^{-1}): T1) dieta testigo (NRC, 1998), 20.5 y 3.265; T2) 20.5 y 3.165; T3) 16 y 3.265; T4) 16 y 3.165; T5) 14.5 y 3.265; T6) 14.5 y 3.165. Los tres niveles de PC se obtuvieron del experimento 1: el primero corresponde a la dieta testigo; el segundo es el % PC que causó la menor concentración de urea en plasma; y el tercero es aproximado a la concentración de PC para minimizar urea en plasma (14.86%), calculado con la ecuación de predicción no lineal exponencial. Las dietas se adicionaron con L-lisina·HCl, DL-metionina, L-treonina y L-triptófano hasta igualar las concentraciones del tratamiento testigo (T1). Los niveles requeridos de energía se obtuvieron agregando aceite vegetal o arena esterilizada en cada tratamiento. El alimento y agua se proporcionaron *ad libitum*. La limpieza de corrales e inspección del estado de salud de los cerdos se realizó diariamente.

El cambio de peso de los cerdos para calcular ganancia diaria de peso (GDP), el consumo de alimento (CAL), y la conversión alimenticia (CA) se determinaron semanalmente. El día final del experimento se tomaron muestras de sangre mediante punción en la

averages were obtained with PROC LSMEANS. The data were also analyzed with PROC REG for linear regression (models: linear, quadratic and cubic) and polynomial regression (initial weight as factor), and with PROC NLIN (non-linear regression). A regression equation was obtained for a better prediction of the plasma urea concentration as a function of the protein level or other factors (initial weight), because the body nitrogen balance is a function of the protein level in the diet and of the initial weight of the pigs (Hansen and Lewis, 1993) when they are fed *ad libitum*. For the PROC NLIN, an exponential model was used with the method of Gauss-Newton (Freund and Littell, 1991): $y = \beta e^{e^x} + \varepsilon$, where y is the plasma urea concentration, $\beta e^{e^x} + \varepsilon$ is a non-linear function of the plasma urea. This is known as exponential growth model or reduction model, where β represents the initial response value when the CP is not reduced (control diet), and the parameter e^x is the rhythm of growth or reduction: when this value is positive it indicates increase, and when it is negative indicates reduction; ε represents the error, term as in the linear models.

Experiment 2

Twenty-four hybrid (Yorkshire \times Duroc \times Pietrain) pigs (barrows; 12.35 ± 0.204 kg initial weight) were used, during 28 d, in a completely random design with a factorial arrangement (3×2) of treatments (three levels of CP and two of ME) and four replicates per treatment (Steel *et al.*, 1997). The pigs were kept in individual pens (1.2×1.5 m) with concrete floor, funnel type feeding trough and nipple drinking feeder. The pens are located in two similar rooms, both with a capacity for 20 individual pens. The experimental diets (Table 2) had a sorghum-soybean meal base, varying CP(%) and ME (Mcal kg^{-1}): T1) control diet (NRC, 1998), 20.5 and 3.265; T2) 20.5 and 3.165; T3) 16 and 3.265; T4) 16 and 3.165; T5) 14.5 and 3.265; T6) 14.5 and 3.165. The three CP levels were obtained from experiment 1: the first corresponds to the control diet; the second is the %CP that caused the lowest plasma urea concentration; and the third is approximate to the CP concentration for minimizing plasma urea (14.86%), calculated with the exponential non-linear prediction equation. The diets were added with L-lysine·HCl, DL-methionine, L-treonine and L-tryptophane until equaling the concentrations of the control treatment (T1). The required energy levels were obtained by adding vegetable oil or sterilized sand in each treatment. The food and water were provided *ad libitum*. The cleaning of pens and inspection of the state of health of the pigs was carried out daily.

The change in weight of the pigs to calculate average daily gain (ADG), food intake (FI), and food conversion (FC) were determined weekly. The final day of the experiment, blood samples were taken by means of puncture of the vena cava using a vacutainer tube with heparine; the samples were placed in ice until they were centrifuged 20 min at 2500 rpm (1286 $\times g$) to separate the plasma and the blood cells. The plasma was placed in polypropylene tubes and was frozen at -20 °C until the plasma urea (UREA) determinations were made by atomic absorption spectrophotometry (Charney and Marbach, 1962).

Cuadro 2. Composición (%) de las dietas experimentales para cerdos machos castrados (Experimento 2)[†].
Table 2. Composition (%) of the experimental diets for castrated male pigs (Experiment 2)[†].

Ingrediente/tratamiento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	(NRC, 1998) [‡]
Sorgo	62.33	62.93	73.78	75.10	77.59	79.14	
Pasta de soya	33.56	33.43	20.94	20.66	16.73	16.41	
Aceite	1.38	0.00	1.60	0.00	1.68	0.00	
L-Lisina.HCl	0.08	0.08	0.51	0.51	0.65	0.66	
DL-Metionina	0.00	0.00	0.13	0.13	0.17	0.17	
L-Triptófano	0.00	0.00	0.07	0.07	0.09	0.09	
L-Treonina	0.00	0.00	0.18	0.18	0.25	0.25	
Premezcla [§]	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
Sal	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	
Arena esterilizada	0.00	0.90	0.00	0.56	0.00	0.44	
Carbonato de calcio	1.02	1.03	1.08	1.08	1.10	1.10	
Fosfato dicálcico	1.03	1.03	1.11	1.11	1.14	1.14	
Análisis calculado							
Energía metabolizable (Mcal kg ⁻¹)	3.26	3.16	3.26	3.16	3.26	3.16	3.26
Proteína cruda	20.50	20.50	16.00	16.00	14.50	14.50	20.90
Calcio	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Fósforo disponible	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32
Arginina	1.32	1.32	0.96	0.95	0.84	0.83	0.46
Histidina	0.54	0.54	0.41	0.41	0.37	0.37	0.36
Isoleucina	0.90	0.90	0.69	0.69	0.62	0.62	0.63
Leucina	1.90	1.90	1.61	1.62	1.51	1.52	1.12
Lisina	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Metionina + Cistina	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Fenilalanina + Tirosina	1.82	1.82	1.43	1.43	1.29	1.29	1.06
Treonina	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.77	0.74
Triptófano	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.21
Valina	0.98	0.98	0.77	0.77	0.70	0.70	0.79
Análisis determinado:							
Energía bruta (Mcal kg ⁻¹)	4.02	3.83	4.00	3.88	4.00	3.81	
Proteína cruda	20.81	21.57	16.78	16.22	14.95	13.82	
Costo dieta, USD kg ⁻¹ ^Φ	0.24	0.23	0.24	0.23	0.25	0.23	

[†] Base alimento, 90% materia seca. Peso inicial de los cerdos: 12.35±0.204 kg.

[‡] Sugerencia de nutrimentos para cerdos en iniciación (NRC, 1998).

[§] Cada kg de premezcla de vitaminas y minerales aportó: vit. A 8000 UI; vit. D 1500 UI; vit. E 40 UI; vit. K 1.5 mg; riboflavina 4 mg; B₁₂ 20 µg; piridoxina 2 mg; ácido pantoténico 15 mg; niacina 20 mg; ácido fólico 0.6 mg; colina 200 mg; biotina 0.15 mg; tiamina 1 mg; Fe 180 mg; Zn 140 mg; Mn 50 mg; Cu 10 mg; Se 0.15 mg; I 0.9 mg; Cr 0.2 mg.

^Φ Costo calculado con base al precio de los ingredientes, vigente en mayo-julio de 2005. Conversión a dólar americano (USD) a la paridad del 11 de abril de 2006.

vena cava utilizando un tubo vacutainer con heparina; las muestras se colocaron en hielo hasta centrifugarse 20 min a 2500 rpm (1286 xg) para separar el plasma y las células sanguíneas. El plasma se colocó en tubos de polipropileno y se congeló a -20 °C hasta realizar las determinaciones de urea en plasma (UREA) por espectrofotometría de absorción atómica (Charney y Marbach, 1962).

Los días primero y último del experimento se midió la grasa dorsal (GD) y el área del músculo longissimus (AML) usando ultrasonido de tiempo real Sonovet 600 (Medison, Inc., Cipress, California, USA). Con estos datos y los de peso inicial y final, se calculó la ganancia diaria de carne magra (GCM) y el porcentaje de carne magra (%CM) con la ecuación de NPPC (1991). En laboratorio se determinó PC por el método de Kjeldahl

On the first and last days of the experiment, backfat (BF) was measured as well as the area of the longissimus muscle (LMA) using real time ultrasound Sonovet 600 (Medison, Inc., Cipress, California, USA). These data together with initial and final weight, were used to calculate daily lean meat gain (LMG) and the percentage of lean meat (%LM) using the equation of NPPC (1991). CP was determined in the laboratory by the Kjeldahl method (AOAC, 1990); and BE in a Parr adiabatic calorimetric pump (Tejada, 1992).

The equation of the NPPC to determine LMG is:

Part 1=0.95 [3.95+(0.308*initial live weight, pounds) -(16.44* initial backfat, inches) + (4.693* initial LMA, inches²)

(AOAC, 1990) y EB en bomba calorimétrica adiabática Parr (Tejada, 1992).

La ecuación del NPPC para determinar GCM:

Parte 1 = $0.95 [3.95 + (0.308 * \text{peso vivo inicial, libras}) - (16.44 * \text{grasa dorsal inicial, pulgadas}) + (4.693 * \text{AML inicial, pulgadas}^2)]$

Parte 2 = $0.95 [3.95 + (0.308 * \text{peso vivo final, libras}) - (16.44 * \text{grasa dorsal final, pulgadas}) + (4.693 * \text{AML final, pulgadas}^2)]$

GCM, g/d = (Parte 2 - Parte 1) / días en experimento
 %CM inicial = (Parte 1 / peso vivo inicial, libras) * 100
 %CM final = (Parte 2 / peso vivo final, libras) * 100

Los datos de cada variable se analizaron estadísticamente con PROC GLM (SAS, 1996) y las medias se compararon con la prueba de Tukey (Steel *et al.*, 1997). Se usó el peso inicial como covariable, obteniendo medias con PROC LSMEANS. Los datos de ganancia diaria de peso, consumo de alimento y conversión alimenticia son mediciones semanales en las mismas unidades experimentales; por tanto, se usó PROC MIXED para analizar el efecto fijo de tratamiento, repetición y semana.

RESULTADOS

Experimento 1

Concentración de urea en plasma

Los resultados de este experimento se presentan en el Cuadro 3. La urea en plasma se redujo ($p \leq 0.05$) linealmente al disminuir la concentración de PC y todos los tratamientos fueron diferentes ($p \leq 0.05$) al testigo (T1). La menor concentración plasmática de urea se observó en la dieta con menor concentración de PC (T5), la cual fue 38% inferior ($p \leq 0.05$), respecto a la dieta testigo (10.97 vs. 17.61 mg 100 m L⁻¹).

Ecuaciones de predicción

Los valores de R² de las ecuaciones de regresión obtenidas mediante diferentes modelos (lineal, cuadrático y cúbico) son muy cercanos entre sí, pero la regresión cuadrática parece ser la más adecuada (R² = 0.62). Si se considera el menor cuadrado medio del error (CME), también la ecuación de regresión cuadrática es la más adecuada para predecir la concentración de urea en plasma porque tiene el menor CME (0.188). En este caso, la regresión cuadrática explicaría mejor la respuesta de los cerdos, ya que la concentración de urea en plasma alcanzaría un nivel bajo, y al disminuir aún más la PC volvería a aumentar.

Cuando se involucran otros factores en la ecuación de regresión (modelos polinomiales), el modelo 2 presenta

Part 2 = $0.95 [3.95 + (0.308 * \text{final live weight, pounds}) - (16.44 * \text{final backfat, inches}) + (4.693 * \text{final LMA, inches}^2)]$

LMG, g/d = (Part 2 - Part 1) / days in experiment
 % initial MC = (Part 1 / initial live weight, pounds) * 100
 % final MC = (Part 2 / final live weight, pounds) * 100

The data of each variable were analyzed statistically with PROC GLM (SAS, 1996) and means were compared with the Tukey test (Steel *et al.*, 1997). Initial weight was used as covariable, obtaining means with PROC LSMEANS. The data of daily weight gain, food intake and food conversion are weekly measurements in the same experimental units; therefore, PROC MIXED was used to analyze the fixed effect of treatment, replicate and week.

RESULTS

Experiment 1

Plasma urea concentration

The results of this experiment are shown in Table 3. The plasma urea was reduced ($p \leq 0.05$) linearly as the concentration of PC decreased, and all of the treatments were different ($p \leq 0.05$) from the control (T1). The lowest plasmatic urea concentration was observed in the diet with the lowest concentration of PC (T5), which was 38% lower ($p \leq 0.05$), with respect to the control diet (10.97 vs. 17.61 mg 100 m L⁻¹).

Prediction equations

The values of R² of the regression equations obtained through different models (linear, quadratic and cubic) are very close to one another, but the quadratic regression seems to be the most adequate (R² = 0.62). If we take into account the least mean square of the error (MSE), the quadratic regression equation is also the most adequate for predicting the plasma urea concentration, because the lowest MSE was obtained (0.188). In this case, the quadratic regression would better explain the response of the pigs, given that the plasma urea concentration would reach a low level and as the CP decreases even more, will increase again.

When other factors are involved in the regression equation (polynomial models), model 2 presents the highest R² (0.63) and the lowest MSE (0.186), and is the best equation for predicting the plasma urea concentration. However, the exponential non-linear model had the highest R² (0.98) and the CP level for lowest plasma urea concentration was 14.86%, and 20.12% for maximum plasma urea. The fixed effects test showed that the level of crude protein and the

Cuadro 3. Concentración de urea en plasma (mg 100 mL⁻¹) y ecuaciones de predicción de cerdas en iniciación alimentadas con diferentes niveles de proteína cruda (Experimento 1)[†].

Table 3. Plasma urea concentration (mg 100 mL⁻¹) and prediction equations for female nursery pigs fed with different levels of crude protein (Experiment 1)[†].

Tratamiento*	T1	T2	T3	T4	T5	EEM
PC (%) analizada	20.40	17.87	16.90	15.98	15.46	
Urea, mg 100 mL ⁻¹	17.61 a	15.03 b	14.00 bc	11.67 cd	10.97 d	0.246
Modelo	Ecuación de regresión, R ² , cuadrado medio del error, y probabilidad del factor					
Lineal	Urea=-9.657+1.357 (PC); R ² =0.61; CME=0.190; p=0.01					
Cuadrático	Urea=- 60.161 + 7.033 (PC) - 0.158 (PC ²); R ² =0.62; CME=0.188; p=0.07; p=0.14					
Cúbico	Urea=- 63.029 + 7.521 (PC) - 0.185 (PC ²) + 0.001 (PC ³); R ² =0.61; CME= 0.189; p=0.95; p=0.98; p=0.99					
Polinomial 1	Urea=- 10.409 + 1.345 (PC) + 0.064 (peso inicial, kg); R ² =0.61; CME= 0.189; p=0.01; p=0.22					
Polinomial 2	Urea=- 65.113 + 7.481 (PC, %) - 0.171 (PC ²) + 0.071 (peso inicial, kg); R ² =0.63; CME=0.186; p=0.05; p=0.11; p=0.16					
Polinomial 3	Urea=- 160.192 + 23.675 (PC) - 1.085 (PC ²) + 0.017 (PC ³) + 0.071 (peso inicial, kg); R ² =0.62; CME=0.188; p=0.86; p=0.88; p=0.90; p=0.17					
No lineal exponencial	Urea=2.875*e ^{0.09*PC} ; R ² = 0.98; CM residual=0.377; p=0.05					
Prueba efectos fijos	Fuente	GLN	GLD	F tipo III	p > F	
	Periodo	4	35	0.09	0.98	
	Proteína	4	35	27.00	0.01	
	Animal	9	35	2.74	0.02	
	Peso inicial	1	35	2.89	0.09	

[†] n = 10; cerdas con 10.22±0.35 kg de peso inicial.

a, b, c, d = medias con distinta literal son diferentes (p≤0.05).

EEM = error estándar de la media; PC = proteína cruda; CME = cuadrado medio del error; GLN = grados de libertad numerador; GLD = grados de libertad denominador.

la R² más elevada (0.63) y el menor CME (0.186), y es la mejor ecuación para predecir la concentración de urea en plasma. Sin embargo, el modelo no lineal exponencial tuvo la R² más alta (0.98) y el nivel de PC para menor concentración de urea en plasma fue 14.86%, y 20.12% para máxima urea en plasma. La prueba de efectos fijos mostró que el nivel de PC y el animal causaron este efecto significativamente. El peso inicial mostró una tendencia a ser un factor fijo en la respuesta de las cerdas (p≤0.09).

Experimento 2

No hubo diferencia (p>0.05) en GDP, CAL, ni GCM entre tratamientos, pero la CA aumentó (p≤0.05) al disminuir el nivel de energía, siendo 7.5% mayor en las dietas con 3.165 Mcal kg⁻¹ comparadas con las de 3.265 Mcal EM kg⁻¹ (Cuadro 4). Además, no hubo interacción entre los factores principales para estas variables. Aunque la reducción del aceite en las dietas con baja proteína (T2, T4, y T6) disminuye el costo del alimento, estos tratamientos no produjeron aumento de peso a menor costo (costo por kg de aumento de peso=costo del alimento×conversión alimenticia) que las dietas con nivel normal de energía (\$0.43 por kg⁻¹

animal caused this effect significantly. The initial weight showed a tendency to be a fixed factor in the response of the gilts (p≤0.09).

Experiment 2

No difference was found (p>0.05) in ADG, FI nor LMG among treatments, but the FC increased (p≤0.05) when the energy level decreased, being 7.5% higher in the diets with 3.165 Mcal kg⁻¹ compared with those of 3.265 Mcal ME kg⁻¹ (Table 4). Furthermore, there was no interaction among the principal factors for these variables. Although the reduction of the oil in the low protein diets (T2, T4 and T6) lowers the cost of the food, these treatments did not produce weight gain at a lower cost (cost per kg of weight gain = food cost×food conversion) than the diets with a normal energy level (\$0.43 per kg⁻¹ of weight gain for T2, T4, and T6, against \$0.41 with T1, and \$0.40 for T3); T5 (\$0.46) caused the highest cost per unit of weight gain.

The area of the longissimus muscle and the %LM were not different (p>0.05) among the treatments. The pigs of treatments 1 and 5 presented more DF (p≤0.05) than those fed with the other diets,

de ganancia de peso para T2, T4, y T6, contra \$0.41 con T1, y \$0.40 para T3); T5 (\$0.46), causó el mayor costo por unidad de ganancia de peso.

El área del músculo longissimus y el %CM no fueron diferentes ($p > 0.05$) entre los tratamientos. Los cerdos de los tratamientos 1 y 5 presentaron mayor GD ($p \leq 0.05$) que los alimentados con las otras dietas, aunque no hubo ($p > 0.05$) interacción entre PC y EM. El bajo nivel de EM redujo la GD ($p \leq 0.01$), ya que al disminuir 100 Kcal kg^{-1} hubo 8.6% menos grasa en los cerdos, con respecto al testigo.

La UREA en plasma fue reducida ($p \leq 0.01$) en 44 y 69%, por las dietas con 16 y 14.5% de PC, comparados con el testigo (20.5% PC). Además, T1 y T2 causaron las mayores concentraciones de UREA respecto a las dietas con baja proteína.

although there was no ($p > 0.05$) interaction between CP and ME. The low level of ME reduced the DF ($p \leq 0.05$), given that when 100 Kcal kg^{-1} is lowered, there is 8.6% less fat in the pigs, with respect to the control.

The UREA in plasma was reduced ($p \leq 0.01$) in 44 and 69%, by the diets with 16 and 14.5% of CP, compared with the control (20.5% CP). In addition, T1 and T2 caused the highest concentrations of UREA with respect to the low protein diets.

The test with PROC MIXED showed that only the time (week) had a significant fixed effect ($p \leq 0.01$) on the response of the pigs for daily weight gain, food intake, and food conversion. There were no fixed effects of the treatment nor of the interaction week-treatment ($p > 0.05$).

Cuadro 4. Comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma en cerdos en iniciación, alimentados con dietas a tres niveles de proteína y dos de energía durante 28 d (Experimento 2)[†].

Table 4. Growth performance, characteristics of the carcass and plasma urea concentration in nursery pigs, fed with diets at three levels of protein and two of energy during 28 d (Experiment 2).

TRAT	PC%	EB Mcal kg^{-1}	GDP, g d^{-1}	CAL, g d^{-1}	CA	GCM ^p , g d^{-1}	GD, cm	AML, cm^2	% CM ^φ	Urea, mg 100 mL^{-1}
1	20.81	4.02	562	960	1.71	198	0.45 a	8.63	41.10	19.97 a
2	20.57	3.83	511	953	1.87	185	0.37 bc	8.89	41.50	23.79 a
3	16.78	4.00	526	866	1.65	197	0.41 ab	8.97	41.90	10.28 b
4	16.22	3.88	488	892	1.86	173	0.36 c	8.17	41.30	14.37 ab
5	14.95	4.00	481	891	1.85	164	0.42 a	6.89	40.20	6.75 b
6	13.82	3.81	502	926	1.86	179	0.39 bc	7.83	40.70	6.94 b
EEM			30.04	0.05	0.07	12.47	0.02	0.57	0.51	2.13
Factores principales:										
20.69% PC		536	956	1.79	191	0.41	8.76	41.3	21.88 a	
16.50% PC		507	879	1.75	185	0.38	8.57	41.6	12.32 b	
14.38% PC		493	911	1.86	173	0.41	7.43	40.5	6.86 c	
4.01 Mcal EB kg^{-1}		527	907	1.73b	188	0.43a	8.28	41.1	12.84	
3.84 Mcal EB kg^{-1}		500	924	1.86a	179	0.37b	8.30	41.2	15.03	
Probabilidad del factor:										
PC		0.34	0.24	0.40	0.30	0.25	0.06	0.09	0.01	
EM		0.37	0.63	0.05	0.48	0.01	0.78	0.78	0.14	
PC×EM		0.48	0.89	0.39	0.30	0.37 [¶]	0.33	0.51	0.61	
PI						0.01 [§]				
Prueba efectos fijos		Fuente		GLN		GLD		F Tipo III		p > F
GDP		Semana		3		72		49.27		0.01
CAL		Semana		3		72		82.57		0.01
CA		Semana		3		72		15.53		0.01

a, b, c = Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal por columna son diferentes ($p \leq 0.05$).

[†] n=4 machos castrados con $12.35 \pm 0.204 \text{ kg}$. TRAT=tratamiento; PC=proteína cruda; EB=energía bruta; EEM=error estándar de la media; PI=peso inicial; GDP=ganancia diaria de peso; CAL=consumo diario de alimento; CA=conversión alimenticia; GCM=ganancia diaria de carne magra; GD=grasa dorsal; AML=área de músculo longissimus; %CM=porcentaje de carne magra; UREA=concentración de urea en plasma; GLN=grados de libertad numerador; GLD=grados de libertad denominador.

[¶] El análisis de varianza no mostró efecto significativo; sin embargo, la comparación de medias tuvo diferencias estadísticas entre tratamientos.

[§] Medias de tratamiento ajustadas usando peso inicial como covariable, por mostrar efecto estadístico ($p \leq 0.01$).

^φ Variables obtenidas con la ecuación de NPPC (1991).

La prueba con PROC MIXED mostró que sólo el tiempo (semana) tuvo un efecto fijo significativo ($p \leq 0.01$) sobre la respuesta de los cerdos para ganancia diaria de peso, consumo de alimento, y conversión alimenticia. No hubo efectos fijos del tratamiento ni de la interacción semana-tratamiento ($p > 0.05$).

DISCUSIÓN

Experimento 1

Los niveles plasmáticos de urea en plasma sugieren que en cerdos en iniciación y alimentados con dietas sorgo-pasta de soya, el nivel de proteína puede reducirse hasta 16%. Pero hay que adicionar lisina, treonina, metionina y triptófano sintéticos para igualar la concentración de estos AA con los de la dieta estándar (20.5% PC). Este resultado es comparable con el obtenido con dietas maíz-pasta de soya-suero de leche para cerdos durante la misma etapa (Mavromichalis *et al.*, 1998), y al 17% reportado por Hansen *et al.* (1993) con dietas maíz-pasta de soya, así como a lo encontrado por Brudevold y Southern (1994) con dietas sorgo-pasta de soya. Probablemente, con 16% de PC el balance entre aminoácidos es adecuado para un óptimo crecimiento de los cerdos. Sin embargo, con la ecuación de regresión no lineal exponencial se calculó que 14.87% PC minimiza la urea en plasma a un valor cercano al producido por T5 (10.97 mg 100 mL⁻¹), donde isoleucina y valina tienen un nivel menor a los requerimientos de los cerdos para máximo crecimiento (Cuadro 1) al usar sorgo-pasta de soya como ingredientes principales de la dieta. Estos resultados son diferentes a los de Kephart y Sherritt (1990) quienes usaron dietas con maíz-pasta de soya y aminoácidos sintéticos, o urea, probablemente porque el sorgo contiene otros factores antinutricionales (taninos) no presentes en el maíz, que interfieren con la digestión y la absorción de la proteína (de Blas *et al.*, 1999).

Experimento 2

Con cerdos en iniciación es posible mantener un comportamiento productivo aceptable reduciendo la PC más de 6% (de 20.69 a 14.38%) y alrededor de 100 kcal kg⁻¹ EM en dietas con base en sorgo-pasta de soya (Cuadros 2 y 4), comparadas con dietas con niveles convencionales de nutrimentos. Esto concuerda con otras investigaciones donde se redujo la proteína en 4% en dietas maíz-pasta de soya (Kerr *et al.*, 1995) o sorgo-pasta de soya (Hansen *et al.*, 1993), o reduciendo 5.5% la proteína en dietas maíz-cebada-trigo-pasta de soya sin alterar negativamente la GDP (Le Bellego *et al.*, 2001). Además, una reducción de la proteína de

DISCUSSION

Experiment 1

The plasmatic levels of plasma urea suggest that in nursery pigs fed with sorghum-soybean meal diets, the protein level can be reduced by as much as 16%. But synthetic lysine, treonine, methionine and tryptophane, must be added in order to equal the concentration of these AA with those of the standard diet (20.5% CP). This result is comparable to that obtained with maize-soybean meal-milk serum diets for pigs during the same stage (Mavromichalis *et al.*, 1998), and to the 17% reported by Hansen *et al.* (1993) with maize-soybean meal diets, as well as to what was found by Brudevold and Southern (1994) with sorghum-soybean meal diets. Probably, with 16% of CP, the balance between amino acids is adequate for an optimum growth of the pigs. However, with the exponential non-linear regression equation, it was calculated that 14.87% CP minimizes the plasma urea to a value close to that produced by T5 (10.97 mg 100 mL⁻¹), where isoleucine and valine have a lower level than the requirements of the pigs for maximum growth (Table 1) when sorghum-soybean meal are used as main ingredients in the diet. These results are different from those of Kephart and Sherritt (1990), who used diets with maize-soybean meal and synthetic amino acids, or urea, probably because the sorghum contains other anti-nutritional factors (tannins) not found in maize, which interfere with the digestion and absorption of the protein (de Blas *et al.*, 1999).

Experiment 2

With nursery pigs it is possible to maintain an acceptable growth performance by reducing the CP by more than 6% (from 20.69 to 14.38%) and approximately 100 kcal kg⁻¹ ME in diets based on sorghum-soybean meal (Tables 2 and 4), compared with diets with conventional levels of nutrients. This concurs with other investigations in which protein was reduced by 4% in maize-soybean meal diets (Kerr *et al.*, 1995) or sorghum-soybean meal (Hansen *et al.*, 1993), or by reducing the protein by 5.5% in maize-barley-wheat-soybean meal without negatively altering the ADG (Le Bellego *et al.*, 2001). Furthermore, a protein reduction of this magnitude probably helped the pigs to reduce the presence of toxic metabolites of microbial origin in their digestive tract, reducing the incidence of gastrointestinal problems (Nyachoti *et al.*, 2006). This allows the use of more nutrients in the growth of the animals and with it, a growth performance similar to that of the pigs that received the standard diet. However, Guay *et al.* (2006) indicate that the

esa magnitud, probablemente ayudó a las cerdas a reducir la presencia de metabolitos tóxicos de origen microbiano en su tubo digestivo, disminuyendo la incidencia de problemas gastrointestinales (Nyachoti *et al.*, 2006). Ésto permite usar más nutrientes en el crecimiento de los animales y, con ello, una respuesta productiva similar al de las cerdas que recibieron la dieta estándar. Sin embargo, Guay *et al.* (2006) señalan que la morfología intestinal se altera negativamente cuando los cerdos se alimentan con dietas con baja proteína, lo que conduce a una menor respuesta productiva en comparación con los cerdos alimentados con dieta estándar.

Las características de la canal no se alteraron por la interacción de los dos factores (PC; EM) o por el nivel de PC. La GD no presentó efecto de ambos factores analizados por separado, lo que indica que los dos niveles de EM utilizados en este experimento son adecuados para cerdos en esta etapa.

La UREA se redujo linealmente al disminuir la PC en las dietas, independientemente del nivel de EM. Además, es posible reducir hasta 42% la excreción de nitrógeno al reducir la proteína en 5.5%, lo cual sugiere una mejor utilización del nitrógeno en dietas bajas en proteína y con AA sintéticos (Le Bellego y Noblet, 2002).

El nivel de energía en la dieta parece afectar directamente la CA, la cual es mayor al reducir la EB en las dietas sin que influya el nivel de PC. Esto concuerda con estudios donde la GDP y la eficiencia alimenticia fueron menores al reducir la concentración de energía en la dieta de cerdos de 13 a 30 kg de peso (Nam y Aherne, 1994; Urynek y Buraczewska, 2003). Apparently, la EM recomendada por NRC (1998) para cerdos en iniciación es la necesaria para obtener buenos resultados productivos en esta etapa, aún en cerdos alimentados con dietas bajas en proteína con base en sorgo. Aunque las dietas con mayor energía tienen un costo más elevado que las menos energéticas, donde se reduce el contenido de aceite, el costo por unidad de ganancia de peso en éstas últimas fue mayor debido a la mayor conversión alimenticia de los cerdos.

CONCLUSIONES

Se puede reducir la concentración de proteína cruda hasta 6% (de 20.40 a 14.86%) en dietas para cerdos en iniciación, si se toma en cuenta la concentración de urea en plasma como criterio de respuesta. Esta reducción no afectó la respuesta productiva ni las características de la canal (con excepción de la menor grasa dorsal). La regresión no lineal exponencial predijo más adecuadamente la reducción de la urea en plasma. La disminución de 100 Kcal kg⁻¹ de energía metabolizable aumenta la conversión alimenticia y con ello el costo por kg de ganancia.

intestinal morphology is negatively altered when the pigs are fed with low protein diets, which leads to a lower growth performance with respect to the pigs fed with the standard diet.

The characteristics of the carcass were not altered by the interaction of the two factors (CP; ME) or by the CP level. The BF did not present an effect of both factors analyzed separately, which indicates that the two ME levels used in this experiment are adequate for pigs in this stage.

The UREA was linearly reduced with the reduction of CP in the diets, independently of the ME level. Furthermore, it is possible to reduce the excretion of nitrogen by as much as 42% by reducing protein by 5.5%, which suggests a better use of nitrogen in low protein diets and with the addition of synthetic AA (Le Bellego and Noblet, 2002).

The energy level in the diet seems to have a direct effect on the FC, which is higher when the BE is reduced in the diets without influencing the CP level. This concurs with studies where the ADG and feed efficiency were lower when the concentration of energy was reduced in the diet of pigs from 13 to 30 kg body weight (Nam and Aherne, 1994; Urynek and Buraczewska, 2003). Apparently, the ME recommended by NRC (1998) for nursery pigs is the necessary amount for obtaining good growth performance in this stage, even in pigs fed with low protein diets based on sorghum. Although the diets with highest energy are more costly than the less energetic diets, in which the oil content is reduced, the cost per unit of weight gain in the latter was higher due to the greater food conversion of the pigs.

CONCLUSIONS

The concentration of crude protein can be reduced by as much as 6% (from 20.40 to 14.86%) in diets for nursery pigs, if the plasma urea concentration is considered as response criterion. This reduction did not affect the growth performance or the characteristics of the carcass (except for the lower backfat). The exponential non-linear regression predicted the reduction of plasma urea more adequately. The reduction of 100 Kcal kg⁻¹ of metabolizable energy increases food conversion and the cost of gain per kg.

—End of the English version—



LITERATURA CITADA

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA. 956 p.

- de Blas, C., G. G. Mateos, y P. G. Rebollar. 1999. Normas FEDNA para la formulación de piensos compuestos. Ed. Pancosma, Madrid, España. pp: 41-44.
- Brudevold, A. B., and L. L. Southern. 1994. Low-protein, crystalline amino acid-supplemented, sorghum-soybean meal diets for the 10- to 20-kilogram pig. *J. Anim. Sci.* 72: 638-647.
- Charney, A. L., and E. P. Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8:130-132.
- Coma, J., D. Carrion, and D. R. Zimmerman. 1995. Use of plasma urea nitrogen as a rapid response criterion to determine the lysine requirement of pigs. *J. Anim. Sci.* 73: 472-481.
- Freund, R. J., and R. C. Littell. 1991. SAS System for Regression. SAS Series in Statistical Applications. 2nd ed. SAS Institute Inc., Cary, NC. 210 p.
- Guay, F., S. M. Donovan, and N. L. Trottier. 2006. Biochemical and morphological developments are partially impaired in intestinal mucosa from growing pigs fed reduced-protein diets supplemented with crystalline amino acids. *J. Anim. Sci.* 84:1749-1760.
- Hansen, B. C., and A. J. Lewis. 1993. Effects of dietary protein concentration (corn:soybean meal ratio) and body weight on nitrogen balance of growing boars, barrows and gilts: mathematical descriptions. *J. Anim. Sci.* 71:2110-2121.
- Hansen, J. A., D. A. Knabe, and K. G. Burgoon. 1993. Amino acid supplementation of low-protein sorghum-soybean meal diets for 5-to 20- kilogram swine. *J. Anim. Sci.* 71: 452-458.
- Kephart, K. B., and G. W. Sherrit. 1990. Performance and nutrient balance in growing swine fed low-protein diets supplemented with amino acids and potassium. *J. Anim. Sci.* 68:1999-2008.
- Kerr, B. J., F. K. McKeith, and R. A. Easter. 1995. Effect on performance and carcass characteristics of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 73:433-440.
- Le Bellego, L., J. van Milgen, S. Dubois, and J. Noblet. 2001. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J. Anim. Sci.* 79: 1259-1271.
- Le Bellego, L., and J. Noblet. 2002. Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets. *Livest. Prod. Sci.* 76 (1-2): 45-58.
- Lewis, A. J., E. R. Peo, Jr., B. D. Moser, and T. D. Crenshaw. 1980. Lysine requirement of pigs weighing 5 to 15 kg fed practical diets with and without added fat. *J. Anim. Sci.* 37:104-110.
- Mavromichalis, I., D. M. Webel, J. L. Emmert, R. L. Moser, and D. H. Baker. 1998. Limiting order of amino acids in a low-protein corn-soybean meal-whey-based diet for nursery pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 2833-2837.
- Nam, D. S., and F. X. Aherne. 1994. The effects of lysine:energy ratio on the performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 72: 1247-1256.
- NPPC (National Pork Producers Council). 1991. Procedures to evaluate marketing hogs. 3rd ed. Des Moines, IA, USA. 16 p.
- NRC. 1998. Nutrient Requirements of Pigs. 10th ed. National Academy Press. Washington, D.C. 189 p.
- Nyachoti, C. M., F. O. Omogbenigun, M. Rademacher, and G. Blank. 2006. Performance responses and indicators of gastrointestinal health in early-weaned pigs fed low-protein amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 84: 125-134.
- SAS (Statistical Analysis System). 1996. SAS/STAT User's Guide (Release 6.12.). SAS Institute Inc., Cary, N. C. 1028 p.
- Steel, D. R. G., J. H. Torrie, and D. A. Dickey. 1997. Principles and Procedures of Statistics: a Biomedical Approach (3rd ed.). McGraw-Hill Book Co., New York. 622 p.
- Tejada, I. 1992. Control de Calidad y Análisis de Alimentos para Animales. Edit. Sistema de Educación Continúa en Producción Animal. A. C., México. pp: 50-53.
- Urynek, W., and L. Buraczewska. 2003. Effect of dietary energy concentration and apparent ileal digestible lysine:metabolizable energy ratio on nitrogen balance and growth performance of young pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 1227-1236.