



Respuesta productiva y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína*

Growth performance and plasma urea concentration of growing pigs fed sorghum-soybean meal, low-protein diets

Manuel Martínez-Aispuro** José Luis Figueroa-Velasco** Josué Elí Trujillo-Coutiño**
Vicente Zamora-Zamora** José Luis Cordero-Mora**
María Teresa Sánchez-Torres** Lorenzo Reyna-Santamaría***

Abstract

The dietary crude protein (CP) can be reduced by four percentage units when corn-soybean meal (SBM) and crystalline amino acids (AA) are used to formulate diets for growing pigs. With sorghum the results have not been conclusive. Therefore, two experiments were conducted to determine the lowest CP value in sorghum-SBM, AA supplemented diets, using plasma urea nitrogen (PUN), growth performance, and carcass characteristics as the response criteria. In Experiment 1, the percentage of CP in the treatments was as follows: T1) 16.0, control diet; T2) 14.5; T3) 13.0; and T4) 11.5. Eight gilts were used in a cross-over design with four periods of 7 days each. Blood samples were collected the last day of the period to determine PUN. Several regression models were used to obtain the best prediction of PUN. The lowest PUN indicated that CP can be reduced from 16 to 11.5%. The best regression model was the nonlinear exponential, which can predict that the minimum plasma urea concentration is obtained with 10.48% of CP. In Experiment 2, the percentage of CP and metabolizable energy Mcal kg⁻¹ were as follows: T1) 16, 3.265, control; T2) 16, 3.165; T3) 14.5, 3.265; T4) 14.5, 3.165; T5) 11.5, 3.265; and T6) 11.5, 3.165. Thirty barrows were assigned in a completely randomized design with a 3x2 factorial arrangement, six treatments and five replicates of one barrow (individually penned) for each treatment. The lowest CP reduced the average daily gain, feed gain ratio, and PUN. The lowest ME reduced the feed gain ratio. These results indicate that reducing CP diminishes PUN, although some productive variables are affected.

Key words: GROWING PIGS, SORGHUM-SOYBEAN MEAL DIETS, LOW-PROTEIN DIETS, CRYSTALLINE AMINO ACIDS, PLASMA UREA NITROGEN.

Resumen

La proteína cruda (PC) puede reducirse cuatro unidades porcentuales cuando se utiliza maíz-pasta de soya y aminoácidos (AA) para cerdos en crecimiento. Con sorgo no se han obtenido resultados concluyentes. Por ello se realizaron dos experimentos para determinar el porcentaje mínimo de PC en dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con AA, con base en la concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento, y su respuesta productiva. En el Experimento 1, el porcentaje de PC en los tratamientos fue: T1) testigo, 16.0; T2) 14.5; T3) 13.0; y T4) 11.5. Se utilizaron ocho cerdas en un diseño cruzado (*cross-over*), con cuatro periodos de siete días. El último día de cada periodo se obtuvo sangre para determinar la concentración de urea. Se utilizaron varios modelos de regresión para obtener el que mejor predijera la concentración de urea. El menor nivel de urea indicó que la proteína puede reducirse de 16% hasta 11.5%. El mejor modelo de regresión fue el no lineal exponencial, con el que se puede predecir que la mínima concentración de urea se obtiene con 10.48% de PC. En el Experimento 2, los porcentajes de PC y las Mcal EM kg⁻¹ fueron: T1) testigo, 16, 3.265; T2) 16, 3.165; T3) 14.5, 3.265; T4) 14.5, 3.165; T5) 11.5, 3.265; y T6) 11.5, 3.165, que se proporcionaron a 30 cerdos machos castrados (cinco repeticiones por tratamiento), alojados individualmente, en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 2, con seis tratamientos y cinco repeticiones por tratamiento. La menor PC redujo la GDP, la conversión alimenticia y la urea en plasma. La menor EM redujo la conversión alimenticia. Lo anterior indica que disminuir la proteína reduce la urea en plasma, aunque se afectan algunas variables productivas.

Palabras clave: CERDOS EN CRECIMIENTO, DIETAS SORGO-PASTA DE SOYA, DIETAS CON BAJA PROTEÍNA, AMINOÁCIDOS SINTÉTICOS, UREA EN PLASMA.

Recibido el 21 de mayo de 2007 y aceptado el 13 de octubre de 2008.

*Artículo derivado de la tesis de maestría en ciencias del primer autor.

**Programa en Ganadería, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, km 36.5, Carretera México-Texcoco, 56230, Estado de México, México, tele-Fax: (55) 5804-5979.

***Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, 4000, Iguala, Guerrero, México.

Introduction

The low-protein, corn-soybean meal, amino acid-supplemented diets reduce nitrogen excretion in feces and urine of growing pigs, lowering the crude protein (CP) up to four percentage units when lysine, threonine, methionine and tryptophan are added,¹ and up to five percentage units when, besides the above mentioned amino acids (AA), also valine, isoleucine or histidine are supplemented.² However, when sorghum grain replaces corn, the results are inconsistent and not conclusive, that is the reason why there has not been determined the lowest level of CP using sorghum grain as the basis of feeding.

A negative issue of low-protein diets is the increase of pigs adiposity, showed in a thicker backfat. This is due to a higher availability of net energy because of the reduction of energy needed to metabolize the excess of AA in the standard diet;³ therefore, it is retained as adipose tissue.⁴ This result reduces the carcass quality because nowadays a leaner meat is required.

Likewise, the plasma urea nitrogen concentration is a reliable indicator of fast response to changes in the level of dietary CP and AA.⁵ This blood metabolite is very sensitive to these changes, detecting the effects of diet since the third day, constituting an excellent tool to determine the requirement of these nutrients, or the adequacy of the diet.⁶

The objectives of this research were: *a)* to determine the lowest level of crude protein for growing pigs, using the plasma urea nitrogen concentration as a rapid response criterion; *b)* to obtain the regression equation that gives the best estimation of lowest plasma urea nitrogen concentration in pigs fed sorghum-soybean, AA (lysine, threonine, methionine, and tryptophan)-supplemented diets; and *c)* to evaluate the growth performance, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration of growing pigs fed sorghum-soybean meal, AA-supplemented, low-protein diets.

Material and methods

Experiment 1

Eight crossbred (Landrace × Hampshire × Duroc) growing (27.66 × 2.18 kg) gilts were used and randomly allotted in a 4 × 4 cross-over design,⁷ with four treatments and four seven-day periods, and two groups of four gilts each. The gilts of the first group received a sequence of treatments randomly assigned, and gilts of the second group had the inverse sequence of treatments to counteract the probable residual effects.

Each gilt was placed in a single 1.5 × 1.2 m pen equipped with a single feeder* and a drinker nipple.**

Introducción

La utilización de dietas con baja proteína cruda (PC) formuladas con base en maíz-pasta de soya, adicionadas con aminoácidos (AA) sintéticos, reduce la excreción de nitrógeno en heces y orina de cerdos en crecimiento, disminuye la PC hasta en cuatro unidades porcentuales cuando se agrega lisina, treonina, metionina y triptófano,¹ y hasta en cinco puntos cuando además se agrega valina e isoleucina o histidina.² Sin embargo, cuando se utiliza sorgo en lugar de maíz, los resultados no son consistentes ni concluyentes, por lo que no se ha determinado hasta qué nivel se puede reducir la proteína en la dieta utilizando el sorgo como base de la alimentación.

Un aspecto negativo del uso de dietas con baja proteína es el aumento en la adiposidad corporal de los cerdos, ello se manifiesta en mayor grasa dorsal. Lo anterior se debe a mayor disponibilidad de energía neta al disminuir la necesidad de metabolizar los excesos de AA que se encuentran en una dieta estándar,³ por lo que se retiene en forma de grasa.⁴ Este resultado disminuye la calidad de la canal, ya que ahora se requiere carne con menor contenido de grasa.

Asimismo, la concentración de urea en plasma es un indicador confiable de rápida respuesta a los cambios en los niveles de PC y de AA en la dieta.⁵ Este metabolito sanguíneo es muy sensible a estos cambios, ya que los efectos de la dieta se detectan desde el tercer día, por lo que constituye una excelente herramienta para determinar las necesidades de estos nutrimentos, o lo adecuado de la dieta.⁶

En esta investigación se planteó como objetivos: *a)* Determinar el menor nivel de proteína cruda que se da a cerdos en crecimiento, utilizando la concentración de urea en plasma como indicador de rápida respuesta; *b)* obtener la ecuación de regresión que mejor estime esta variable cuando los cerdos son alimentados con dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con lisina, treonina, metionina y triptófano sintéticos; y *c)* evaluar la respuesta productiva, las características de la canal y la concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína, adicionadas con AA sintéticos.

Material y métodos

Experimento 1

Se utilizaron ocho cerdas híbridas (Landrace × Hampshire × Duroc) en crecimiento (27.66 ± 2.18 kg) distribuidas al azar en un diseño cruzado (*cross-over design*)⁷ 4 × 4, con cuatro tratamientos y cuatro periodos de siete días, en dos grupos de cuatro cerdas

The pens were in a room with a capacity of 20 pens. The experiment was conducted in the Experimental Farm of the Postgraduate College in Tecamac, Mexico State, during the summer (July-August), with an average environmental temperature of 21.2°C (17.5°C minimum, 24.9°C maximum), and a duration of 28 days. The treatments (diets) had a sorghum-soybean meal basis, changing the concentration of crude protein (CP) accordingly with the experimental design as follows: T1) control diet³ with 16%; T2) 14.5%; T3) 13%; and T4) 11.5% (Table 1). All diets were formulated at the same metabolizable energy (ME; 3.265 Mcal/kg), adding corn oil to reach the CP concentration predetermined. The low-protein diets were supplemented with crystalline AA (L-lysine·HCl, L-threonine, DL-methionine and L-tryptophan) to the same concentration as in control diet. Water and feed were offered ad libitum. Each week the assigned treatment was changed for each gilt accordingly to the experimental design.

The blood samples were collected the last day of each period, with heparinized Vacutainer*** tubes; the samples were maintained on ice until they were centrifuged at 1 286 g during 20 min, to separate plasma from blood cells. The supernatant was collected in polyurethane tubes and samples were kept at -20°C until the determination of urea (UREA)⁸ in the laboratory. Feed was analyzed to determine gross energy (GE) in an adiabatic calorimetric bomb⁹ and crude protein (CP) with the Kjeldahl method.¹⁰

Each gilt was considered an experimental unit. Data were analyzed with the statistical design above mentioned using the MIXED procedure of SAS¹¹ for analysis of variance, using the initial body weight as a covariate when this factor had a significant effect. The averages of treatments were obtained with the lsmeans procedure. With the MIXED procedure the fixed effects of period, gilt, crude protein, and initial body weight were determined. The data were also analyzed with the REG procedure for linear regression (linear, quadratic and cubic models) and polynomial (with the initial body weight as a cofactor), as well as the NLIN (non-linear regression) using the exponential model with the Gauss-Newton method,¹² as follows:

$$y = \beta e^{\gamma} + \epsilon$$

where:

y = plasma urea concentration,

$\beta e^{\gamma} + \epsilon$ = non-linear function of plasma urea.

This model is named "exponential model of growth or reduction", where β represents the initial value of response when CP is not reduced (control diet), and the γ parameter is the growth rate or reduction: when this value is positive indicates increase in the response,

cada uno. Las cerdas del primer grupo recibieron una secuencia de tratamientos asignada al azar, mientras que los animales del segundo grupo recibieron la secuencia inversa para contrarrestar los posibles efectos residuales.

Cada cerda se alojó en corral individual de 1.5 × 1.2 m, equipado con comedero tipo tolva* de una boca y bebedero de chupón.** Los corrales estuvieron dentro de una sala con capacidad de 20 corrales. El experimento se realizó en la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, en Tecamac, Estado de México, México, durante el verano (julio-agosto) de 2004, con temperatura promedio de 21.2°C (17.5°C mínima, 24.9°C máxima), y con duración de 28 días. Los tratamientos (dietas) tuvieron como base sorgo-pasta de soya, variando la concentración de proteína cruda (PC) de acuerdo con el diseño experimental, como sigue: T1) dieta testigo³ con 16%; T2) 14.5%; T3) 13%; y T4) 11.5% (Cuadro 1). Todas las dietas se formularon al mismo nivel de energía metabolizable (EM; 3 265 Kcal/kg), agregando aceite de maíz al variar las cantidades de sorgo y de pasta de soya en la dieta para alcanzar la concentración de proteína predeterminada. Las dietas con baja proteína fueron adicionadas con AA (L-lisina·HCl, L-treonina, DL-metionina y L-triptofano) sintéticos para igualar su concentración en 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; las muestras se colocaron en hielo hasta centrifugarse a 1 286 g durante 20 min, para separar el plasma y las células sanguíneas. El plasma se colocó en tubos de poliuretano y se congeló a -20°C hasta que se determinó urea en plasma (UREA).⁸ Las dietas experimentales se analizaron para determinar la energía bruta (EB) utilizando una bomba calorimétrica adiabática⁹ y la proteína cruda (PC) mediante el método de Kjeldahl.¹⁰

Cada cerda se consideró como unidad experimental. Los datos se analizaron de acuerdo con el diseño indicado con el procedimiento MIXED de SAS¹¹ para análisis de varianza, utilizando el peso inicial como covariable cuando este factor fue significativo. Los promedios de tratamiento se obtuvieron con el procedimiento lsmeans. Mediante MIXED se obtuvieron los efectos fijos de los factores: periodo, animal, proteína cruda y peso inicial. Los datos también se analizaron con el procedimiento REG para regresión

*Colegio de Postgraduados, México.

**SYRVET, Estados Unidos de América.

***BD Vacutainer, Franklin Lakes, Estados Unidos de América.

Cuadro 1					
DIETAS EXPERIMENTALES PARA CERDAS EN CRECIMIENTO (EXPERIMENTO 1)*					
EXPERIMENTAL DIETS FOR GROWING GILTS (EXPERIMENT 1)*					
<i>Treatment</i> <i>Crude Protein (%)</i>	<i>T1</i> <i>16.0</i>	<i>T2</i> <i>14.5</i>	<i>T3</i> <i>13.0</i>	<i>T4</i> <i>11.5</i>	<i>(NRC,</i> <i>1998)**</i>
Ingredient, %:					
Sorghum grain	76.565	80.600	84.920	88.945	
Soybean meal (44.5%)	19.750	15.250	10.500	6.000	
Dicalcium phosphate	0.700	0.725	0.760	0.800	
Calcium carbonate	1.025	1.050	1.065	1.080	
Salt	0.350	0.350	0.350	0.350	
L-Lysine-HCl	0.260	0.415	0.580	0.735	
L-Tryptophan	0.025	0.055	0.075	0.105	
L-Threonine	0.075	0.155	0.230	0.310	
DL-Methionine	0.050	0.100	0.154	0.200	
Vitamins-minerals premix ***	0.250	0.250	0.250	0.250	
Corn oil	0.950	1.050	1.125	1.225	
Calculated analysis (%):					
Metabolizable energy, Mcal kg ⁻¹	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265
Crude protein	16.0	14.5	13.0	11.5	18.0
Calcium	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Total phosphorus	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Arginine	0.95	0.82	0.68	0.54	0.37
Histidine	0.42	0.37	0.32	0.28	0.30
Isoleucine	0.69	0.62	0.53	0.45	0.51
Leucine	1.63	1.52	1.40	1.29	0.90
Lysine	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Methionine + Cystine	0.63	0.63	0.63	0.63	0.54
Phenylalanine + Tyrosine	1.44	1.29	1.14	0.99	0.87
Threonine	0.70	0.70	0.70	0.70	0.61
Tryptophan	0.23	0.23	0.23	0.23	0.17
Valine	0.78	0.70	0.62	0.54	0.64
Determined analysis (%):					
Gross energy Mcal kg ⁻¹	4.040	4.127	4.067	4.042	
Crude protein	17.94	14.61	12.14	11.45	
Cost of diet, \$ kg ⁻¹ †	2.46	2.51	2.54	2.58	

*As feed.

**Requirements suggested for growing pigs.³

***Each kg of feed supplied: 8,000 IU vit. A; 1,500 IU vit. D; 40 IU vit. E; 1.5 mg vit. K; 15 mg panthotenic acid; 20 niacin; 0.6 mg folic acid; 200 mg choline; 0.15 mg biotin; 1 mg thiamine; 180 mg Fe; 140 mg Zn; 50 mg Mn; 10 mg 0.15 mg Se; 0.9 mg I; 200 µg Cr.

†Cost of feed estimated with the price of ingredients in March of 2006

but when it is negative means reduction. The ϵ parameter represents the error term.

The experiment was conducted accordingly to the guideline for the use of animals in research both of the International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals,^{*13} and the NOM-062-ZOO-1999.¹⁴

Experiment 2

Thirty crossbred (Yorkshire $\times$ Duroc $\times$ Pietrain) growing (27 ± 0.974 kg initial body weight) barrows were used during 28 days, allotted in single 1.5×1.2 m pens equipped with a feeder and a drinker nipple. Pigs were distributed in a completely randomized design with a factorial 3×2 arrangement, with six treatments and five replicates per treatment.⁷ The analyzed factors were: crude protein and metabolizable energy. Three levels were evaluated for protein, selected from the Experiment 1: 16% CP, control diet; the level of CP where pigs showed a similar growth performance as in the control diet,¹⁵ that was 14.5%; and the diet that had the lowest plasma urea nitrogen concentration, 11.5%. For metabolizable energy (ME) two levels were considered: the standard concentration,³ 3.265 Mcal EM kg⁻¹; and 100 kcal kg⁻¹ lower. The experimental diets (Table 2) had a sorghum-soybean meal basis, changing the CP and ME as follows: T1) 16% CP and 3.265 Mcal EM kg⁻¹, control diet; T2) 16% CP and 3.165 Mcal ME kg⁻¹; T3) 14.5% CP and 3.265 Mcal ME kg⁻¹; T4) 14.5% CP and 3.165 Mcal ME kg⁻¹; T5) 11.5% CP and 3.265 Mcal ME kg⁻¹; T6) 11.5% CP and 3.165 Mcal ME kg⁻¹. The low-protein diets were supplemented with L-lysine·HCl, DL-methionine, L-threonine and L-tryptophan to the same concentrations as in the control (T1) diet. The levels of ME were obtained adding corn oil or sterilized sand in each treatment. Water and feed were offered *ad libitum*.

The average daily gain (ADG), average daily feed intake (ADFI) and feed:gain ratio (FGR) were determined for the whole experiment and weekly. The last day of the experiment, blood samples were collected from the vena cava using a heparinized Vacutainer* tube; then, the samples were put on ice until they were centrifuged at 1 286 g during 20 min, to separate plasma from the blood cells. The plasma was collected in polyurethane tubes and samples were kept at -20°C until the determination of plasma urea (UREA) nitrogen concentration by atomic absorption spectrometry was performed.⁸

The backfat thickness (BT) and the *longissimus* muscle area (LMA) at the tenth rib were measured the first and the last days of the experiment with a real time ultrasound.** These data, as well as the initial and final body weight were used to determine the

lineal (modelos: lineal, cuadrático y cúbico) y polinomial (con el peso inicial como cofactor), así como con NLIN (regresión no lineal), utilizando un modelo exponencial con el método de Gauss-Newton,¹² como sigue:

$$y = \beta e^{\gamma} + \epsilon$$

donde:

y = concentración de urea en plasma,

$\beta e^{\gamma} + \epsilon$ = función no lineal de la urea en plasma.

Este modelo se denomina modelo exponencial de crecimiento o de reducción, donde β representa el valor inicial de respuesta cuando no se reduce la proteína cruda (dieta testigo), y el parámetro γ es el ritmo de crecimiento o reducción: cuando este valor es positivo indica aumento de la respuesta, pero cuando es negativo indica reducción. El parámetro ϵ representa el término del error.

Este experimento se realizó según las normas establecidas para el uso de animales en experimentación tanto en la International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals,^{*13} como en la NOM-062-ZOO-1999.¹⁴

Experimento 2

Se utilizaron 30 cerdos (machos castrados) híbridos (Yorkshire $\times$ Duroc $\times$ Pietrain) con 27 ± 0.974 kg de peso inicial, en un periodo de 28 días, fueron alojados en corrales individuales de 1.5×1.2 m, equipados con comedero tipo tolva de una boca y bebedero de chupón. Los animales se distribuyeron en un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 3×2 , con seis tratamientos y cinco repeticiones por tratamiento.⁷ Los factores analizados fueron: para proteína cruda se evaluaron tres niveles, seleccionados del Experimento 1 (la dieta testigo, 16%; el nivel de proteína donde los cerdos presentaron respuesta productiva similar que con la dieta testigo,¹⁵ que fue 14.5%; y la dieta en la que se observó menor concentración de urea en plasma, 11.5%. El otro factor fue la energía metabolizable (EM), con dos niveles: concentración estándar,³ 3.265 Mcal EM kg⁻¹, y 100 kcal kg⁻¹ menos. Las dietas experimentales (Cuadro 2) tuvieron como base sorgo-pasta de soya, variando la PC y la EM de la siguiente manera: T1) dieta testigo, 16% PC y 3.265 Mcal EM kg⁻¹; T2) 16% PC y 3.165 Mcal EM kg⁻¹; T3) 14.5% PC y 3.265 Mcal EM kg⁻¹; T4) 14.5% PC y 3.165 Mcal EM kg⁻¹; T5) 11.5 y 3.265 Mcal EM kg⁻¹; T6) 11.5 y 3.165 Mcal EM kg⁻¹. Las dietas se adicionaron con L-lisina, DL-metionina, L-treonina y L-triptófano hasta igualar las concentraciones del tratamiento testigo (T1). Los niveles de EM se obtuvieron agregando aceite de

*National Research Council, 1998.

Cuadro 2							
COMPOSICIÓN (%) DE LAS DIETAS EXPERIMENTALES (EXPERIMENTO 2)*							
COMPOSITION (%) OF EXPERIMENTAL DIETS (EXPERIMENT 2)*							
<i>Treatment</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>T6</i>	NRC (1998)**
Sorghum grain	76.058	75.087	81.145	80.490	87.502	87.244	
Soybean meal	20.461	20.664	14.851	14.988	7.841	7.894	
Corn oil	0.880	0.000	0.981	0.000	1.107	0.000	
L-Lysine.HCl	0.261	0.256	0.450	0.447	0.687	0.685	
DL-Methionine	0.014	0.014	0.070	0.071	0.141	0.141	
L-Tryptophan	0.000	0.000	0.029	0.029	0.066	0.066	
L-Threonine	0.021	0.020	0.104	0.103	0.207	0.207	
Vitamins-Minerals Premix ***	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	0.250	
Salt	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	0.350	
Sterilized sand	0.000	1.653	0.000	1.502	0.000	1.312	
Calcium carbonate	1.023	1.022	1.048	1.047	1.079	1.078	
Dicalcium phosphate	0.683	0.684	0.722	0.723	0.771	0.771	
Calculated analysis, %:							
Metabolizable energy, Mcal kg ⁻¹	3.265	3.165	3.265	3.165	3.265	3.165	3.265
Crude protein	16.00	16.00	14.50	14.50	11.50	11.50	18
Calcium	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.6
Available phosphorus	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Arginine	0.95	0.95	0.79	0.79	0.59	0.59	0.37
Histidine	0.41	0.41	0.36	0.36	0.29	0.29	0.3
Isoleucine	0.69	0.69	0.60	0.60	0.48	0.48	0.51
Leucine	1.62	1.62	1.49	1.49	1.33	1.33	0.9
Lysine	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Methionine + Cystine	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
Phenylalanine + Tyrosine	1.43	1.43	1.25	1.25	1.03	1.03	0.87
Threonine	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
Tryptophan	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.17
Valine	0.77	0.77	0.68	0.68	0.56	0.56	0.64
Determined analysis, %:							
Gross energy, Mcal kg ⁻¹	3.979	3.896	4.022	3.844	3.902	3.851	
Crude protein	17.2	15.96	13.89	14.11	11.85	11.91	
Cost of feed, \$ kg ⁻¹ ***	2.40	2.32	2.43	2.33	2.46	2.35	

* Requirements for growing pigs.³

** Each kg of feed supplied: 8,000 IU Vit. A; 1,500 IU Vit. D; 40 IU vit. E; 1.5 mg Vit. K; 4 mg riboflavin; 20 µg Vit. B₁₂; 2 mg piridoxin; 15 mg panthotenic acid; 20 mg niacin; 0.6 mg folic acid; 200 mg choline; 0.15 mg biotin; 1 mg tiamine; 180 mg Fe; 140 mg Zn; 50 mg Mn; 10 mg Cu; 0.15 mg Se; 0.9 mg I; 0.2 mg Cr.

*** Cost of feed estimated with the price of ingredients in May-July of 2005.

fat free lean gain (FFLG) and the percentage of lean meat (PLM) with the NPPC¹⁶ equation. In addition, CP with the Kjeldahl¹⁰ method, and gross energy in an adiabatic calorimetric bomb^{***} were determined for each diet.⁹

The global data were statistically analyzed using the mentioned (completely randomized) design with PROC GLM,¹¹ and the means comparison was performed with the Tukey procedure.⁷ The initial body weight was used as a covariate, obtaining averages with lsmeans procedure. For ADG, ADFI, and FGR data, because they were repeated measures in time in the same experimental units, the PROC MIXED¹¹ was used to analyze the fixed effect of the factors under study, including time (week).

This experiment was also conducted following the specific guidelines for the use of animals in research.^{13,14}

Results

Experiment 1

Plasma urea concentration

The plasma urea concentration showed a linear trend ($P \leq 0.07$) to reduce as dietary crude protein was lowered from 16% to 11.5% (Table 3). This result indicates that the level of dietary crude protein can still be reduced to a lower level than the one used, when this metabolite is utilized to do that determination.

Regression equations

The linear models used showed an R^2 too low; in the quadratic model the highest value (0.10) was observed. However, the cubic model showed the lowest standard error of the mean (SEM; 0.103) between the linear models.

In the polynomial model 2, the highest R^2 (0.26) among these group of models is observed, although is still considered low; this model also showed the lowest SEM (0.314) among the three models of this kind used. Utilizing the non-linear exponential model increased the R^2 (0.92), indicating that this equation is the most appropriated to predict the plasma urea concentration in growing pigs. The test for fixed effects indicated that only the level of crude protein had a trend ($P \leq 0.07$) to affect the animal response. The other analyzed factors (period, animal, initial body weight) did not show significant fixed effects.

Experiment 2

The ADG was reduced ($P \leq 0.01$) when the dietary pro-

maíz o arena esterilizada en cada tratamiento. El agua y el alimento se proporcionaron *ad libitum*.

La ganancia diaria de peso (GDP), el consumo de alimento (CAL) y la conversión alimenticia (CA) se determinaron para todo el experimento y semanalmente. El día final del experimento se tomaron muestras de sangre mediante punción en la vena cava, utilizando un tubo Vacutainer* con heparina; las muestras se colocaron en hielo hasta centrifugarse a 1 286 g durante 20 min, para separar el plasma y las células sanguíneas. El plasma se colocó en tubos de poliuretano y se congeló a -20°C hasta que se hicieron las determinaciones de urea en plasma (UREA) por espectrometría de absorción atómica.⁸

El primero y el último días del experimento se midió la grasa dorsal (GD) y el área del músculo *longissimus* (AML), utilizando ultrasonido** de tiempo real a nivel de la décima costilla. Estos datos, junto con los de peso inicial y final se utilizaron para calcular la ganancia diaria de carne magra (GCM) y el porcentaje de carne magra (%CM) mediante la ecuación de NPPC.¹⁶ También se determinó PC por el método de Kjeldahl¹⁰ y energía bruta en bomba calorimétrica adiabática*** en cada dieta.⁹

Los datos globales de cada variable se analizaron estadísticamente utilizando el diseño mencionado con el PROC GLM¹¹ y la comparación de medias se realizó con el procedimiento Tukey.⁷ Se usó el peso inicial como covariable, obteniendo medias con el procedimiento lsmeans. Para los datos de GDP, CAL y CA, en virtud de que fueron mediciones repetidas en el tiempo en las mismas unidades experimentales, se utilizó PROC MIXED¹¹ para analizar el efecto fijo de los factores en estudio, incluyendo tiempo (semana).

En este experimento se siguieron las normas específicas para el uso de animales en experimentación.^{13,14}

Resultados

Experimento 1

Concentración de urea en plasma

La concentración de urea en plasma mostró tendencia lineal ($P \leq 0.07$) a disminuir en la medida en que se redujo la proteína en la dieta, desde 16% hasta 11.5% (Cuadro 3). Este resultado indica que el nivel de proteína en la dieta aún podría ser menor que el nivel más bajo utilizado aquí, cuando se usa este metabolito sanguíneo para hacer tal determinación.

*BD Vacutainer, Franklin Lakes, Estados Unidos de América.

**Sonovet 600, Medison, Inc., CYPRESS, Estados Unidos de América.

***Bomba Parr 1242, Moline, Estados Unidos de América

Cuadro 3

CONCENTRACIÓN DE UREA EN PLASMA (mg/100 mL) Y ECUACIONES DE PREDICCIÓN DE CERDAS EN CRECIMIENTO, ALIMENTADAS CON DIFERENTES NIVELES DE PROTEÍNA CRUDA
PLASMA UREA CONCENTRATION (mg/100 mL) AND PREDICTION EQUATIONS OF GROWING GILTS, FED DIFFERENT LEVELS OF CRUDE PROTEIN

<i>Treatment*</i>	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>SEM**</i>
Analized CP, %	17.94	14.61	12.14	11.45	
Urea, mg/100 mL	10.08	9.78	8.34	7.70	0.529
Model	Regression equation, R ² , Squared error of the mean and Probability of factor				
Linear	Urea = 3.513592 + 0.387354 (CP), R ² = 0.09, SEM = 0.348, P ≤ 0.05				
Quadratic	Urea = -22.885928 + 4.100275 (CP) - 0.126174 (CP ²), R ² = 0.10, SEM = 0.347, P ≤ 0.25, P ≤ 0.29				
Cubic	Urea = -46.98554 + 9.194037 (CP) - 0.479622 (CP ²) + 0.008049 (CP ³), R ² = 0.06, SEM = 0.103 P ≤ 0.91, P ≤ 0.93, P ≤ 0.95				
Polynomial 1	Urea = -1.840535 + 0.411003 (CP) + 0.152259 (initial body weight, kg), R ² = 0.25, SEM = 0.317, P ≤ 0.03, P ≤ 0.01				
Polynomial 2	Urea = -30.214091 + 4.390929 (CP, %) - 0.135236 (CP ²) + 0.154478 (initial body weight, kg), R ² = 0.26, SEM = 0.314, P ≤ 0.17, P ≤ 0.22, P ≤ 0.01				
Polynomial 3	Urea = -66.856244 + 12.135054 (CP) - 0.672583 (CP ²) + 0.012237 (CP ³) + 0.15456 (initial body weight kg), R ² = 0.23, SEM = 0.319, P ≤ 0.87, P ≤ 0.89, P ≤ 0.92, P ≤ 0.01				
No-Linear	Urea = 5.025917705 * e ^{0.040711481 * CP} R ² = 0.92, SMResidual = 0.972 P ≤ 0.05				
Exponential					
Fixed effects test	Source	NDF	DDF	F type III	P > F
	Period	3	17	2.04	0.15
	Protein	3	17	2.86	0.07
	Gilt	7	17	1.80	0.15
	Initial weight	1	17	1.28	0.27

*n = 8.

**SEM = Standard error of the mean; CP = Crude protein; SEM = Standard error of the mean; SMR = Squared mean residual; NDF = Numerator degree of freedom; DDF = Denominator degree of freedom.

tein level was lowered (Table 4): it was higher with 14.5% CP, and lower with 11.5%. The ADFI was not affected ($P > 0.05$) by dietary CP or ME, nor by their interaction. On the other hand, the FGR increased when CP ($P \leq 0.01$) or ME ($P \leq 0.01$) levels were reduced. The FFLG was reduced ($P \leq 0.01$) up to 40 g/d when dietary protein concentration was lowered; although there was no effect of the interaction between CP and ME ($P > 0.05$) on this variable.

The BT, LMA, and PLM did not show significant differences ($P > 0.05$) between treatments, although a trend ($P \leq 0.09$) to have higher LMA in pigs fed control (T1 and T4) diets and lower in T3 was observed,

Ecuaciones de predicción

Los modelos lineales utilizados presentaron una R² muy baja; en el modelo cuadrático se observó el mayor valor (0.10). Sin embargo, en el modelo cúbico se vio el menor CME (0.103) entre los modelos lineales.

En el modelo polinomial 2 se mira la mayor R² (0.26) dentro de este grupo de modelos, aunque todavía se considera baja; también este modelo presenta el menor CME (0.314) dentro de los tres modelos de este tipo que se utilizaron. El uso del modelo no lineal exponencial aumentó la R² (0.92), ello indica que esta ecuación es la idónea para predecir la concen-

when initial body weight was used as a covariate in the statistical analysis of data.

The urea was lower ($P \leq 0.01$) when the level of dietary CP was reduced, but an interaction of the analyzed factors (CP and ME) was not observed in this variable. However, the means comparison with Tukey showed that the highest value of urea corresponded to pigs fed T2, and the lowest with T6.

Discussion

Experiment 1

The linear reduction of plasma urea nitrogen concentration observed here in gilts fed sorghum-soybean meal diets supplemented with crystalline amino acids, agrees with that obtained with sorghum-soybean meal¹⁷ and corn-soybean meal diets, although it does not agree with the results of other researches.¹⁸ This may be because, when crude protein is reduced and the first four essential AA are supplemented, the excess of nitrogen is also reduced and, with that, the need of its excretion. This also may mean that the dietary protein can still be reduced up to 11.5% (T4) when sorghum-soybean meal diets are supplemented with the four crystalline amino acids available in the market, because the plasma urea was reduced without breaking the straight line, that can be confirmed with the estimation of the lowest plasma urea with the use of the non-linear regression equation, indicating that the protein can be reduced up to 10.48% to diminish this blood metabolite.

Experiment 2

The observed response in the productive variables of growing pigs indicates that it can be maintained reducing the protein by just 1.5 percentage units in sorghum-soybean meal diets, because the reduction of 4.5 percentage units negatively affected the above mentioned variables (Tables 2 and 4). This result indicates that with 14.5% of protein and the adequate addition of crystalline AA, productive results similar to the ones observed in pigs from 20 to 50 kg fed standard diet can be obtained.¹⁹ That response suggests that higher reduction in dietary protein increases the number of limiting AA,^{2,19} so, other essential (valine, isoleucine, histidine) and non-essential AA must be considered, even other nutriment.²⁰ The last contrasts with other researches indicating that the productive response is not affected when CP is reduced up to four percentage units in corn-soybean meal^{21,22} or sorghum-soybean meal diet,²³ being the opposite to the observed in this experiment, in which it was not possible to reduce more than two percentage units to maintain the FGR

tración de urea en plasma en cerdos en crecimiento. La prueba de efectos fijos indicó que sólo el nivel de proteína presentó tendencia ($P \leq 0.07$) a afectar la respuesta de los animales. Los demás factores analizados (periodo, animal, peso inicial) no mostraron efectos fijos de manera significativa.

Experimento 2

La GDP se redujo ($P \leq 0.01$) al disminuir el nivel de proteína en la dieta (Cuadro 4): fue mayor con 14.5% PC, y menor con 11.5%. El CAL no se alteró ($P > 0.05$) por la PC y la EM, ni por la interacción entre ellas. En cambio, la CA aumentó al reducir el nivel de PC ($P \leq 0.01$) o de EM ($P \leq 0.01$). La GCM se redujo ($P \leq 0.01$) hasta en 40 g/d al disminuir la concentración de proteína en la dieta; aunque no hubo efecto de la interacción de PC y EM ($P > 0.05$) para esta variable.

La grasa dorsal, el AML y el %CM no presentaron diferencias ($P > 0.05$) entre tratamientos, aunque se observó tendencia ($P \leq 0.09$) a presentar mayor AML con las dietas testigo (T1 y T4), y menor con T3, cuando se usó el peso inicial de los cerdos como covariable en el análisis estadístico.

La urea se redujo ($P \leq 0.01$) al disminuir el nivel de PC en la dieta, aunque no se observó interacción de los factores analizados ($P > 0.05$) para esta variable, pero la comparación de medias por Tukey mostró que el valor más elevado corresponde a los cerdos alimentados con T2, y la menor concentración de este metabolito se observó con T6.

Discusión

Experimento 1

La reducción lineal en la concentración de urea en plasma obtenida aquí en cerdas en crecimiento alimentadas con dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con aminoácidos sintéticos, coincide con la obtenida con dietas sorgo-pasta de soya¹⁷ y maíz-pasta de soya,¹ aunque no con lo observado en otros trabajos.¹⁸ Lo anterior se debe a que al disminuir la proteína y adicionar los primeros cuatro AA esenciales, se reduce el exceso de nitrógeno y con ello la necesidad de eliminarlo. Esto también podría indicar que la proteína puede reducirse más de 11.5% (T4) cuando las dietas sorgo-pasta de soya se adicionan con los cuatro aminoácidos sintéticos disponibles en el mercado, ya que la urea se redujo sin alcanzar a romperse la línea recta, lo que puede comprobarse con la estimación de menor urea en plasma mediante el uso de la ecuación de regresión no lineal exponencial, indicio de que la proteína puede reducirse hasta 10.48% para disminuir este metabolito sanguíneo.

Cuadro 4

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO, CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y CONCENTRACIÓN DE UREA EN PLASMA EN CERDOS MACHOS CASTRADOS EN CRECIMIENTO, ALIMENTADOS CON DIETAS CON TRES NIVELES DE PROTEÍNA Y DOS DE ENERGÍA*

GROWTH PERFORMANCE, CARCASS CHARACTERISTICS AND PLASMA UREA CONCENTRATION OF GROWING BARROWS FED DIETS WITH THREE LEVELS OF PROTEIN AND TWO LEVELS OF ENERGY*

			ADG	ADFI		FFLG	BT	LMA		Urea
TRT	CP	ME	g/d	kg/d	FGR	g/d	cm	cm ²	LM%	mg/100 mL
1	16.0	3.265	796	1.812	2.30	271	0.65	13.44	37.8	16.965 ^{ab}
2	16.0	3.165	740	1.983	2.65	251	0.63	12.83	37.5	19.431 ^a
3	14.5	3.265	819	1.951	2.38	259	0.65	12.55	36.9	13.004 ^{ab}
4	14.5	3.165	812	1.991	2.49	274	0.68	13.86	37.7	16.107 ^{ab}
5	11.5	3.265	679	1.821	2.65	213	0.68	12.89	37.5	11.771 ^{ab}
6	11.5	3.165	676	1.838	2.73	228	0.60	12.92	38.2	8.406 ^b
SEM			35.7554	0.0808	0.0797	14.5513	0.0295	0.7476	0.4682	2.1910
Main effects:										
16.0			768 ^{ab}	1.898	2.48 ^a	261 ^a	0.64	13.13	37.6	18.198 ^{ab}
14.5			815 ^a	1.971	2.43 ^a	266 ^a	0.66	13.21	37.3	14.555 ^{ab}
11.5			677 ^b	1.829	2.69 ^b	220 ^b	0.64	12.90	37.9	10.089 ^b
3.265			764	1.861	2.44 ^a	248	0.66	12.96	37.4	13.913
3.165			743	1.938	2.62 ^b	251	0.63	13.20	37.8	14.648
Probability:										
CP			0.0039	0.2481	0.0132	0.0105	0.6265	0.9116	0.5125	0.0061
ME			0.4675	0.2646	0.0138	0.7930	0.3125	0.6896	0.2719	0.6862
CP × ME			0.7177	0.6372	0.2460	0.4207	0.2630	0.4378	0.4628	0.2910
IW				0.0023**	0.0050**			0.009**		

n = 5.

^{a, b, c} Means of treatments or main factors with different superscript indicate differences ($P \leq 0.05$).

* TRT = Treatment, CP = Crude protein, ME = Metabolizable energy, SEM = Standard error of the mean, IW = Initial weight, ADG = Average daily gain, ADFI = Average daily feed intake, FGR = Feed:gain ratio, FFLG = Fat free lean gain, BT = Backfat thickness, LMA = *Longissimus* muscle area, LM% = Lean meat percentage, UREA = Plasma urea concentration.

** Means of treatment adjusted by initial weight as a covariate ($P \leq 0.01$).

at the same level considered adequate for this stage of growth. The effect of higher FGR when reducing 100 Kcal ME kg⁻¹ in the diet was different to other reports where this variable was not affected when reducing up to 200 Kcal ME kg⁻¹ in low-protein diets for barrows,²³ or when lowering from 3.30 to 3.19 Mcal kg⁻¹ of ME in diets for 30-54 kg pigs, that also did not change the productive response.²⁴ However, changing the level of dietary energy, the ADG and FGR were affected, without interaction with the level of protein (21% to 17.5%)

Experimento 2

La respuesta observada en las variables productivas de los cerdos en crecimiento indica que ésta puede mantenerse sólo al reducir la proteína en 1.5 puntos porcentuales en dietas sorgo-pasta de soya, ya que la reducción en 4.5 puntos porcentuales afectó negativamente dichas variables (Cuadros 2 y 4). Este resultado indica que con 14.5% de proteína y la adecuada adición de AA sintéticos se obtienen

in pigs from 25 to 41 kg fed corn-wheat-soybean meal diet.²²

There are data where FFLG and the lipid accretion in pigs do not change when crude protein is reduced by four percentage units²² in corn-soybean meal diets; however, this effect is different when ME is lowered in low-protein diets formulated with sorghum-soybean meal, where the FFLG trends to increase;²³ that is different that the value found in this experiment, in which the lower level of protein (11.5%) had the lowest value of FFLG compared to higher levels of protein, the same when CP is reduced by four or five percentage units,² besides that the level of energy had no influence on that variable or on the PLM. Likewise, the CP and ME did not affect the adiposity of pigs when those factors were reduced, although it has been reported that there is a higher energy accretion in lipid form with low-protein diets.^{25,26}

It is known that when reducing dietary protein the plasma urea is lowered.^{2,20,21} The reduction of urea found in this experiment indicates that the efficiency of nitrogen utilization increases when reducing dietary protein, provided the addition of crystalline amino acids to avoid the amino acid imbalances. In addition, the excretion of nitrogen in urine has a linear and positive relationship with the plasma urea nitrogen concentration in pigs fed *ad libitum*, and the reduction of dietary protein is an effective way to reduce the total excretion of urinary nitrogen; so, this is an indirect way of measuring the nitrogen utilization, as well as the amount of nitrogen wasted.²⁷

The above results indicate that, for growing pigs, the dietary protein can be reduced from 16% up to 11.5%, using sorghum-soybean meal and crystalline amino acids, if the plasma urea nitrogen concentration is used as a biological indicator of the nutritional status of the pigs; and up to 10.48% using the non-linear regression equation to predict the lowest value of urea. If the productive variables and the carcass characteristics are taken into account, the dietary crude protein can be reduced just from 16% to 14.5% without negatively affecting those variables. Likewise, the reduction of protein in diets based on sorghum-soybean meal does not produce higher adiposity in pigs. Reducing the protein more than 1.5 percentage units in growing pigs increases the FGR; reducing by 100 Kcal kg⁻¹ the metabolizable energy increases this variable in growing pigs, although it does not affect the carcass characteristics.

Referencias

1. FIGUEROA JL, LEWIS AJ, MILLER PS, FISCHER RL, GOMEZ RS, DIEDRICHSSEN RM. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-

resultados productivos similares a los observados con proteína estándar en cerdos de 20 a 50 kg.¹⁹ Esta respuesta sugiere que mayor reducción en la proteína de la dieta incrementa el número de aminoácidos limitantes,^{2,19} por lo que se deben considerar otros aminoácidos esenciales (valina, isoleucina, histidina) y no esenciales, e incluso otros nutrimentos.²⁰ Lo anterior contrasta con algunas investigaciones que indican que no se afecta la respuesta productiva al reducir la proteína hasta cuatro unidades porcentuales cuando se utiliza maíz-pasta de soya^{21,22} o sorgo-pasta de soya,²³ resultado contrario a lo observado en este experimento, en el que no fue posible reducir más de dos puntos porcentuales la PC para mantener la CA al mismo nivel considerado como adecuado para esta etapa. El efecto de mayor CA al reducir la energía en 100 Kcal EM kg⁻¹ en la dieta fue diferente a otros informes en los cuales no se alteró esta variable por reducir hasta 200 Kcal EM kg⁻¹ en DBP en machos castrados,²³ o al disminuir de 3.30 a 3.19 Mcal kg⁻¹ de EM en cerdos de 30-54 kg, en los que tampoco cambió la respuesta productiva.²⁴ Sin embargo, al variar el nivel de energía en la dieta, la GDP y la CA fueron afectadas, sin que exista interacción con el nivel de proteína empleado (21% a 17.5%) en cerdos de 25 a 41 kg alimentados con maíz-trigo-pasta de soya.²²

Existen datos de que la GCM y la acumulación de lípidos en cerdos no cambian al reducir la proteína en cuatro unidades porcentuales²² en dietas maíz-pasta de soya; sin embargo, este efecto cambia al disminuir la EM en DBP formuladas con sorgo-pasta de soya, ya que la GCM tiende a incrementarse;²³ diferente a lo encontrado en este experimento, en el que el menor nivel de proteína (11.5%) tuvo menor GCM que los niveles mayores, igual que cuando se reduce cuatro o cinco unidades porcentuales la PC,² además de que el nivel de energía no tuvo influencia sobre dicha variable o el %CM. Asimismo, la PC y la EM no afectaron el engrasamiento de los animales al reducir dichos factores, aunque se ha planteado que hay mayor retención de energía en forma de lípidos con DBP.^{25,26}

Se sabe que al disminuir la proteína en la dieta la concentración de urea se reduce.^{2,20,21} La disminución en la urea encontrada en este experimento indica que la eficiencia en la utilización de nitrógeno aumenta al reducir la proteína de la dieta, siempre que se agreguen aminoácidos sintéticos para no provocar desequilibrios entre aminoácidos. Además, la excreción de N en orina se relaciona lineal y positivamente con la concentración de urea en plasma en cerdos alimentados a libre acceso, y la reducción de proteína en la dieta es una manera efectiva para reducir la excreción total de nitrógeno urinario; por tanto, esta es una forma indirecta de medir el

- supplemented diets. *J Anim Sci* 2002; 80:2911-2919.
2. FIGUEROA JL, LEWIS AJ, MILLER PS, FISCHER RL, DIEDRICHSEN RM. Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine, and valine. *J Anim Sci* 2003; 81:1529-1537.
3. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of pigs. 10th ed. Washington (DC): National Academy Press, 1998.
4. KERR BJ, EASTER RA. Effect of feeding reduced protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in grower pigs. *J Anim Sci* 1995; 73:3000-3008.
5. BROWN JA, CLINE TR. Urea excretion in the pig: an indicator of protein quality and amino acid requirements. *J Nutr* 1973; 104:542-545.
6. LEWIS AJ, PEO JR ER, MOSER BD, CRENSHAW TD. Lysine requirement of pigs weighing 5 to 15 kg fed practical diets with and without added fat. *J Anim Sci* 1980; 37:104-110.
7. STEEL DRG, TORRIE JH, DICKEY DA. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 1997.
8. CHARNEY AL, MARBACH EP. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin Chem* 1962; 8:130-132.
9. TEJADA I. Control de calidad y análisis de alimentos para animales. México DF: Sistema de Educación Continua en Producción Animal. AC, 1992.
10. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis. 15th ed. Arlington VA: AOAC, 1990.
11. STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM. SAS/STAT User's Guide, Release 6.12. Cary NC: SAS Institute, 1996.
12. FREUND RJ, LITTELL RC. SAS System for Regression. SAS Series in Statistical Applications. 2nd ed. Cary NC: SAS Institute, 1991.
13. COUNCIL FOR INTERNATIONAL ORGANIZATIONS OF MEDICAL SCIENCES. International Guiding Principles for Biomedical Research Involving Animals. Geneva, Switzerland: CIOMS. 1986.
14. DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 2001. Norma Oficial Mexicana-NOM-062-ZOO-1999. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio. 22 de agosto de 2001.
15. TRUJILLO-COUTIÑO JE. Determinación del nivel de proteína en dietas sorgo-pasta de soya para cerdos en engorda (tesis de maestría). Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2005.
16. NATIONAL PORK PRODUCERS COUNCIL. Procedures to evaluate marketing hogs. 3rd ed. Des Moines IA: NPPC, 1991.
17. WARD TL, SOUTHERN LL. Sorghum amino acid-supplemented diets for the 50- to 100-kilogram pig. *J Anim Sci* 1995; 73:1746-1753.
18. LOPEZ J, GOODBAND RD, ALLEE GL, JESSE GW, NELSEN JL, TOKACH MD *et al.* The effects of diets formulated on an ideal protein basis on growth performance carcass characteristics, and thermal balance of finishing pigs. *J Anim Sci* 1994; 72:367-379.
19. HANSEN JA, KNABE DA, BURGOON KG. Amino acid aprovechamiento del nitrógeno, así como la cantidad de nitrógeno que se desperdicia.²⁷
- Los resultados anteriores indican que para cerdos en crecimiento se puede reducir la proteína en la dieta desde 16% hasta 11.5%, utilizando sorgo-pasta de soya y aminoácidos sintéticos, si la concentración de urea en plasma se usa como indicador biológico del estado nutricional de los cerdos; y hasta 10.48% utilizando la ecuación de predicción no lineal exponencial. Si se toman en cuenta los aspectos productivos y de la canal, sólo se puede reducir la proteína de 16% a 14.5% sin afectar negativamente estas variables. Asimismo, la reducción de proteína en las dietas con base en sorgo-pasta de soya no produce mayor engrasamiento en los cerdos. Reducir la proteína más de 1.5% en cerdos en crecimiento aumenta la conversión alimenticia; y al disminuir 100 Kcal kg⁻¹ la energía metabolizable aumenta esta variable en cerdos en crecimiento, aunque no altera las características de la canal.
- supplementation of low-protein sorghum-soybean meal diets for 20- to 50-kilogram swine. *J Anim Sci* 1993; 71:442-451.
20. GOMEZ S, LEWIS AJ, MILLER PS, CHEN HY. Growth performance, diet apparent digestibility, and plasma metabolite concentrations of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J Anim Sci* 2002b; 80:644-653.
21. KERR BJ, YEN JT, NIENABER JA, EASTER RA. Influences of dietary protein level, amino acid supplementation and environmental temperature on performance, body composition, organ weights and total heat production of growing pigs. *J Anim Sci* 2003a; 81:1998-2007.
22. KERR BJ, SOUTHERN LL, BIDNER TD, FRIESEN KG, EASTER RA. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *J Anim Sci* 2003b; 81:3075-3087.
23. FIGUEROA JL, CERVANTES M, CUCA M, MÉNDEZ M. Respuesta de cerdos en crecimiento y finalización a dietas con baja proteína y energía. *Agrociencia* 2004; 38:383-394.
24. HERR CT, KENDALL DC, BOWERS KA, RICHERT BT. Evaluating variable feed energy levels for grow-finish pigs. Swine day. Department of Animal Sciences. West Lafayette, Indiana: University of Purdue 2000.
25. LE BELLEGO L, VAN MILGEN J, DUBOIS S, NOBLET J. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J Anim Sci* 2001; 79:1259-1271.
26. GOMEZ S, LEWIS AJ, MILLER PS, CHEN HY, DIEDRICHSEN RM. Body composition and tissue accretion rates of barrows fed corn-soybean meal diets on low-protein, amino acid-supplemented diets at different feeding levels. *J Anim Sci* 2002a; 80:654-662.
27. ZERVAS S, ZIJLSTRA RT. Effects of dietary protein and oat hull fiber on nitrogen excretion patterns and postprandial plasma urea profiles in grower pigs. *J Anim Sci* 2002; 80:3238-3248.