

Metaanálisis del efecto de dietas bajas en proteína y adicionada con aminoácidos sintéticos para cerdos machos castrados en finalización

Meta-analysis of the effect of low protein diets for finishing barrows

M González^a, JL Figueroa^{a*}, H Vaquera^b, MT Sánchez-Torres^a, ME Ortega^a, JMF Copado^c, JA Martínez^a

^aPrograma de Ganadería, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México.

^bPrograma de Estadística, Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, México.

^cDepartamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

SUMMARY

A meta-analysis was carried out using individually pig data from seven experiments involving 222 hybrid finishing pigs with initial body weight of 52.69 ± 3.74 kg, individually housed, fed low-protein diets. Growth performance, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration were evaluated. An analysis of variance and regression using a response surface model with RSREG procedure of SAS (2009) were performed considering level of crude protein (CP), effect of the experiment, year, time of year, type and level food additive supplemented. Optimum levels of CP were determined (12.8, 11.3 and 9.5%) and corroborated through an additional experiment using 36 hybrid finishing pigs with 54.01 kg of initial weight, during 42 days. Average daily gain, daily feed intake, feed conversion, final weight, gain lean meat, lean meat percentage, longissimus muscle area and plasma urea nitrogen concentration were not affected ($P > 0.05$) at a concentration of 11.5% CP, however, with 9.5% PC these variables were affected ($P \leq 0.05$); backfat increased by lowering CP ($P \leq 0.05$). In the experiment to corroborate optimal levels of PC, there were no differences ($P > 0.05$) for weight gain, feed intake, final weight and gain lean to lower the PC diet to 11.5%. For backfat, longissimus muscle area and lean meat percentage there were no differences ($P > 0.05$) when decreasing prot to 12.8 9.5% PC. Plasma urea concentration was lowered ($P \leq 0.05$) to decrease the PC diet. Reducing dietary protein to 11.5% does not adversely affect the variables analysed.

Key words: Low-protein diets, meta-analysis, finishing barrows.

RESUMEN

Se realizó un metaanálisis con datos originales de siete experimentos con 222 cerdos híbridos en finalización alojados individualmente con peso vivo inicial promedio de 52.69 ± 3.74 kg, alimentados con dietas bajas en proteína. Se evaluó el comportamiento productivo, las características de la canal y la concentración de urea en plasma. Se realizó análisis de varianza y de regresión utilizando un modelo de superficie de respuesta mediante RSREG de SAS (2009), considerando nivel de proteína cruda (PC) y efecto del experimento, año, época del año, tipo y nivel del aditivo alimenticio agregado. Se determinaron los niveles óptimos de PC (12.8, 11.3 y 9.5%), corroborándolos con un experimento adicional utilizando 36 cerdos híbridos en finalización con 54.01 kg de peso inicial durante 42 días. La ganancia diaria de peso, consumo diario de alimento, conversión alimenticia, peso final, ganancia de carne magra, porcentaje de carne magra, área del músculo *longissimus* y concentración de urea en plasma, no se afectan ($P > 0.05$) con 11.5% de PC pero al disminuir la PC hasta 9.5% sí son afectadas ($P \leq 0.05$); el grosor de la grasa dorsal aumenta cuando disminuye la PC ($P \leq 0.05$). Al corroborar los niveles óptimos de PC no hubo diferencias en ganancia de peso, consumo de alimento, peso final y ganancia de carne magra ($P \leq 0.05$) al bajar la PC hasta 11.5%. Para grasa dorsal, área del músculo *longissimus* y porcentaje de carne magra no hubo diferencias ($P > 0.05$) al reducir la proteína de 12.8 hasta 9.5%. La concentración de urea en plasma se redujo ($P \leq 0.05$) al disminuir la PC de la dieta. La reducción de proteína en la dieta hasta 11.5% no afecta negativamente las variables analizadas.

Palabras clave: dietas bajas en proteína, metaanálisis, cerdos en finalización.

INTRODUCCIÓN

La reducción de la proteína cruda (PC) en la dieta (sorgo o maíz-pasta de soya), asociada con una adecuada adición de aminoácidos (AA) sintéticos, no afecta en la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia de los cerdos y favorece a la reducción en la excreción de nitrógeno fecal y urinario (Osada *et al* 2011, Shriver *et al* 2003). La adecuada adición de AA sintéticos en dietas sorgo-pasta de soya, formuladas

con un menor contenido de proteína que el recomendado por el NRC (1998), no influye negativamente en el comportamiento productivo de los cerdos (Reyes *et al* 2012, Figueroa *et al* 2012). El uso de dietas bajas en proteína adicionada con AA sintéticos tienen efectos negativos en las características de la canal porque hay una menor ganancia de carne magra y una mayor acumulación de tejido adiposo (Yue *et al* 2008, Figueroa *et al* 2012). Sin embargo, cerdos en finalización alimentados con dietas bajas en proteína y baja concentración de energía no aumentan el grosor de la grasa dorsal e incluso incrementan el AML, pero la respuesta productiva no es la óptima (Figueroa *et al* 2004). Además, al bajar el contenido de

Acceptado: 13.08.2015.

* jlfigueroa@colpos.mx

proteína en la dieta adicionando AA se reduce la excreción de nitrógeno manteniendo el comportamiento productivo (Deng *et al* 2009, Le Bellego *et al* 2001); esta práctica es una alternativa de bajo costo para controlar olores y la emisión de amoníaco en la producción porcina intensiva (Feilberg *et al* 2010, Hayes *et al* 2004). El objetivo de esta investigación fue evaluar mediante metaanálisis el efecto de dietas bajas en proteína basadas en sorgo-pasta de soya para cerdos en finalización sobre la respuesta productiva, características de la canal y concentración de urea en plasma, y determinar, mediante ecuaciones de predicción, el nivel óptimo de PC en la dieta para la mejor respuesta de las variables mencionadas.

MATERIAL Y MÉTODOS

BASE DE DATOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El conjunto de datos utilizados se derivó de una línea de investigación acerca de alimentación de cerdos con dietas bajas en proteína adicionadas con aminoácidos sintéticos bajo el concepto de cumplir la premisa de “proteína ideal” en la etapa de finalización. Los datos se encuentran publicados en revistas científicas y material no publicado (tesis de maestría) (cuadro 1). Se recopilieron de estudios realizados de 2005 a 2012. Los estudios analizados tenían en común evaluar diferentes niveles de proteína en dietas para cerdos en etapa de finalización. Los criterios que se utilizaron en este metaanálisis para el uso de los datos fueron, en primer lugar, que cada experimento debió tener más de una repetición de cada tratamiento, independiente del tamaño de la muestra. En segundo lugar tenía que haber una clara comparación de los resultados de los cerdos alimentados con una dieta con nivel de proteína estándar contra el desempeño de los cerdos alimentados con dietas que contenían nivel de proteína diferente al estándar. Y en tercer lugar el experimento tuvo que ser concurrente,

es decir, que los tratamientos de cada experimento se aplicaran al mismo tiempo.

Fue importante que cada experimento contara con el conjunto de datos individuales de cada cerdo de cada experimento para asegurar que las omisiones no introdujeran sesgo y construir una base de datos suficientemente grande que fuera insensible a las variaciones en los valores de los distintos experimentos o de la adición o eliminación de los experimentos individuales. Se contó con datos de siete experimentos con 222 cerdos con un peso vivo inicial promedio de $52,69 \pm 3,74$ kg, siendo cada cerdo la unidad experimental (cuadro 1). En cada estudio los cerdos se alojaron en corral individual de $1,5 \times 1,2$ m, equipado con comedero tipo tolva de una boca y bebedero de chupón. En todos los experimentos el agua y el alimento se ofrecieron a libre acceso. 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), consumo diario de alimento (CDA) y conversión alimenticia (CA) se obtuvo semanalmente. El último día de la fase experimental de cada trabajo (cuadro 1) se tomaron muestras de sangre mediante punción en la vena cava utilizando un tubo Vacutainer® con heparina, que se colocaron en hielo hasta centrifugarse (centrifuga SIGMA 2-16k, Germany) durante 20 min a 2.500 g para separar el plasma y las células sanguíneas. El plasma se colocó en tubos de polipropileno y se congeló a -20 °C (EUR251P7W Tappan, Electrolux Home Products North America, USA) hasta realizar las determinaciones de urea en plasma por espectrofotometría de absorción atómica (espectrofotómetro Cary 1E UV-vis, Varian, Australia; Chaney y Marbach 1962).

El día primero y último de la etapa en cada experimento se midió grasa dorsal (GD) y el área del músculo *longissimus* (AML) con un ultrasonido de tiempo real Sonovet 600 (Medison, Inc., Cypress, California, USA). Con estos datos y los de peso inicial y final se calculó la ganancia de

Cuadro 1. Resumen de los estudios utilizados para evaluar el comportamiento productivo, características de la canal y la concentración de urea en plasma en cerdos machos castrados en finalización.

Summary of the studies used to evaluate growth performance, carcass characteristics and plasma urea concentration in finishing barrows.

Estudio	Tipo de publicación	Nº de cerdos	Raza	Sexo	PV inicial	PV final	Periodo días
Martínez- Aispuro (2005)	Tesis de maestría	24	Landrace×Yorkshire×Duroc	Machos castrados	48,6	74,0	28
Reyna <i>et al</i> (2006)	Artículo	32	Yorkshire×Duroc×Pietrain	Machos castrados	50,3	91,8	42
Zamora <i>et al</i> (2010)	Artículo	32	Yorkshire×Duroc×Pietrain	Machos castrados	49,5	82,4	35
Rivera <i>et al</i> (2010)	Artículo	40	Yorkshire×Duroc×Pietrain	Machos castrados	56,5	87,4	35
Rivera <i>et al</i> (2010)	Artículo	36	Yorkshire×Duroc×Pietrain	Machos castrados	58,4	92,9	35
Reyes <i>et al</i> (2012)	Artículo	36	Landrace×Yorkshire×Duroc	Machos castrados	51,3	81,9	35
Figueroa <i>et al</i> (2012)	Artículo	36	Yorkshire×Duroc×Pietrain	Machos castrados	54,3	99,8	56

Las dietas utilizadas en todos los experimentos fueron a base de sorgo-pasta de soya.

En todos los experimentos las variables respuesta fueron: GDP, CDA, CA, PF, GCM, GD, AML, PCM y urea en plasma.

carne magra (GCM) y el porcentaje de carne magra (PCM) en la canal, con la ecuación del NPPC (1991).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para investigar el efecto de los factores sobre las variables se utilizó el siguiente modelo: $Y_{ijk} = \mu + T_i + \gamma_j + \alpha_k + b_1X_{1ijk} + b_2X_{2ijk} + b_3X_{3ijk} + \varepsilon_{ijk}$; donde μ = media general; T_i = efecto del i-ésimo experimento; γ_j = efecto de la j-ésima época del año; α_k = efecto del k-ésimo nivel de proteína cruda, $X_{1ijk} =$ peso inicial i-ésimo experimento, X_{2ijk} = ganancia diaria de peso en la j-ésima época del año, X_{3ijk} = consumo diario de alimento en el k-ésimo nivel de proteína; $b_1, b_2, b_3 =$ parámetros de las covariables de medida; ε_{ijk} = error experimental asociado con cada medición. Del análisis de varianza se obtuvieron los promedios del comportamiento productivo, dentro de las cuales se consideró CDA, GDP, CA, GCM y PF; y en las características de la canal se contempló: GD, PCM, AML; y la concentración de urea en plasma.

Posteriormente se realizó un análisis de regresión lineal y cuadrática usando un modelo de superficie de respuesta con el comando RSREG de SAS (2009): técnica de optimización basada en planeamientos factoriales para obtener el nivel de proteína para las diferentes variables productivas, características de la canal y concentración de urea en plasma. El modelo de regresión de superficie de respuesta que se utilizó fue: $Y_i = \beta_0 + \beta_1X_i + \beta_2X_i^2 + \varepsilon_i$; donde Y_i = variable dependiente, β_0 a β_2 = coeficientes estimados, X_i = nivel de PC.

EXPERIMENTO PARA CORROBORAR EL METAANÁLISIS

Una vez que se analizaron los datos de los experimentos con el metaanálisis se prosiguió a montar un experimento para corroborar los resultados de las regresiones, de donde se obtuvo el nivel de proteína cruda óptimo para cada variable productiva, características de la canal y concentración de urea en plasma. Los niveles de proteína utilizados en el experimento de corroboración fueron los de las variables que presentaron mayores valores de R^2 en el modelo de regresión a GDP y CDA (12,8 y 11,3%). Adicionalmente se formuló una tercera dieta con 9,5% de PC, valor que consistentemente había producido buenos resultados productivos en los experimentos utilizados en el metaanálisis.

El experimento se efectuó en la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados, en el Campus Montecillo, Texcoco, estado de México, localizada a 98° 48' 27" O y a 19° 48' 23" N y una altitud de 2.241 m, con clima templado subhúmedo con lluvias en verano, temperatura media anual de 15,2 °C y precipitación media anual de 644,8 mm (García 1988). Se utilizaron 18 cerdos machos castrados y 18 hembras (Yorkshire×Duroc×Pietrain) en la etapa de finalización durante 42 días, con un peso promedio de 54,01 kg; el diseño experimental fue completamente al

azar, para evaluar tres concentraciones de PC, con doce repeticiones por tratamiento.

Las dietas (cuadro 3) se formularon basadas en sorgo-pasta de soya adicionadas con L- Lisina·HCl, L-treonina, DL-metionina y L-triptófano sintéticos, agregados hasta alcanzar los requerimientos nutricionales de aminoácidos digestibles para la etapa de finalización (NRC 1998), bajo la premisa de proteína ideal. Los cerdos recibieron las mismas condiciones de alojamiento y manejo que en los experimentos utilizados en el metaanálisis, y las variables analizadas (GDP, CDA, CA, PF, GCM, GD, AML, PCM y urea en plasma) se midieron de igual manera.

RESULTADOS

METAANÁLISIS

Los resultados del metaanálisis para las variables productivas (figura 1) mostraron que dietas con baja proteína en la etapa de finalización, para GDP, disminuyó la respuesta al bajar el nivel de proteína en la dieta de 14,1 a 9,5% (0,954 kg d⁻¹ a 0,824 kg d⁻¹ P ≤ 0,05). Para CDA, el mayor consumo (P ≤ 0,05) se encontró con 14% (3,191 kg d⁻¹) y el menor utilizando 10,1% (2,613 kg d⁻¹) de PC; mientras que CA fue mejor (P ≤ 0,05) cuando el nivel fue 12,5% en comparación con 9,5% (2,811 vs. 3,35), pero 10,1, 14 y 14,1% PC fueron similares (P > 0,05). En el PF (figura 3) se observó que al utilizar 10,1, 11,8 y 14% de PC en la dieta hay diferencias (P ≤ 0,05; 84,41, 100,32 y 88,59 kg) entre ellos; pero con 9,5, 12,1 y 14,1% no hubo diferencias (P > 0,05; 86,02, 86,88 y 85,89 kg). Para GCM no hubo diferencias (P > 0,05) cuando se utilizaron 9,5, 12,5 y 14% PC (0,37, 0,39 y 0,37 kg d⁻¹), pero sí (P ≤ 0,05) cuando se disminuyó de 12,5 a 11,8% PC (0,39 a 0,31 kg d⁻¹). Para GD se encontraron diferencias (P ≤ 0,005) cuando se utilizaron diferentes niveles de 9,5 a 14,1% PC (figura 2). En el caso de PCM (figura 3), cuando se incluyó 11,8% PC se observó mayor (38,48%) porcentaje (P ≤ 0,05), pero los valores fueron similares (P > 0,05) con 9,5, 10,1, 12,1 y 14,1% (37,73, 37,52, 37,45 y 37,41%). En el AML, los valores fueron significativamente diferentes (P ≤ 0,05) con 12,1, 12,5 y 14% (29,84, 23,92 y 28,23 cm²) pero similares con 9,5, 10,1 y 11,8% PC (P > 0,05; 26,43, 26,03 y 26,97 cm²). La concentración de urea en plasma (figura 4) disminuyó (P ≤ 0,05) de 15,72 a 2,51 mg dL⁻¹, al reducir la PC de la dieta de 12,5 a 9,5%.

ECUACIONES DE PREDICCIÓN

Los valores de R^2 de las ecuaciones de predicción obtenidas mediante el modelo de regresión cuadrática indican que la ecuación muestra un ajuste aceptable para modelar la respuesta productiva, características de la canal y concentración de urea en plasma. Las variables respuesta que presentaron los mayores valores de R^2 fueron urea, GDP, CDA y AML, con 12,7, 12,8, 11,3 y 11,4% de PC;

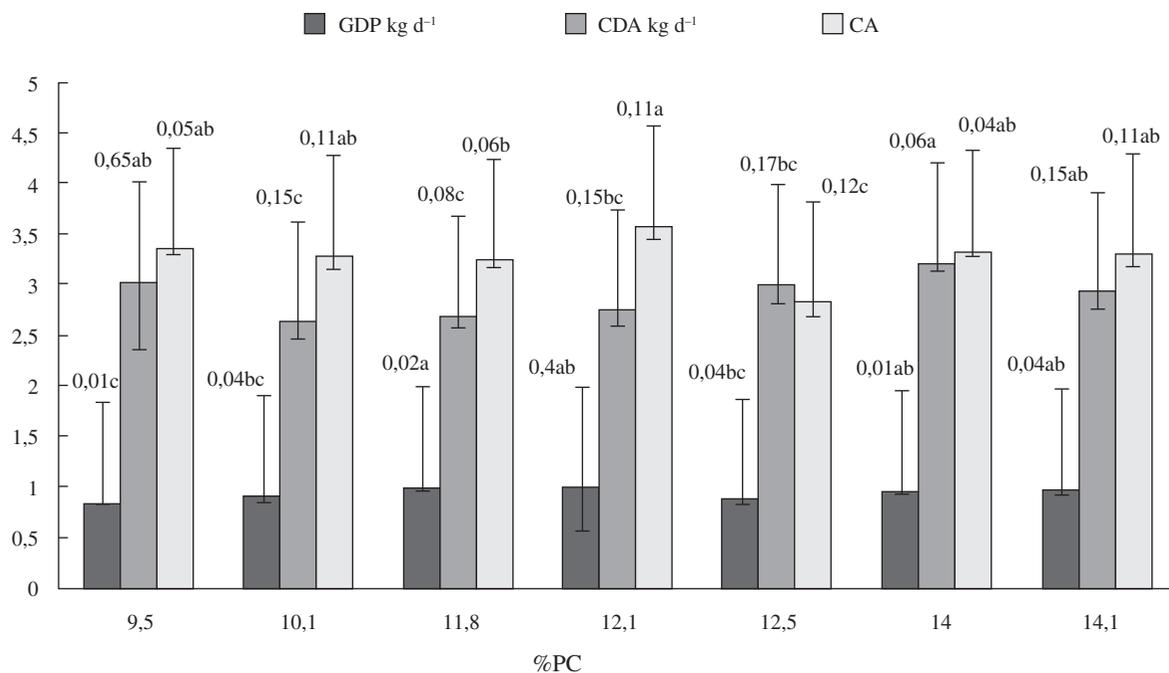


Figura 1. Metaanálisis del efecto del nivel de PC en dietas para cerdos machos castrados en finalización sobre las variables ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario de alimento (CDA) y conversión alimenticia (CA).

Meta-analysis of the effect of the crude protein level in diets for finishing barrows on average daily gain, average daily feed intake and feed:gain ratio.

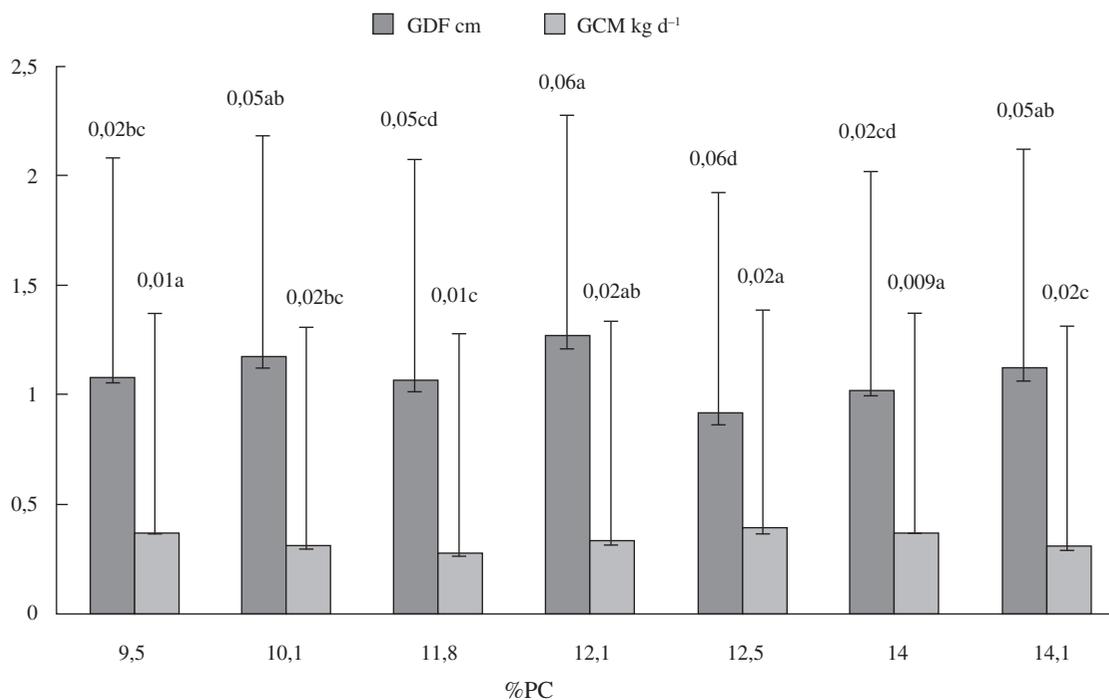


Figura 2. Metaanálisis del efecto del nivel de PC en dietas para cerdos machos castrados en finalización sobre las variables grasa dorsal final (GDF) y ganancia de carne magra (GCM).

Meta-analysis of the effect of crude protein level in diets for finishing barrows on the backfat thickness and the fat free lean gain.

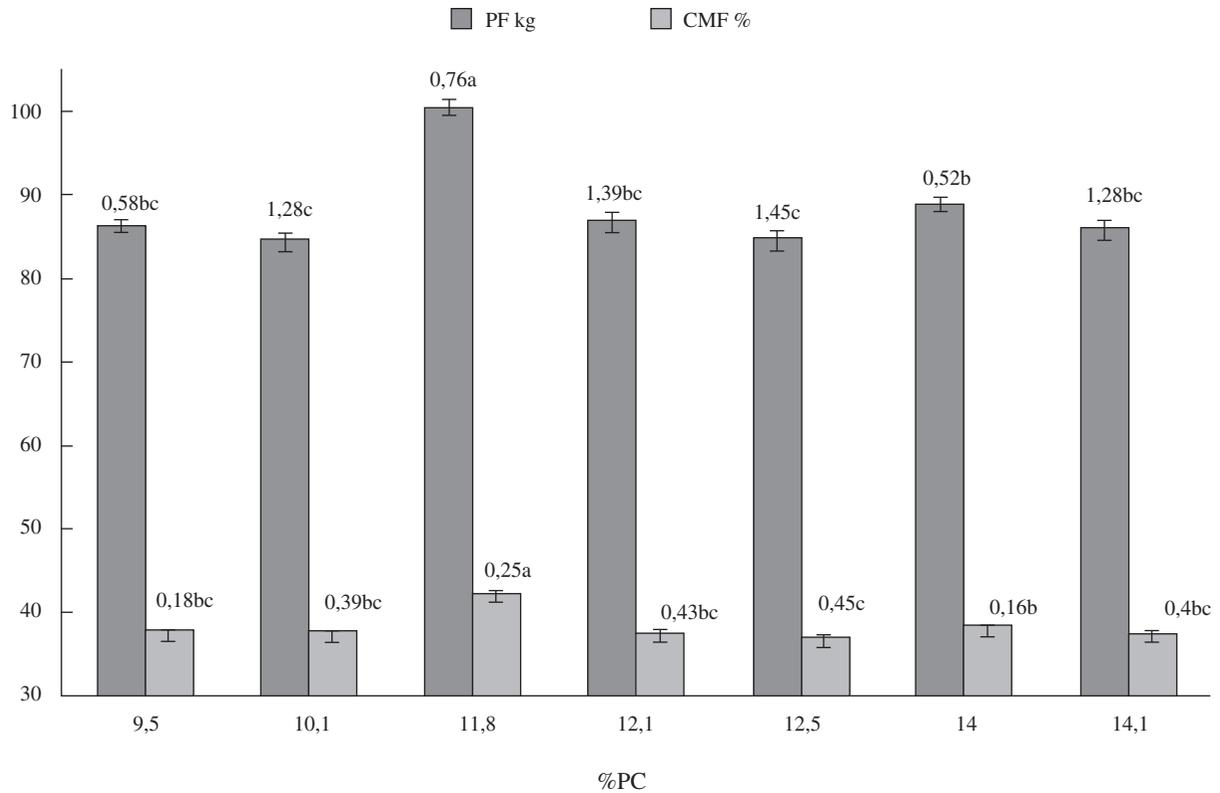


Figura 3. Metaanálisis del efecto del nivel de PC en la dieta de cerdos machos castrados en finalización sobre las variables porcentaje de carne magra final (%CMF) y peso final (PF).

Meta-analysis of the effect of crude protein level in the diet of finishing barrows on lean meat percentage and final body weight.

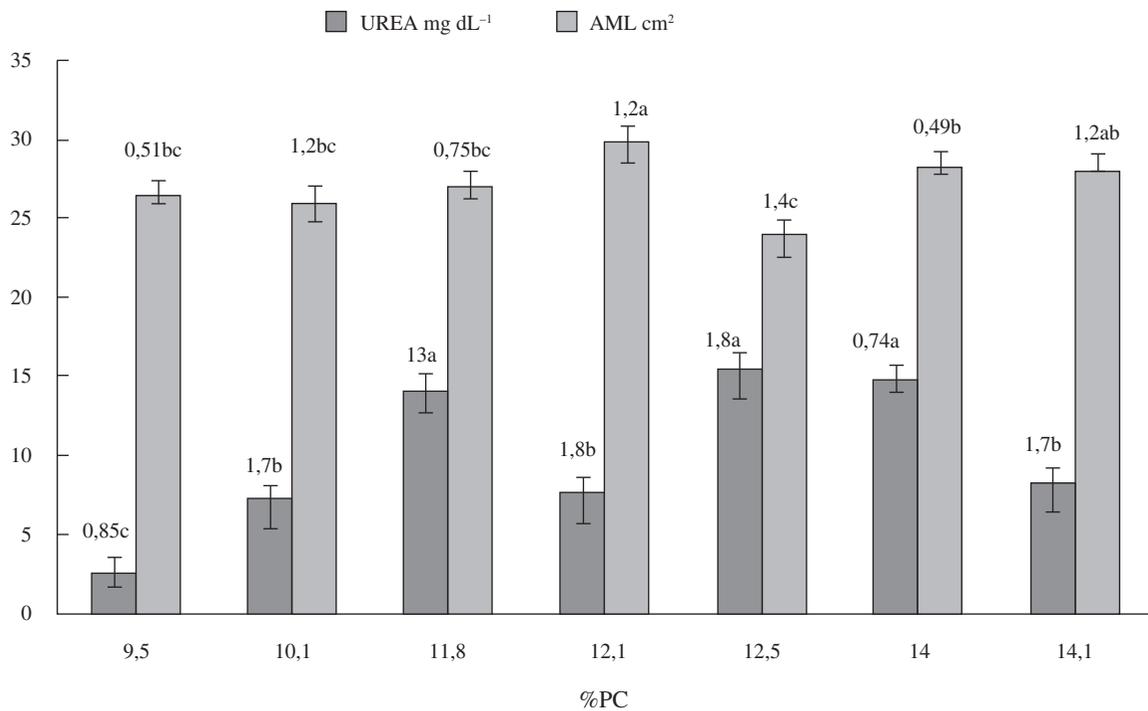


Figura 4. Metaanálisis del efecto del nivel de PC en la dieta de cerdos machos castrados en finalización sobre las variables área del músculo *longissimus* (AML) y concentración de urea en plasma (UREA).

Meta-analysis of the effect of crude protein level in the diet of finishing barrows on variables *longissimus* muscle area and plasma urea nitrogen concentration.

Cuadro 2. Nivel de proteína para obtener la mayor respuesta en la ganancia diaria de peso, consumo de alimento, concentración de urea en plasma y área del músculo *longissimus* de cerdos machos castrados en finalización.

Protein level to get the highest response in average daily gain, average daily feed intake, plasma urea nitrogen concentration and *longissimus* muscle area of finishing barrows.

Variable	Nivel PC (%)	Ecuación de predicción	R ²	P
GDP	12,8	-0,73387+ 0,2626(PC) – 0,01095(PC ²)	0,539	0,021
CDA	11,3	8,4677–1,01643(PC) + 0,04502(PC ²)	0,469	0,028
UREA	12,7	-141,31+ 24,2108(PC) – 0,94967(PC ²)	0,617	0,015
AML	11,4	77,681-9,304(PC)+0,4085(PC ²)	0,432	0,016

NPC=nivel de proteína cruda; GDP=ganancia diaria de peso; CDA=consumo diario de alimento; UREA=concentración de urea en plasma, AML=área del músculo *longissimus*. R²=coeficiente de determinación, P=nivel de significancia.

en cuadro 2 se muestran los valores de R² y los óptimos de proteína cruda.

RESPUESTA A LOS NIVELES ÓPTIMOS DE PC OBTENIDOS DEL METAANÁLISIS

Los machos castrados y las hembras no mostraron diferencias significativas ($P > 0,05$) para las variables estudiadas, por lo que se procedió a realizar el análisis estadístico de manera global.

Se observaron diferencias (cuadro 4) para las variables productivas PF, GDP y CDA ($P \leq 0,05$) cuando disminuye de 11,3 a 9,5% la proteína cruda en la dieta, excepto para CA, donde no hubo diferencias ($P > 0,05$). Los cerdos alimentados con 12,8, 11,3 y 9,5% PC mostraron diferencia ($P \leq 0,05$) para GCM (254, 298 y 212 g d⁻¹). Para las características de la canal, las variables GD, AML y PCM no presentaron diferencias ($P > 0,05$) entre tratamientos. La concentración de urea en plasma disminuyó ($P \leq 0,05$) en 32,5% cuando el nivel de PC en la dieta se redujo de 12,8% a 9,5% (cuadro 4).

DISCUSIÓN

COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO

Cuando las dietas bajas en proteínas están equilibradas en términos de AA esenciales es factible reducir los niveles de CP sin afectar el crecimiento de tejido magro, o ganancia de peso corporal. En la etapa de finalización los resultados del metaanálisis mostraron que al reducir la proteína cruda en 4,6 unidades porcentuales en dietas a base de sorgo-pasta de soya afectó negativamente todas las variables productivas (GDP, CDA, CA, PF y GCM), lo que podría deberse a la deficiencia de algunos AA esenciales (cuadro 3) en las dietas bajas en PC; esto también lo encontraron Ward y Southern (1995) en dietas con baja PC para cerdos en finalización donde disminuyó el contenido de los AA esenciales histidina, isoleucina y valina, respecto de los requerimientos (Figuroa *et al* 2004).

También, la menor respuesta de DBP puede atribuirse a que con la reducción en el contenido de proteína en la dieta puede faltar nitrógeno necesario para la síntesis de AA no esenciales (Tuitoek *et al* 1997, Heger *et al* 1998), ya que en condiciones de adecuado uso de la proteína parte de los AA esenciales son parcialmente degradados y usados en la síntesis de AA no esenciales (Heger *et al* 1998). Esto difiere de lo reportado por otros autores donde no se presentaron diferencias en las variables productivas cuando se redujo el contenido de PC más AA sintéticos en dietas a base de sorgo-pasta de soya (Figuroa *et al* 2012, Martínez-Aispuro *et al* 2012, Reyes *et al* 2012).

CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL

El metaanálisis mostró que para cerdos machos castrados en finalización la disminución de la PC en la dieta afectó negativamente las características de la canal (GD, PCM, AML), lo que fue similar a lo que reportaron Figuroa *et al* (2012), donde aumentó la GD, disminuyó el PCM y el AML cuando se redujo en dos puntos porcentuales la PC y se adicionó lisina. La disminución en la ganancia de tejido magro y el aumento en el grosor de la GD de cerdos con las DBP se atribuye a la mayor disponibilidad de energía para la síntesis de lípidos y acumulación de tejido adiposo, como resultado de la reducción de energía para eliminar el exceso de proteína en la dieta (Figuroa *et al* 2002, Gómez *et al* 2002). Esto difiere de los resultados obtenidos por otros investigadores que al disminuir la PC en la dieta no observaron efecto sobre las características de la canal (Figuroa *et al* 2004, Zamora *et al* 2010, Martínez-Aispuro *et al* 2012, Reyes *et al* 2012). También se aumentan la retención de energía metabolizable en tejidos corporales, principalmente como grasa por tanto la canal del cerdo presenta mayor espesor de la grasa dorsal (Le Bellego *et al* 2001).

CONCENTRACIÓN DE UREA EN PLASMA

La urea excretada en la orina es el principal producto final nitrogenado del catabolismo AA en cerdos, y la

Cuadro 3. Composición de las dietas para cerdos machos castrados en finalización del experimento de corroboración de niveles óptimos de baja proteína.

Composition of diets for finishing barrows in the experiment to corroborate the optimal low-protein levels.

Tratamiento	T1	T2	T3
Ingrediente, %			
Sorgo	82,979	87,05	91,94
Soya	11,934	7,55	2,30
Aceite crudo de soya	2,086	2,13	2,19
Ortofosfatos	0,684	0,71	0,74
CaCO ₃	1,332	1,34	1,34
Sal común	0,350	0,35	0,35
Vitaminas **	0,150	0,15	0,15
Minerales ***	0,100	0,10	0,10
Tripto + Plus ****	0,312	0,45	0,62
DL-Metionina	0,0136	0,05	0,09
L-Treonina	0,0602	0,12	0,18
Análisis calculado			
EM, Mcal Kg ⁻¹	3,26	3,26	3,26
Proteína cruda, %	12,80	11,30	9,50
Ca	0,70	0,70	0,70
Fósforo total	0,44	0,43	0,42
Fósforo disponible	0,23	0,23	0,23
Lisina, %	0,66	0,66	0,66
Treonina, %	0,43	0,43	0,43
Triptófano, %	0,17	0,17	0,17
Metionina + cistina, %	0,39	0,39	0,39
Arginina, %	0,62	0,50	0,35
Histidina, %	0,28	0,24	0,20
Isoleucina, %	0,53	0,46	0,38
Leucina, %	1,34	1,26	1,16
Valina, %	0,60	0,53	0,46
Fenilalanina + tirosina	1,08	0,97	0,83
Análisis determinado			
Proteína cruda, %	15,13	14,48	10,24
Calcio, %	1,02	0,68	0,90
Fósforo total, %	0,94	0,49	0,52

* Sugerencia de nutrientes para cerdos en la etapa de crecimiento (20-50 kg de peso vivo) por el NRC (1988).

** Cada kg de alimento aportó: Vit. A, 15,000 UI; Vit. D₃, 2,500 UI; Vit. E, 37,5 UI; Vit. K, 2,5 mg; tiamina, 2,25 mg; riboflavina, 6,25 mg; niacina, 50 mg; cianocobalamina, 0,0375 mg; biotina, 0,13 mg; ácido fólico, 1,25 mg; ácido pantoténico, 20 mg; colina, 563 mg; ***Aportó por cada kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0,15 mg; I, 0,9 mg; Cr, 0,2 mg.

**** Tripto-Plus contiene: proteína cruda, 95%; lisina, 55,3%; treonina, 0,15%; triptófano, 15%; valina, 0,5%; metionina+cistina, 1,75%.

concentración de urea plasmática puede ser indicativo de N excretado en la orina (Zervas y Zijlstra 2002). Al bajar el contenido de proteína en la dieta adicionando AA sintéticos se reduce la excreción de N, manteniendo

el comportamiento productivo (Le Bellego *et al* 2001). Una forma indirecta de medir esta reducción es por medio de la concentración de urea en plasma, variable que se relaciona linealmente y en forma positiva con la excreción urinaria de N en cerdos alimentados *ad libitum* (Zervas y Zijlstra 2002). La concentración de urea plasmática es 36% menor en cerdos en finalización (Kendall *et al* 1998, Le Bellego *et al* 2002); se ha observado que la reducción es proporcional a la disminución de la proteína dietaria (Figueroa *et al* 2002).

La concentración de urea en plasma disminuyó cuando se redujo el nivel de PC en la dieta, observándose una reducción considerable cuando bajó de 12,5 a 9,5% PC (15,72 a 2,51 mg dL⁻¹). Esto coincide con los datos obtenidos por otros investigadores (Figueroa *et al* 2002, 2003, Gómez *et al* 2002, Kerr *et al* 2003, Nyachoti *et al* 2006, Zamora *et al* 2010, Martínez-Aispuro *et al* 2009, Martínez-Aispuro *et al* 2012, Reyes *et al* 2012).

RESPUESTA A LOS NIVELES ÓPTIMOS DE PC OBTENIDOS

Los resultados obtenidos utilizando los niveles óptimos de PC muestran que para cerdos en finalización utilizar niveles de 12,8 y 11,3% PC utilizando sorgo-pasta de soya y adicionada con AA sintéticos no se afectan las variables productivas, pero la reducción de la proteína en la dieta hasta 9,5% afecta negativamente la respuesta productiva, excepto para CA (Kerr *et al* 2004). Estos resultados son similares a los reportados por Reyes *et al* (2012) y Martínez-Aispuro *et al* (2012), pero esto difiere con lo reportado por Figueroa *et al* (2004, 2012), donde al disminuir la PC se afectó negativamente la respuesta productiva en cerdos en finalización. Para las características de la canal, disminuir la PC de 12,8 a 9,5 no tuvo ningún efecto negativo. Esto es similar a lo obtenido por otros investigadores, que al bajar la PC en la dieta no tuvo efecto sobre las características de la canal (Figueroa *et al* 2012, Martínez-Aispuro *et al* 2012, Reyes *et al* 2012). Al disminuir la proteína en la dieta los niveles de urea en plasma se reducen linealmente (Figueroa *et al* 2002, 2003, Gómez *et al* 2002, Kerr *et al* 2003), como se observó en el presente experimento, que al disminuir de 12,8 a 9,5% la PC se redujo de 14,465 a 9,7676 mg dL⁻¹ la urea.

Es posible concluir que, de acuerdo con lo observado en el metaanálisis, reducir de 14 a 9,5% el nivel de PC en la dieta para cerdos en etapa de finalización alimentados con dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con AA sintéticos, afecta negativamente todas las variables productivas, características de la canal y una disminución en la concentración de urea en plasma.

El nivel óptimo de PC (12,8 a 11,3%) sugiere que los cerdos en la etapa de finalización se pueden alimentar con dietas bajas en proteína bruta (11,3%) basadas en sorgo-harina de soja adicionadas con AA sintéticos sin afectar las variables productivas, ni características de la canal y disminuyendo la concentración de urea en plasma.

Cuadro 4. Efecto del nivel óptimo de proteína cruda en la dieta sobre el comportamiento productivo, características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos machos castrados en finalización.

Effect of optimal level of crude protein in the diet on growth performance, carcass characteristics and plasma urea nitrogen concentration of finishing barrows.

	PC	EM	PI	PF	GDP	CDA	CA	GCM	GD	AML	PCM	U
1	12,8	3,265	53,59	86,71 ^{ab}	0,78 ^a	2,64 ^{ab}	3,60	0,25 ^b	11,64	29,32	38,51	14,46 ^a
2	11,3	3,265	54,93	90,27 ^a	0,86 ^a	2,82 ^a	3,20	0,30 ^a	11,29	31,47	39,01	12,38 ^{ab}
3	9,5	3,265	53,38	82,42 ^b	0,68 ^b	2,44 ^b	3,60	0,21 ^c	10,42	27,81	38,86	9,77 ^b
EE				1,56	0,37	0,10	0,21	0,01	0,46	1,50	0,46	0,92
Fuente de variación Valor de P												
PC				0,006	0,006	0,054	0,312	0,001	0,143	0,248	0,721	0,002

^{a,b,c} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas ($P \leq 0,005$). EE=Error estándar
T= Tratamiento; PC= Proteína cruda (%); EM= Energía metabolizable (Mcal kg⁻¹); GDP= Ganancia diaria de peso (kg d⁻¹); CDA= Consumo diario de alimento (kg d⁻¹); CA= Conversión alimenticia; PI= Peso inicial (kg); PF= Peso final (kg); GCM= Ganancia diaria de carne magra (kg d⁻¹); GD= Grasa dorsal (mm); AML= Área de músculo *longissimus* (cm²); PCM= Carne magra (%); U= Concentración de urea en plasma (mg dL⁻¹).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada al primer autor. Esta investigación fue parcialmente financiada por el Fideicomiso Revocable de Administración e Inversión No. 167304-2008 del Colegio de Postgraduados.

REFERENCIAS

- Chaney AL, EP Marbach. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin Chem* 8, 130-132.
- Deng D, K Yao, W Chu, T Li, R Huang, Y Yin, G Wu. 2009. Impaired translation initiation activation and reduced protein synthesis in weaned piglets fed a low-protein diet. *J Nutr Biochem* 20, 544-552.
- Feilberg A, L Dezhao, PSA Anders, JH Michael, ENJ Kristoffer. 2010. Odorant emissions from intensive pig production measured by online proton-transfer-reaction mass spectrometry. *Environ Sci Technol* 44, 5894-5900.
- Figuroa JL, AJ Lewis, PS Miller, RL Fischer, RS Gómez, RM Diedrichsen. 2002. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *J Anim Sci* 80, 2911-2919.
- Figuroa JL, AJ Lewis, PS Miller, RL Fischer, RM Diedrichsen. 2003. 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* 81, 1529-1537.
- Figuroa JL, M Cervantes, M Cuca, M Méndez. 2004. Growth performance of growing-finishing pigs fed diets low in protein and energy. *Agrociencia* 38, 383-394.
- Figuroa JL, J Estrada, V Zamora, JL Cordero, MT Sánchez-Torres, R Nieto, JMF Copado. 2012. Digestible lysine levels in low-protein diets supplemented with synthetic amino acids for nursery, growing, and finishing barrows. *Irish J Agric Food Res* 51, 33-44.
- Gómez RS, AJ Lewis, PS Miller, HY Chen. 2002. Growth performance, diet apparent digestibility and plasma metabolite of barrows fed corn-soybean meal diets or low-protein, amino acid supplemented diets at different feeding levels. *J Anim Sci* 80, 644-653.
- Hayes ET, ABG Leek, TP Curran, VA Dodd, OT Carton, VE Beattie, JV O'Doherty. 2004. The influence of dietary crude protein level on odor and ammonia emissions from finishing pig houses. *Biores Technol* 91, 309-315.
- Heger J, S Mengesha, D Vodehnal. 1998. Effect of essential: total nitrogen ratio on protein utilization in the growing pig. *Br J Nutr* 80, 537-544.
- Kerr BJ, LL Southern, TD Bidner, KG Friesen, RA Easter. 2003. Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *J Anim Sci* 81, 3075-3087.
- Le Bellego L, J Van Milgen, S Dubois, J Noblet. 2001. Energy utilization of low-protein diets in growing pigs. *J Anim Sci* 79, 1259-1271.
- Le Bellego L, J Van Milgen, J Noblet. 2002. Effect of high temperature and low-protein diets on the performance of growing-finishing pigs. *J Anim Sci* 80, 691-701.
- Martínez-Aispuro M, JL Figuroa-Velasco, JE Trujillo-Coutiño, V Zamora-Zamora, JL Cordero-Mora, MT Sánchez-Torres, L Reyna-Santamaría. 2009. Respuesta productiva y concentración de urea en plasma de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína. *Vet Méx* 40, 27-38.
- Martínez-Aispuro M, JL Figuroa-Velasco, V Zamora-Zamora, MT Sánchez-Torres, ME Ortega-Cerrilla, JL Cordero-Mora, A Ruiz-Flores, S González-Muñoz. 2012. Effect of fatty acids source on growth performance, carcass characteristics, plasma urea nitrogen concentration, and fatty acid profile in meat of pigs fed standard- or low-protein diets. *Spanish J Agric Res* 10, 993-1004.
- National Pork Producers Council. 1991. *Procedures to evaluate market hogs*. 3rd ed. National Pork Producers Council. Des Moines, IA, USA.
- NRC (National Research Council), 1998. *Nutrient Requirements of Swine*. 10th ed. National Academy Press, Washington, D.C., USA.
- Nyachoti CM, FO Omogbenigun, M Rademacher, 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.
- Osada T, R Takada, I Shinzato. 2011. Potential reduction of greenhouse gas emission from swine manure by using a low-protein diet supplemented with synthetic amino acids. *Anim Feed Sci Technol* 166, 562-574.
- Reyes I, JL Figuroa, MA Cobos, MT Sánchez-Torres, V Zamora, JL Cordero. 2012. Probiótico (*Enterococcus faecium*) adicionado a dietas estándar y con baja proteína para cerdos. *Arch Zootec* 61, 589-598.
- Reyna L, JL Figuroa, V Zamora, JL Cordero, MT Sánchez-Torres, M Cuca. 2006. Addition of protease to standard diet or low protein, amino acid-supplemented, sorghum-soybean meal diets for growing-finishing pigs. *J Anim Vet Adv* 12, 1202-1208.
- Rivera A, JL Figuroa, E Saldaña, V Zamora, MT Sánchez-Torres, JL Cordero. 2010. Finalización de cerdos con baja proteína y manano-oligosacáridos o nucleótidos. *Arch Zootec* 3, 357-368.
- SAS Institute Inc SAS/STAT User's Guide, Second Edition, 2009. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA.
- Shriver JA, SD Carter, AL Sutton, BT Richert, BW Senne, LA Pettey. 2003. Effects of adding fiber sources to reduced-crude protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen excretion, growth performance, and carcass traits of finishing pigs. *J Anim Sci* 81, 492-502.

- Tuitoek K, LG Young, CFM de Lange, BJ Kerr. 1997. The effect of reducing excess dietary amino acids on growing-finishing pig performance: an evaluation of the ideal protein concept. *J Anim Sci* 75, 1575-1583.
- Ward TL, LL Southern. 1995. Sorghum amino acid-supplemented diets for the 50 to 100 kilogram pig. *J Anim Sci* 73, 1746-1753.
- Yue LY, SY Qiao. 2008. Effects of low-protein diets supplemented with crystalline amino acids on performance and intestinal development in piglets over the first 2 weeks after weaning. *Livest Sci* 115, 144-152.
- Zamora V, JL Figueroa, JL Cordero, M Rugerio, L Reyna, MT Sánchez-Torres. 2010. Addition of glucomannans to low-protein diets based on sorghum-soybean meal for growing and finishing pigs. *Revista Científica FCV-LUZ* 20, 274-283.
- Zervas S, RT Zijlstra. 2002. Effects of dietary protein and oat hull fiber on nitrogen excretion patterns and postprandial plasma urea profiles in grower pigs. *J Anim Sci* 80, 3238-3246.

