



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRICOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

**ADICIÓN DE RACTOPAMINA A DIETAS CON BAJA PROTEINA
FORMULADAS CON TRES NIVELES DE LISINA DIGESTIBLE PARA
CERDOS EN ENGORDA**

JESÚS ESTRADA GODOY

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2011

La presente tesis, titulada: Adición de ractopamina a dietas con baja proteína formuladas con tres niveles de lisina digestible para cerdos en engorda, realizada por el alumno: Jesús Estrada Godoy, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA**

CONSEJO PARTICULAR



CONSEJERO:

DR. JOSÉ LUIS FIGUEROA VELASCO



ASESOR:

DRA. MARÍA TERESA SÁNCHEZ-TORRES ESQUEDA



ASESOR:

DR. JOSÉ MA. FERNANDO COPADO BUENO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2011

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Postgraduados, en especial al Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería por la oportunidad que me brindó para lograr una meta más y al gran conocimiento académico para mi formación profesional.

Al CONACYT, por el apoyo económico brindado, durante toda la maestría.

Al Ph. D. José Luis Figueroa Velasco, por darme la oportunidad de ingresar a este programa, por sus enseñanzas y apoyo para realizar esta tesis; además de sus sabios consejos durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

A la Dra. María Teresa Sánchez-Torres Esqueda, por sus observaciones y sugerencias para este trabajo de tesis.

Al Dr. José Ma. Fernando Copado Bueno, por sus correcciones aportadas en el mejoramiento de este trabajo de tesis.

Al MVZ José Luis Cordero Mora, por su colaboración y trabajo brindado durante la realización de la fase de campo en el trabajo de investigación.

Al Dr. Vicente Zamora Zamora, por sus recomendaciones y enseñanzas en la parte estadística de este trabajo.

A mis amigos, a mis compañeros del Colegio de Postgraduados, al equipo de ganadería y a todos los que colaboraron con su ayuda en la elaboración de este trabajo; José Luis (precoz), Ulises (chiquilín), Luis Fernando (pelón), Heriberto (el chapas), Marycarmen, Liliana A., Eva, Mónica, Beléna, Gerardo Z., Arenas, Eli, el Gus, el Mich, Georgina (La Gina), Joaquín e Iván (la torta), a todos ustedes y a los que no nombro pero saben que son igual de importantes y me siento profundamente agradecido porque me acompañaron a lo largo de este logro profesional y no solo en ello, sino también en mi vida...

Jesús Estrada Godoy

DEDICATORIA

A dios por darme la vida por iluminarme y guiarme durante este tiempo, porque sin ti no hubiera podido salir adelante en los momentos difíciles y de prueba, no tengo palabras para agradecer lo mucho que me has dado, lo único que puedo decir es que te necesitaré en cada proyecto que emprenda en mi vida por lo que nunca me apartaré de ti

A MIS PADRES

†**Francisco Estrada Bautista**; Papá, Gracias por todo el apoyo que me diste desde mi infancia y hasta el día de hoy que aunque no estás físicamente sé que estás conmigo en todo momento y te sentirías muy orgulloso de mí; en este párrafo ni todas las palabras que pueda escribir son suficientes para agradecerte...

Ma. Paz Godoy Canela, Gracias por tus consejos y apoyo incondicional. Por estar conmigo en cada etapa de mi vida, por los constantes desvelos que has tenido por nosotros, por ser una amiga y comprenderme en los momentos más difíciles, por tu paciencia que muchas ocasiones me libero de presiones y estrés, por tu ejemplo de valentía y por ser una gran MUJER....

A ambos les digo GRACIAS, porque son el pilar en mi camino y hoy les entrego mi esfuerzo, y este triunfo no solo es mío sino también de USTEDES, pues este logro me abre puertas inimaginables en mi desarrollo profesional.

A mis hermanos **Francisco**, agradezco los consejos que en el momento exacto has sabido darme para que no me rinda. **Ma. Sandra**, por estar ahí a mi lado por tu cariño y comprensión de hermana. **Luis Alberto**, por que al ser el menor deseo veas en mi un ejemplo de perseverancia y lucha, para que un día tu también realices tus sueños; y a mi sobrino **Juan Luis** que más que eso lo quiero como un hermano y siga por el buen camino.

A mí cuñado **Juan** por todo el apoyo que ha dado a mí hermana y a mi madre durante todo este tiempo.

† *Francisco E. B. y Ma. Paz G. C.*

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS	ix
RESUMEN.....	x
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Perspectivas de la carne cerdo en el mundo	3
2.1.1 Principales países exportadores.....	3
2.1.2 Principales países importadores	4
2.2 Ganado porcino en México	4
2.3 Alimentación del ganado porcino	7
2.3.1 Proteína en cerdos	8
2.3.2 Proteína ideal.....	11
2.3.3 Dietas bajas en proteína.....	12
2.3.4 Uso de sorgo y pasta de soya en dietas para cerdos	13
2.3.5 Respuesta productiva de cerdos en crecimiento alimentados con dietas bajas en proteína	14
2.3.6 Efecto de dietas con baja proteína sobre las características de la canal	15
2.3.7 Metabolismo del nitrógeno y concentración de urea en plasma.....	16
2.4 Ractopamina.....	16
2.4.1 Beta-adrenérgicos agonistas.....	18
2.4.3 Mecanismo de acción.....	19
2.4.3.1 Metabolismo en tejido adiposo.....	19
2.4.3.2 Metabolismo en tejido muscular	19
2.4.4 Efecto de la ractopamina en cerdos.....	20
III. JUSTIFICACION	21

IV. OBJETIVOS	22
V. HIPOTESIS	22
VI. MATERIALES Y METODOS	23
6.1 Tratamientos evaluados.....	23
6.2 Variables evaluadas.....	23
6.3 Material experimental y manejo de los animales	24
6.5 Análisis de laboratorio	25
6.4 Diseño y análisis estadístico.....	25
VII. RESULTADOS	30
7.1 Iniciación.....	30
7.2 Crecimiento	31
7.3 Finalización	31
7.4 Ractopamina.....	32
VIII. DISCUSIÓN.....	34
8.1 Iniciación.....	34
8.2 Crecimiento	35
8.3 Finalización	37
8.4 Ractopamina.....	38
IX. CONCLUSIONES	41
XI. LITERATURA CITADA	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Producción mundial de carne de cerdo (miles de toneladas).	3
Cuadro 2	Exportación mundial de carne de cerdo (miles de toneladas).	4
Cuadro 3	Importación mundial de carne de cerdo (miles de toneladas).	5
Cuadro 4	Clasificación nutricional de aminoácidos para cerdos.	9
Cuadro 5	Perfil ideal de aminoácidos para formular dietas en base ideal para cerdos en diferentes etapas.	12
Cuadro 6	Niveles de proteína cruda (%PC), lisina y energía metabolizable en las tres etapas.	24
Cuadro 7	Composición de las dietas experimentales para cerdos en iniciación.	26
Cuadro 8	Composición de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento.	27
Cuadro 9	Composición de las dietas experimentales para cerdos en finalización.	28
Cuadro 10	Comportamiento productivo de cerdos machos castrados en iniciación, alimentados con dos niveles de proteína.	53
Cuadro 11	Características de la canal de cerdos machos castrados en iniciación, alimentados con dos niveles de proteína.	54
Cuadro 12	Comportamiento productivo de cerdos machos castrados en crecimiento, alimentados con dos niveles de proteína.	55
Cuadro 13	Características de la canal de cerdos machos castrados en crecimiento, alimentados con dos niveles de proteína.	56
Cuadro 14	Comportamiento productivo de cerdos machos castrados en finalización, alimentados con dos niveles de proteína.	57
Cuadro 15	Características de la canal de cerdos machos castrados en finalización, alimentados con dos niveles de proteína.	58
Cuadro 16	Comportamiento productivo de cerdos machos castrados en finalización, alimentados con dos niveles de proteína, y dos de ractopamina.	59
Cuadro 17	Características de la canal de cerdos machos castrados en finalización, alimentados con dos niveles de proteína, y dos de ractopamina.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Principales estados productores de carne porcino 2008.	7
Figura 2	Fórmula estructural de la ractopamina.	18

LISTA DE ABREVIATURAS

AA	=	Aminoácidos
AMLi	=	Área del músculo <i>longissimus</i> inicial
AMLf	=	Área del músculo <i>longissimus</i> final
CA	=	Conversión alimenticia
CAL	=	Consumo de alimento
CMi	=	Carne magra inicial
CMf	=	Carne magra final
DBP	=	Dietas bajas en proteína
EEM	=	Error estándar de la media
EM	=	Energía metabolizable
GCM	=	Ganancia de carne magra
GDi	=	Grasa dorsal inicial
GDF	=	Grasa dorsal final
GDP	=	Ganancia diaria de peso
Kg	=	Kilogramo
Mcal	=	Megacaloría
PC	=	Proteína cruda
Pi	=	Peso inicial
Pf	=	Peso final
ppm	=	Partes por millón
TRAT	=	Tratamiento

RESUMEN

Se ha tratado de encontrar el menor nivel de proteína cruda (PC) en dietas sorgo-pasta de soya adicionada con AA sintéticos que mantenga los resultados productivos de la dieta estándar; también se ha tratado de encontrar un aditivo capaz de mejorar la respuesta productiva de cerdos alimentados con dietas con baja proteína (DBP). Uno de estos aditivos podría ser el compuesto β -adrenérgico Ractopamina (RAC). Por ello, se realizó un experimento para evaluar el comportamiento productivo (ganancia diaria de peso, GDP; consumo de alimento, CAL; conversión alimenticia, CA; ganancia de carne magra, GCM), las características de la canal (área del músculo *longissimus*, AML; grasa dorsal, GD; porcentaje de carne magra, %CM) y la concentración de urea en plasma de 36 cerdos (machos castrados) híbridos (Yorkshire×Duroc×Pietrain) en iniciación (10.6 ± 0.23), crecimiento (25.58 ± 0.39), y finalización (54.12 ± 0.65), en respuesta a dos niveles de PC (iniciación, 20.5 y 17.4%; crecimiento, 16.5 y 14.0%; finalización, 14.0 y 11.8%), y tres de lisina (1.01, 1.11, y 1.21% en iniciación; 0.83, 0.93, y 1.03% en crecimiento; 0.66, 0.76, y 0.86% en finalización) en las DBP. Se utilizó un diseño completamente al azar para las tres etapas, con 10 repeticiones (seis para el testigo), y cada cerdo se consideró una unidad experimental. En la etapa de finalización II, en los últimos 28 días de la engorda, se agregó ractopamina (0.0 y 10 ppm) a las DBP con tres niveles de lisina digestible (0.66, 0.76 y 0.86%), y en esta etapa se utilizó el diseño estadístico ‘Factorial aumentado’ (factorial $3 \times 2 + 1 = 7$ tratamientos). La energía se mantuvo constante en $3.265 \text{ Mcal kg}^{-1}$. No se observó ($P > 0.05$) efecto del nivel de proteína sobre la respuesta productiva de cerdos en iniciación. La adición de 0.1% más lisina a DBP aumentó ($P \leq 0.05$) el grosor de la GDf y el AMLf. El nivel de proteína tampoco tuvo efecto en cerdos en crecimiento; la adición de 0.1% más lisina aumentó GDP y Pf. En finalización el nivel de PC no afectó las variables en estudio; la adición de 0.1% más lisina también mejoró la GDP, Pf, GCM y AMLf, aunque aumentó GDf. La concentración de urea en plasma disminuyó ($P \leq 0.05$) en 32.2% en iniciación; 33.7% en crecimiento; y 43.1% en finalización con DBP. En cerdos en finalización II, la GDP, Pf y CA fueron mejores ($P \leq 0.05$), y la GDf fue mayor ($P \leq 0.05$) en cerdos alimentados con DBP, aunque el %CM fue menor ($P \leq 0.05$); la adición de 0.2% más lisina parece reducir el grosor de la GDf y mejorar la GDP, CAL, Pf y GCM. La

incorporación de RAC deteriora la respuesta de los cerdos alimentados con DBP adicionadas con lisina, ya que aumentó ($P \leq 0.05$) el grosor de la GDf con 0.1% más lisina, y se redujo ($P \leq 0.03$) el AMLf con 0.2% más lisina. Lo anterior sugiere que los cerdos híbridos como los utilizados en esta investigación no responden a la adición de ractopamina a dieta con baja proteína, ni aumentando el nivel de lisina en la misma.

Palabras clave: cerdos, dietas con baja proteína, ractopamina, lisina, concentración de urea en plasma.

ABSTRACT

Several investigations have been conducted to find the lowest crude protein (CP) level in sorghum-soybean meal, amino acid (AA)-supplemented diets, that can maintain the growth performance as in standard diet; in addition, research has been conducted to find additives that improve productive results obtained with low protein diets (LPD); one of these additives is the β -adrenergic ractopamine (RAC). Therefore, an experiment was conducted to evaluate the growth performance (ADG, ADFI, FGR, FFLG, BWf), carcass characteristics (LMA, BT, PLM), and plasma urea nitrogen (PUN) concentration of 36 hybrid (Yorkshire \times Duroc \times Pietrain) barrows in nursery ($10.6 \pm 0.23\text{kg}$), growing ($25.58 \pm 0.39\text{kg}$), and finishing ($54.12 \pm 0.65\text{kg}$) phases, in response to two levels of CP (nursery, 20.5 and 17.4%; growing, 16.5 and 14.0%; finishing, 14.0 and 11.8) and three levels of digestible lysine (1.01, 1.11, and 1.21% in nursery; 0.83, 0.93, and 1.03% in growing; 0.66, 0.76, and 0.86% in finishing stage) in LPD. The design was a completely randomized, with ten replicates per treatment and six for control diet. In finishing pigs, during the last 28 days of fattening, ractopamine was added (0.0 and 10 ppm) to three lysine levels (0.66, 0.76 and 0.86%) under the factorial increased design ($3 \times 2 + 1 = 7$ treatments). The energy remained constant at $3.265 \text{Mcal kg}^{-1}$ in all treatments and stages. There was no effect ($P>0.05$) of CP level on growth performance of nursery pigs. The addition of 0.1% more lysine to LPD increased ($P\leq 0.05$) the thickness of BF and LMA. The level of CP did not have effect on growing pigs; the addition of 0.1% more lysine increased ($P\leq 0.05$) ADG and BWf. In finishing pigs, the level of CP did not affect the analyzed variables; the addition of 0.1% more lysine also improved ADG, BWf, FFLG and LMA, although it increased BF. The PUN concentration was reduced ($P\leq 0.05$) by 32.2% in nursery; 33.7% in growing; and 43.1% in finishing pigs fed LPD. In finishing II pigs, ADG, BWf and FGR were better ($P\leq 0.05$), and BF was higher ($P\leq 0.05$) in pigs fed LPD; although the LMP was lower ($P\leq 0.05$); the addition of 0.2% more lysine seems to reduce the BF thickness and to improve ADG, ADFI, BWf, and FFLG. The incorporation of RAC to low-protein diets deteriorated the response of pigs fed low-protein, lysine-supplemented diets, because it increased ($P\leq 0.05$) BF thickness with 0.1% more lysine, and reduced ($P\leq 0.03$) LMA with 0.2% more lysine. These results suggest that hybrid pigs like the ones used in this

experiment do not respond to ractopamine addition to low-protein diets, not even increasing the lysine concentration in these kind of diets.

Key words: pigs, low-protein diets, ractopamine, lysine, plasma urea nitrogen concentration.

I. INTRODUCCIÓN

La producción animal tiende a volverse más eficiente al convertir el alimento en productos animales de calidad, aunque el incremento en el tamaño y número de unidades de producción animal ha aumentado el impacto ambiental de esta actividad (Adeola, 1999). Las demandas actuales de la industria porcina para mejorar la productividad de los animales, en el contexto de la diversidad genética y condiciones ambientales, han conducido a poner mayor atención en definir los requerimientos nutricionales (Cooper *et al.*, 2001), buscando alternativas en el manejo alimenticio que eviten el desperdicio de nutrientes y mejoren la producción. Con los cerdos mejorados genéticamente se tiene bajo consumo de alimento y mayor tasa de acumulación de tejido magro. Estos cambios en la respuesta productiva requieren que se evalúe, en las diferentes etapas de crecimiento, la densidad energética y proteínica de la dieta para maximizar la respuesta (Herr *et al.*, 2000).

La producción de cerdos no sólo ha avanzado en la obtención de líneas genéticas más precoces, con mejores índices de conversión de alimento, sino también hacia la obtención de cerdos con canales más magras. Este avance ha sido motivado primeramente por la necesidad de incrementar los rendimientos obtenidos en la canal, de manera de producir una mayor cantidad de carne con la consecuente mejora en la rentabilidad, y una mayor demanda de este tipo de carnes en base a las preferencias del consumidor.

Adicionalmente, a la par de la mejora genética y los avances en la alimentación porcina, se han desarrollado aditivos no nutricionales, los cuales son capaces de inducir respuestas adicionales en el comportamiento productivo y en la calidad de la canal, y así incrementar los índices productivos y económicos. Por ejemplo, el compuesto ractopamina (RAC), un agonista β -adrenérgico de la familia de las fenoletolaminas, que actúa sobre los receptores β -adrenérgicos de las células adiposas y del músculo esquelético, promoviendo la lipólisis, con el consecuente incremento del contenido magro en la canal (Smith y Paulson, 1994; Spurlock *et al.*, 1994; Crome *et al.*, 1996). El uso de RAC en cerdos ha permitido observar resultados variables sobre la respuesta productiva, como en la ganancia diaria de peso (Dunshea *et al.*, 1993; Williams *et al.*, 1994), así como en el

rendimiento de la canal (Williams *et al.*, 1994; Crome *et al.*, 1996; Pérez *et al.*, 2006) y pérdidas por goteo (Pérez *et al.*, 2006).

Como resultado de la selección genética para la obtención de animales más magros, se ha propiciado un aumento en los requerimientos de lisina del cerdo (Friesen *et al.*, 1994). Por lo tanto, los requerimientos de lisina para los cerdos en engorda dependerán del tipo de dieta y del criterio de respuesta, en el intento de obtener una óptima respuesta en ganancia de peso, conversión alimenticia, características de la canal y tasa de retención de proteína en el músculo, para lo cual es importante establecer un nivel adecuado de este aminoácido en la dieta (NRC, 1998).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Perspectivas de la carne de cerdo en el mundo

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), se estimó que para el año 2010 el comercio y el mercado mundial de la carne de cerdo alcanzaría las 101.9 millones de toneladas, presentando una recuperación del 2%. Los principales países productores de cerdo, con una proyección hasta el 2010, se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Producción mundial de carne de cerdo (miles de toneladas).

PAIS	AÑO	2005	2006	2007	2008	2009	2010 (e.)
China		45,553	46,505	42,878	46,205	48,500	50,300
UE-27		21,676	21,791	22,858	22,596	22,000	21,900
E.U.A.		9,392	9,559	9,962	10,599	10,446	10,185
Brasil		2,710	2,830	2,990	3,015	3,123	3,249
Rusia		1,735	1,805	1,910	2,060	2,205	2,290
Vietnam		1,602	1,713	1,832	1,850	1,850	1,850
Canadá		1,765	1,748	1,746	1,786	1,790	1,660
Japón		1,245	1,247	1,250	1,249	1,285	1,270
Filipinas		1,175	1,215	1,250	1,225	1,225	1,225
México		1,195	1,158	1,152	1,161	1,150	1,175
Corea,		1,036	1,000	1,043	1,056	1,056	1,009
Otros		5,336	5,504	5,714	5,726	5,646	5,770
TOTAL		94,420	86,516	84,623	87,929	89,790	91,698

Elaborado con datos del USDA (2010).

(e) Estimado

2.1.1 Principales países exportadores

China es el país impulsor en el crecimiento de la producción mundial, además de que la Unión Europea (UE-27) es la segunda exportadora de carne de cerdo, seguido por Estados Unidos de América (EUA), Canadá, y Brasil. En el Cuadro 2 se muestran las cantidades de carne exportada por país.

Cuadro 2. Exportación mundial de carne de cerdo (miles de toneladas).

PAIS AÑO	2005	2006	2007	2008	2009	2010 (e.)
UE-27	1,143	1,284	1,286	1,726	1,250	1,200
E.U.A.	1,209	1,359	1,425	2,117	1,887	2,018
Canadá	1084	1081	1033	1129	1,130	1100
Brasil	761	639	730	625	645	700
China	502	544	350	223	230	240
Chile	128	130	148	142	142	150
México	59	66	80	91	86	95
Australia	56	60	54	48	45	48
Corea	16	14	13	11	20	25
Vietnam	19	20	19	11	10	11
Croacia	1	2	2	3	5	6
Otros	28	25	22	21	15	15
Total	5,006	5,224	5,162	6,147	5,465	5,608

Elaborado con datos del USDA (2010).

(e) Estimado

2.1.2 Principales países importadores

El principal país importador es EUA (Cuadro 3), con un aumento del 5%; este nivel de importaciones se debe al crecimiento que ha ido teniendo este país, además de la menor producción interna. Después de los EUA, Rusia, Japón y la UE siguen como países importadores. México prevé un incremento de sus importaciones de hasta 3% mientras la demanda se mantiene.

2.2 Ganado porcino en México

La porcicultura en México ha experimentado cambios muy profundos en los últimos años. Al igual que muchas de las actividades ganaderas, ha enfrentado retos significativos en el entorno económico en el cual se desenvuelve, motivando variaciones en los ritmos de crecimiento de la producción. Estas variaciones han tenido diferentes efectos en los estratos productivos y en las diferentes zonas de producción (SAGARPA, 2009). En el 2008, la producción se vio afectada por la crisis económica de los Estados Unidos, la volatilidad

Cuadro 3. Importación mundial de carne de cerdo (miles de toneladas).

PAIS AÑO	2005	2006	2007	2008	2009	2010 (e.)
E.U.A	1632	1399	1384	1151	1254	1304
Rusia	978	939	1030	1137	700	780
Japón	686	678	686	659	672	678
UE-27	711	717	642	465	470	490
México	335	383	403	408	300	335
Vietnam	20	29	90	200	250	300
Corea	250	298	308	295	290	295
Canadá	151	180	242	230	270	290
Egipto	215	313	361	195	150	175
Chile	200	124	151	129	145	155
Hong Kong	88	89	90	118	145	155
Otros	1527	1,687	1840	1941	1793	1700
Total	6793	6,836	7227	6928	6439	6657

Elaborado con datos del USDA (2010).

(e) Estimado

de los mercados, la baja en las remesas y la crisis alimentaria; esto trajo como consecuencia una alza indiscriminada de hasta el 70% en el precio de los cultivos agroindustriales (cereales y oleaginosas) que se emplean en la alimentación de la población y del ganado. Lo anterior ha afectado a los productores, quienes se han visto obligados a adquirir deudas y, en casos graves, incluso a abandonar la actividad productiva.

La porcicultura en México es una de las principales actividades económicas del subsector pecuario (Gallardo, 2006); sin embargo, a pesar de cómo se ha visto afectada en los últimos años, la porcicultura todavía ocupa el tercer lugar en importancia como sistema productor de carne, sólo después de los bovinos y las aves (Pérez, 1999). Hace tres décadas la carne de cerdo era la número uno en la preferencia del consumidor mexicano. Sin embargo, debido a la reducción de la producción porcina, los consumidores se orientaron hacia la carne de pollo porque su precio es menor (Moral-Barrera *et al.*, 2007). Aun así, se observa que la producción de carne de cerdo ha tenido una tendencia ascendente, especialmente en el año 2005, cuando su producción alcanzó 1,101,000 toneladas, aunque

sin recuperar los niveles alcanzados hace 30 años. Esto se refleja en que ha tenido una tasa de crecimiento media anual (TCMA) negativa (-0.51%) entre 1980 y 2005, lo cual evidencia la problemática que han venido enfrentando los productores porcícolas durante todo este tiempo (Moral-Barrera *et al.*, 2007).

La recuperación experimentada en los últimos años se debe a una mayor tecnificación de las granjas, lo cual ha mejorado la calidad de los cerdos y de sus productos y subproductos, lo que ha ayudado a posicionarse en el mercado exterior (Moral-Barrera *et al.*, 2007). En nuestro país, la tecnificación abarca 46% de las explotaciones, mientras que el sector semitecnificado representa 20% y el de traspatio 34% del inventario nacional (Pérez, 1999). Aun cuando en México la producción está integrada por el sector social, conformado por ejidatarios y comuneros, la porcicultura especializada se encuentra en el sector privado, al cual corresponde 90% de las unidades de producción y 94% de la pira nacional, en el cual se estima que 70% son de ciclo completo, el resto granjas de engorda, productoras de lechones en menor medida y un número muy pequeño de granjas produce pie de cría (Pérez, 2004). En ello ha contribuido el avance en la erradicación de enfermedades características de la especie, las cuales son altamente contagiosas y tienen la capacidad de acabar con piaras enteras; así como el incremento del sacrificio de ganado porcino en rastros Tipo Inspección Federal, permitiendo el incremento de la producción y la competitividad de las granjas porcinas (Moral-Barrera *et al.*, 2007).

La mayor producción porcina se ubica en los estados (Figura 1) de: Jalisco, Sonora, Guanajuato, Yucatán, Puebla, Veracruz, Michoacán y Tamaulipas, reuniendo entre ellos el 76.3% de la producción nacional, de los cuales Jalisco y Sonora son los mayores productores. La producción en Sonora se orienta principalmente a la exportación, mientras que en Jalisco se enfoca al abasto nacional.

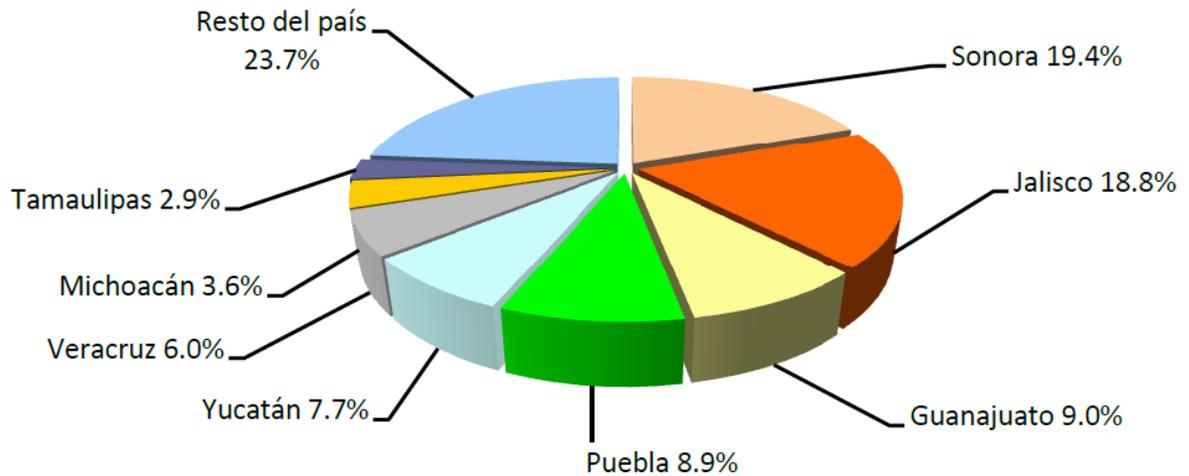


Figura 1. Principales estados productores de carne porcina
Fuente: CCG con información de SIAP/ SAGARPA (2008).

2.3 Alimentación del ganado porcino

El cerdo es un animal omnívoro que puede aprovechar la mayoría de los alimentos que se le proporcionen; tienen un gran poder digestivo y de asimilación, y de acuerdo con el alimento que se le suministre, así será su rapidez en el aumento de peso y su economía en la conversión de alimento (Chara, 2007).

La mayor parte de los compuestos nitrogenados, tanto en plantas como en animales, lo forman las proteínas. En el caso de las plantas, donde la mayoría de las proteínas son enzimáticas, el porcentaje es alto en las plantas jóvenes y va disminuyendo a medida que envejece. En los animales, la participación de las proteínas es amplia, ya que forman parte de los músculos, la piel, el pelo, las plumas, la lana y las uñas (McDonald *et al.*, 2002). Los otros componentes de compuestos nitrogenados son los ácidos nucleicos, que tienen una participación importante en la síntesis de proteínas en todos los organismos vivos. Son, además, los portadores de la información genética en la célula viva (McDonald *et al.*, 2002).

2.3.1 Proteína en cerdos

Las proteínas son las sustancias más características de los seres vivos; cumplen múltiples funciones como: la constitución de las estructuras del organismo, el transporte de las moléculas en diversos procesos metabólicos, etc. (INTA, 2009).

El mejoramiento genético en cerdos se ha enfocado al aumento en la deposición de proteína como tejido magro. Esto es importante desde el punto de vista nutricional, ya que los cerdos obtienen la mayoría de sus necesidades de aminoácidos de las proteínas del alimento que consumen, lo cual ha venido cambiando las necesidades de proteína cruda y principalmente, el requerimiento de aminoácidos (AA) y energía en las dietas (Urynek y Buraczewska, 2003).

Las proteínas están compuestas de AA, ligados en largas cadenas que comprenden cientos o miles de ellos. La formación de proteínas corporales requiere la presencia simultánea de unos 20 AA distintos, algunos de los cuales pueden ser sintetizados en el hígado a partir de otros. Otros AA no pueden ser sintetizados: son los denominados AA esenciales (Cuadro 4). Para el cerdo se consideran 10 aminoácidos esenciales que deben ser aportados en la dieta: lisina, metionina, triptófano, treonina, leucina, isoleucina, valina, histidina, arginina, y fenilalanina. Otros AA condicionalmente esenciales son la cistina y la tirosina; cistina puede ser sintetizada a partir de la metionina y tirosina a partir de fenilalanina, por eso se les expresa en conjunto: metionina+cistina y fenilalanina+tirosina (INTA, 2009).

La nutrición de proteína consiste en alimentar a los animales con las cantidades requeridas de AA esenciales y minimizar el aporte de aminoácidos no esenciales, los cuales son absorbidos en intestino delgado del animal y recombinados dentro de las células en las moléculas nuevas de la proteína, en donde cada una de las proteínas corporales son únicas en composición y estructura, y cada una es sintetizada de acuerdo por los códigos genéticos específicos dictados en orden y en secuencia (Lewis, 2001).

Los cerdos tienen un potencial genético dado para formar tejido magro, a una determinada tasa diaria, y la alimentación óptima debe proveer la energía y los AA necesarios para que esto ocurra. Cuando la provisión de AA es insuficiente se producirá

Cuadro 4. Clasificación Nutricional de Aminoácidos para Cerdos.

Esencial	No esencial
Arginina	Alanina
Histidina	Asparagina
Isoleucina	Acido Aspártico
Leucina	Cistina
Lisina	Acido Glutámico
Metionina	Glutamina
Fenilalanina	Glicina
Treonina	Prolina
Triptófano	Serina
Valina	Tirosina

Fuente: Lewis, 2001

una reducción de la formación de tejido magro y un aumento en la formación de grasa corporal (INTA, 2009). La carencia de AA esenciales limita el desarrollo del organismo, ya que sin ellos no es posible reponer las células de los tejidos que mueren o crear nuevos tejidos (Martín, 2009). Si la proteína está en exceso habrá una mala utilización de la energía de la ración que se traducirá en una disminución de la eficiencia alimenticia, puesto que los cerdos en crecimiento alimentados a libre acceso tienden a regular el consumo diario de alimento en función a la densidad energética (INTA, 2009). Además, la deposición de proteína en cerdos en esta etapa es limitada por el consumo voluntario de alimento (Baker, 1994). La variación entre razas, líneas genéticas, sexos y etapa de producción de los cerdos ha hecho muy difícil la determinación de un balance adecuado entre energía y proteína (Nieto *et al.*, 2003).

Los requerimientos de proteína pueden variar también debido a la temperatura, el estrés, el manejo, las enfermedades y principalmente, por las pérdidas obligatorias, que se muestran como recambio de proteína corporal, descamación del intestino, piel, y excretas; solamente una pequeña proporción (alrededor del 33%) de la proteína consumida es efectivamente retenida por los cerdos para la síntesis de proteína corporal (Van Cauwenberghe *et al.*, 2003).

Los ingredientes proteicos son los más caros en las dietas estándar, y la deficiencia de AA esenciales en algunos de ellos hace que su inclusión sea más alta; sin embargo, existe la alternativa del uso de dietas con baja proteína (DBP) adicionadas con AA sintéticos. Esta es una forma de reducir la pérdida de proteína endógena sin disminuir el comportamiento productivo (Li *et al.*, 1998).

Por otro lado, al hablar de los requerimientos de AA en la alimentación de los cerdos, hay que tomar en cuenta que están basados en suplir en primera instancia los requerimientos de lisina, el cual ha sido considerado como el principal AA limitante en la alimentación de esta especie (Batterham *et al.*, 1990; Bikker *et al.*, 1994). Sin embargo, otras investigaciones consideran que los AA azufrados (AAS) metionina y cistina también son limitantes, por lo que será importante mantener una óptima proporción de AAS:lisina (Knowles *et al.*, 1998a). Se ha considerado que para minimizar la deposición de grasa y garantizar un buen crecimiento y desarrollo muscular, esta proporción debería estar cercana al 0.67. Aunque parece no ser así en aquellos animales alimentados a base de maíz o sorgo-pasta de soya, los cuales dependerán más del nivel de lisina suministrado (Knowles *et al.*, 1998b). Por consiguiente, la distribución del resto de los AA en la proteína va a depender de la cantidad de lisina requerida por el cerdo en su respectivo estado fisiológico, constituyéndose de esta manera lo que se ha llamado la “proteína ideal”.

Aparte de los factores genéticos, los requerimientos de AA en los cerdos se encuentran influenciados por otros aspectos como: sexo, estado fisiológico, concentración de energía en la dieta, disponibilidad de los AA en los ingredientes, y frecuencia de alimentación (Hahn *et al.*, 1995). Así, se han evaluado los efectos de la lisina sobre las características de la canal del cerdo, sobre el rendimiento de la canal al sacrificio, la profundidad de la grasa dorsal en la última y antepenúltima costilla, el área del músculo *longissimus dorsi* y el porcentaje de tejido magro, encontrándose resultados variables de acuerdo al nivel de incorporación de AA, la capacidad genética y el sexo del cerdo (Hansen y Lewis, 1993; Hahn *et al.*, 1995). Igualmente, se han observado incrementos en la grasa intramuscular en el lomo del cerdo con dietas deficientes en lisina (Cisneros *et al.*, 1996; Witte *et al.*, 2000).

2.3.2 Proteína ideal

La “proteína ideal” es un concepto propuesto por Mitchell en 1924 (Leclercq, 2000) con el fin de optimizar la utilización de la proteína y disminuir la excreción de nitrógeno. El concepto de proteína ideal se refiere básicamente al balance exacto de AA esenciales capaces de satisfacer, sin deficiencias ni excesos, las necesidades absolutas de todos los AA requeridos para el mantenimiento y una máxima deposición muscular en los cerdos. Esto significa que ningún AA se suministra en exceso en comparación con el resto; como consecuencia, la retención de proteína es máxima y la excreción de nitrógeno es mínima. Esto se logra a través de una adecuada combinación de fuentes proteicas y de AA sintéticos (Leclercq, 2000), expresando cada AA como porcentaje con relación a otro AA de referencia (que casi siempre es lisina). Con esto es posible mantener una relación constante, conservando una cantidad adecuada de proteína para cubrir las necesidades fisiológicas y productivas del animal (Baker, 1994).

La nutrición porcina es el área más avanzada en la utilización del concepto de proteína ideal con dietas con alta y baja energía o con alta y baja proteína total, con lo cual se reducen las pérdidas totales del nitrógeno de la dieta proporcionada (Baker, 1997). Se han llevado a cabo experimentos con el uso de dietas formuladas bajo este concepto donde no se encontraron efectos de dietas formuladas con proteína ideal sobre el porcentaje magro de las canales de cerdos en finalización.

Baker (1996) propuso un perfil ideal de AA en el cual muestra los requerimientos de aminoácidos para los cerdos en iniciación, crecimiento y finalización, con base en la proteína ideal, considerando a la lisina como 100% (Cuadro 5), el cual ha sido utilizado desde hace algunos años; además, al formular un alimento es importante considerar la variación existente en los aportes de los AA y conocer los coeficientes de digestibilidad en los ingredientes a utilizar.

La principal ventaja de usar el concepto de proteína ideal está en que la relación ideal de los AA permanece igual para animales de cualquier potencial genético, aunque los requerimientos totales serán diferentes dependiendo del sexo, edad o raza, pero sobre todo,

Cuadro 5. Perfil ideal de aminoácidos para formular dietas para cerdos en diferentes etapas.

Aminoácidos	Patrón ideal % de lisina		
	5 a 20 kg	20 a 50 kg	50 a 110 kg
Lisina	100	100	100
Treonina	65	67	70
Triptófano	17	18	19
Metionina + cistina	60	62	65
Isoleucina	60	60	60
Valina	68	68	68
Leucina	100	100	100
Fenilalanina + tirosina	95	95	95
Arginina	42	36	30
Histidina	32	32	32

(Baker, 1996).

de su capacidad para depositar tejido magro (Baker, 1996).

Este concepto de proteína ideal puede resultar de gran utilidad para la alimentación de cerdos bajo diversas modalidades. Uno de ellos es que permite la formulación de dietas con menor contenido de proteína total para cubrir las necesidades de los AA, logrando un mayor retorno económico; además, se tiene la posibilidad de formular dietas con base en los perfiles de digestibilidad de los ingredientes (Saldaña, 2007).

2.3.3 Dietas bajas en proteína

La manipulación de la dieta ha mostrado ser un método muy eficiente para reducir la excreción de nitrógeno de cerdos en crecimiento y finalización; en esas manipulaciones se incluye la formulación de dietas sobre la base de proteína ideal, la reducción en el contenido de proteína en las dietas (dietas con baja proteína; DBP) y la adición de fuentes de carbohidratos (Kornegay y Verstegen, 2001).

Una DBP es la que proporciona todos los AA, al igual que las dietas estándar, pero sin excesos. Para disminuir la concentración de proteína de una dieta se utilizan AA sintéticos (Mavromichalis, 2009) para igualar la concentración de los principales AA limitantes en los ingredientes. La reducción en el contenido de proteína asociada con una adecuada adición con AA, especialmente L-lisina, que es muy común en dietas para cerdos, tiene dos principales beneficios: primero, se mejora el balance de los AA de la dieta y como consecuencia se reduce la excreción de nitrógeno sin afectar su retención y la ganancia de peso corporal (Kerr *et al.*, 1995); y segundo lugar, se reduce la pérdida de energía por la excreción de nitrógeno en la orina y la pérdida de energía por calor (Le Bellego *et al.*, 2001).

La reducción moderada en el contenido de PC (hasta cuatro unidades porcentuales) en dietas a base de sorgo (*Sorghum vulgare*)-pasta de soya (*Glycine soja*), y la inclusión de lisina y treonina sintéticas, mantiene el comportamiento productivo de los cerdos (Hansen *et al.*, 1993). Sin embargo, una reducción mayor (cinco o más unidades porcentuales) disminuye la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia de los cerdos, aún cuando estas dietas sean complementadas para que los AA cubran los requerimientos del cerdo (Philippe *et al.*, 1992).

Un aspecto negativo del uso de DBP es el aumento en la adiposidad corporal de los cerdos; ello se manifiesta en mayor grasa dorsal. Lo anterior se debe a una mayor disponibilidad de energía neta al disminuir la necesidad de metabolizar los excesos de AA que se encuentran en una dieta estándar, por lo que se retiene en forma de grasa (NRC, 1998). Este resultado disminuye la calidad de la canal, ya que ahora se requiere carne con menor contenido de grasa (Kerr y Easter, 1995).

2.3.4 Uso de sorgo y pasta de soya en dietas para cerdos

En México, el sorgo se utiliza como principal grano para la elaboración de alimento para cerdos en crecimiento y finalización, así como para el pie de cría. Al sorgo se le considera como una excelente fuente de energía (3.280 Mcal/kg de EM), además de su similitud en proteína cruda con el maíz (8.9%) para los cerdos (NRC, 1998). Se le

considera uno de los principales cereales utilizados en la nutrición de cerdos y, a diferencia del maíz, contiene más triptófano (NRC, 1998); sin embargo, se le han encontrado desventajas, ya que contienen gran cantidad de taninos, factores antinutricionales que afectan la digestibilidad de los nutrientes y empobrece el valor nutricional del alimento, por lo que es muy importante analizar el contenido de taninos debido a que se llegan a encontrar diferencias en el valor nutricional del alimento de 90 a 95% cuando se usan sorgos con alto contenido de estos compuestos (Cousins *et al.*, 1981). Pero el sorgo tiene la ventaja de que, adicionándole AA sintéticos, puede ser una fuente más económica para la alimentación de cerdos (Brudevold y Southern, 1994).

De acuerdo a investigaciones realizadas, se ha demostrado que en las dietas sorgo-pasta de soya para cerdos, los principales AA limitantes son: primero lisina, y segundo treonina. Para el tercero hay controversia de si es metionina o isoleucina (Hansen *et al.*, 1993). Sin embargo, la adición adecuada de lisina, metionina, treonina y triptófano a dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína para cerdos, permite obtener ganancia de peso y eficiencia alimenticia similares a las obtenidas con dietas estándar (Kerr *et al.*, 1995).

2.3.5 Respuesta productiva de cerdos en crecimiento alimentados con dietas bajas en proteína

En DBP adicionadas con AA sintéticos para cerdos, se presentó baja tasa de crecimiento en comparación con aquellos alimentados con dieta estándar (Kephart y Sherritt, 1990). Sin embargo, en dietas para cerdos en crecimiento, Figueroa *et al.* (2004) encontraron que la respuesta productiva no cambia al disminuir el porcentaje de PC y adicionar AA sintéticos; además, se puede mejorar la calidad de la canal si se baja la cantidad de energía metabolizable (EM) en esas DBP.

Saldaña (2007) reporta que, en alimento para cerdos en crecimiento, la reducción de 4% en el nivel de PC, en dietas a base de sorgo-pasta de soya adicionadas con AA, no se reduce el consumo de alimento pero sí la ganancia de peso y la conversión alimenticia, comparados con cerdos que fueron alimentados con dietas con el nivel de PC recomendado por el NRC (1998). Por otra parte, Figueroa *et al.* (2004), al reducir la proteína cruda de

16.5 a 12.5% en dietas sorgo-pasta de soya, aumentó el consumo de alimento pero no afectó la ganancia diaria de peso, la conversión alimenticia, la ganancia de carne magra, la grasa dorsal, el área del músculo *longissimus* y el porcentaje de carne magra; y al reducir la EM en las mismas dietas, aumentó el consumo de alimento y mejoró la ganancia de carne magra, pero no hubo efecto sobre la conversión alimenticia, la grasa dorsal y el porcentaje de carne magra.

2.3.6 Efecto de dietas con baja proteína sobre las características de la canal

Se han observado efectos negativos sobre las características de la canal al reducir el contenido proteico en las dietas para cerdos en crecimiento hasta en 4% con una adecuada adición de AA sintéticos (Figuroa *et al.*, 2002). Resultados similares reportaron Kerr *et al.* (1995) y Tuitoek *et al.* (1997), debido a que con el uso de DBP aumentó la grasa dorsal de los cerdos, lo que puede ser parcialmente debido a que hay más energía disponible para la síntesis de lípidos como resultado de la reducción del gasto de energía para catabolizar excesos de proteína en la dieta (Knowles *et al.*, 1998b).

Saldaña (2007), al reducir la proteína en 4%, no encontraron efecto sobre las características de la canal de cerdos alimentados con dietas sorgo-pasta soya adicionadas con AA. Por otra parte, Reyes (2010) reporta que en la etapa de finalización, las características de la canal no fueron afectadas por el nivel de PC en la dieta.

Figuroa *et al.* (2004) concluyeron que cerdos alimentados con DBP adicionadas con AA sintéticos y con menor concentración de EM, presentan menor grasa en la canal, mientras que Knowles *et al.* (1998b) concluyen que una reducción de hasta 3.5% en la EM en DBP, adicionadas con fibra y AA, tienen mínimo efecto sobre las características de la canal de cerdos en finalización. Por esta razón es recomendable tener el nivel óptimo de EM y AA, ya que desviaciones en este resultan en mayor engrasamiento de los cerdos. La disminución de la PC desde 16 hasta 12%, repercutió en menor crecimiento y canales más magras que los cerdos alimentados con 16% y 12%+AA (Kerr *et al.*, 2003).

2.3.7 Metabolismo del nitrógeno y concentración de urea en plasma

Los nutrientes nitrogenados que no son retenidos en los animales se eliminan por las excretas, debido a que la eficiencia con la que los animales usan los nutrientes ingeridos para la retención corporal es generalmente baja (Hartog y Sijtsma, 2007). Asimismo, la cantidad de nitrógeno (N) excretado por los cerdos se ve influenciado por tres factores: la cantidad de N (proteína) que es consumida en la dieta, la eficiencia con que el N de la dieta es utilizado por el animal para el crecimiento y otras funciones, y la cantidad de pérdidas endógenas de N (Fontanillas *et al.*, 2000).

La concentración de urea en plasma se utiliza como indicador de rápida respuesta a los cambios en la concentración de AA que se suministran en la dieta, ya que en forma de urea se transportan los excesos de N al riñón para su excreción. Esta respuesta permite tener un criterio rápido y preciso para estimar los requerimientos de proteína para cerdos en etapas específicas de crecimiento, lo que significa que el metabolismo del N tiene una rápida respuesta a los cambios en la dieta (Coma *et al.*, 1995; Figueroa *et al.*, 2008). Se supone que al disminuir la concentración de urea en plasma, la utilización del N es máxima y por ello, el aporte de la dieta es óptimo.

Figueroa *et al.* (2002) reportaron que con DBP+AA se puede reducir la cantidad de N excretado, o que la cantidad de N retenido depende de la cantidad de N consumido. Además, concluyeron que la proteína cruda en la dieta puede reducirse de 16 a 12% si se adicionan AA sintéticos (L-lisina·HCl, L-treonina, DL-metionina, y L-triptófano), sin afectar los aspectos productivos y ayudando a disminuir la excreción de N en orina y heces. Se ha encontrado que la disminución de la proteína adicionada con AA reduce la excreción de N sin afectar el crecimiento de los cerdos (Shriver *et al.*, 2003).

2.4 Ractopamina

Como ya se había mencionado anteriormente, la ractopamina (RAC) pertenece a la familia de los β -adrenérgicos, ya que es un aditivo agonista de la familia de la fenetanolamina. Actúa sobre los receptores β -adrenérgicos de las células adiposas y del músculo esquelético promoviendo la lipólisis, reduciendo la cantidad de grasa en el cuerpo

de los cerdos y aumentando el crecimiento de tejido magro. Esto también afecta la calidad y composición de la carne magra en la canal, ya que toma nutrientes utilizados para sintetizar grasa y los dirige hacia la acumulación de músculo, favoreciendo así la disminución de la deposición de grasa y una mayor síntesis de proteína (Whittemore, 1993), lo cual lo define como un promotor de crecimiento.

La RAC es un derivado de los β -adrenérgicos que actúa incrementando el flujo sanguíneo, dando con ello una hipertrofia de las fibras musculares esqueléticas, un incremento de la síntesis proteica y una disminución en la degradación de la proteína muscular. Además, la RAC ejerce una activación directa para promover la hidrólisis de los triglicéridos y disminuir la síntesis de ácidos grasos y triglicéridos, lo que provoca una menor acumulación de grasa (LAPISA, 2006).

La Organización Mundial de la Salud define el término *agente promotor del crecimiento* como “aquellas sustancias distintas de los nutrientes de la ración que aumentan el ritmo de crecimiento y mejoran el índice de conversión de los animales sanos y correctamente alimentados“. Por ello, el término “promotor del crecimiento” se puede aplicar a más de un tipo de sustancias usadas en producción animal.¹

Desde el año 2000, el producto RAC (Paylean; Elanco Animal Health) ha sido autorizado para su uso en E.U.A. para adicionarlo a las dietas para cerdos (Figura 2). Varios estudios han demostrado que disminuye la sensibilidad del cerdo (Aalhus *et al.*, 1990; Uttaro *et al.*, 1993; Carr *et al.*, 2005a), mientras que en otras investigaciones se ha reportado que la RAC no presenta ningún efecto en la sensibilidad de carne de cerdo (McKeith *et al.*, 1988; Stites *et al.*, 1994; Stoller *et al.*, 2003).

Con este producto se busca tener una mayor eficiencia alimenticia en los cerdos. Al adicionarlo a la dieta de los animales se trata de obtener mejores resultados, como:

- Mejor eficiencia alimenticia: más del 10%.

¹ Promotores del crecimiento: acciones sobre el eje hipotálamo-hipófisis-adrenal-gónada"
<http://www.racve.es/actividades/promotores%20crecimiento%20SWilvan%20Granado.htm> (revisado el 8 de Abril del 2009.)

- Aumento en la ganancia diaria de peso: más del 10%.
- Incremento del rendimiento de la canal: más del 0.5%.

- C₁₈H₂₃NO₃

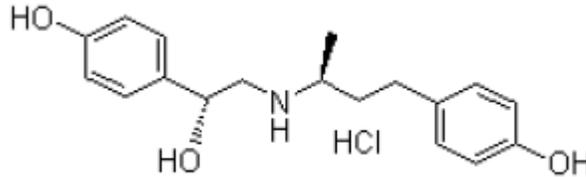


Figura 2. Fórmula estructural de la ractopamina

Fuente: PISA (2010).

2.4.1 Beta-adrenérgicos agonistas

Una gran variedad de *beta-adrenérgicos agonistas* (BA) han sido evaluados en los animales. Las estructuras de estos compuestos son diferentes y sugieren que los efectos de estos compuestos BA pueden ser muy constantes aumentando el porcentaje de carne magra del cerdo, la carne en el vacuno, cordero y aves de corral. El aumento puede estar relacionado con la mayor masa muscular, la disminución de la grasa y los efectos limitados en los subproductos (McKeith, 1989). Numerosos estudios han evaluado la eficiencia de los BA en el crecimiento y composición de la carne de los animales. Además, en estos estudios se observaron cambios en la composición porcentual de proteína y grasa en el músculo. La mayoría de dichos estudios sugieren que los BA reducen el contenido de grasa en la canal del 5 al 10% y aumentan la masa muscular en la misma medida (McKeith, 1989).

Las características de la carne fresca (color, textura y firmeza) no se vieron afectadas o se han mejorado con el uso de los BA. El puntaje de la carne se incrementó en los estudios en cerdos; y hay datos limitados sobre las propiedades sensoriales de la carne de animales tratados con BA. Stites *et al.* (1994) informaron que no hubo diferencia en la textura y la jugosidad de la carne de cerdos tratados con RAC, y Merker (1988) no encontró diferencias en los cortes de la carne en cerdos tratados con RAC.

2.4.3 Mecanismo de acción

La RAC es una molécula (Figura 2) orgánica que se une a los receptores β -adrenérgicos a nivel de la membrana celular, dando lugar al complejo agonista-receptor, que a su vez activa a la proteína Gs². La subunidad α de la proteína Gs activa a la adenilato ciclasa, enzima que produce el monofosfato de adenosina cíclico (AMPC), una de las principales moléculas de señalización intracelular. Esta molécula se une a la subunidad reguladora de la quinasa proteínica A, para liberar la subunidad catalítica que fosforila a un gran número de proteínas intracelulares. Las proteínas intracelulares tienen papeles funcionales vitales para una gama de funciones que van desde permitir la entrada del Ca^{2+} a la célula, hasta mediar la síntesis de proteínas, clave para el funcionamiento celular (PISA, 2010).

El Clorhidrato de Ractopamina incrementa la cantidad de carne magra, así como el peso de algunos cortes. Actúa directamente sobre la redirección de los nutrientes de la acumulación de grasa hacia la síntesis de proteína, de manera que hay un incremento en la carne magra contenida en las canales de los animales que fueron alimentados con dietas a las que se les adicionó el producto (PISA, 2010).

2.4.3.1 Metabolismo en tejido adiposo

En los cerdos alimentados con RAC se reduce el porcentaje de grasa en la canal, lo cual también puede ser consecuencia de una dilución debido a un incremento en la síntesis de proteína, más que a un efecto directo sobre tejido adiposo. La activación directa en los receptores β -adrenérgicos de los adipocitos promueve la hidrólisis de triglicéridos y disminuye la síntesis de ácidos grasos, lo que ocasiona una menor acumulación de lípidos. A su vez se bloquea la absorción de glucosa (PISA, 2010) en los adipocitos.

2.4.3.2 Metabolismo en tejido muscular

El efecto primario de la RAC es participar como enlace de los receptores β -adrenérgicos causando una hipertrofia de las fibras musculares por medio de un incremento

² La Gs es una proteína que se encuentra en la membrana celular, la cual da inicio al proceso metabólico de la célula.

en la síntesis proteínica ocasionada por el flujo de glucosa y AA hacia los miocitos, de manera que el número de fibras musculares se mantiene, pero el tamaño o diámetro de las fibras se incrementa; a su vez, existe una disminución de la degradación de proteína. También se ha documentado un incremento del ARNm para la síntesis de proteína miofibrilar, la cual puede favorecer un incremento de la síntesis y una reducción en la degradación de músculo (PISA, 2010).

2.4.4 Efecto de la ractopamina en cerdos

La inclusión de RAC en la dieta (Elanco Animal Health, Greenfield, Indiana) de cerdos en finalización, ha demostrado mejorar la tasa de crecimiento y el rendimiento de carne magra de la canal sin efectos perjudiciales en la calidad del músculo *longissimus* (LM). Stites *et al.* (1991) encontraron que la RAC no afectó el espesor de pared ventral o propiedades de cocción, el sabor o la aceptación del consumidor de tocino.

Otros estudios han demostrado que hay un efecto de la RAC aumentando el peso final (Armstrong *et al.*, 2004; Carr *et al.*, 2005a; Weber *et al.*, 2006; Xiong *et al.*, 2006) y la ganancia de peso de los animales (Adeola *et al.*, 1990; Watkins *et al.*, 1990; Gu *et al.*, 1991; Crome *et al.*, 1996; Marinho *et al.*, 2007). En otros experimentos no se observaron efectos sobre el peso final (Schinckel *et al.*, 2003; Mimbs *et al.*, 2005; Carr *et al.*, 2005b) o la ganancia diaria de peso de los cerdos alimentados con RAC (Yen *et al.*, 1990; Aalhus *et al.*, 1990; Mimbs *et al.*, 2005; Carr *et al.*, 2005b). Según Dunshea *et al.* (1993), la interacción entre la RAC, el genotipo y el manejo nutricional, explica esta variabilidad en los resultados.

Las características del procesamiento (como el de jamones curados y de parte del estómago) no se ven afectadas por el uso de la RAC (Stites *et al.*, 1991; 1994). Los resultados de estos estudios indicaron que la RAC no tiene efecto sobre el procesamiento de tocino o el espesor del estómago y que el tratamiento incrementó los jamones. Evaluaciones sensoriales de los jamones indicaron que no hubo diferencias en la textura, jugosidad o de la fuerza de cizallamiento del músculo.

III. JUSTIFICACION

Actualmente las exigencias del consumidor por productos de alta calidad nutricional e inocuos, obligan a buscar alternativas que mantengan o mejoren las variables productivas y de la canal, y hacer más rentable la producción porcina. Se han obtenido resultados positivos en cerdos alimentados con dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína adicionadas con aminoácidos sintéticos, con lo cual se busca aumentar la eficiencia en la utilización del alimento y un mejor balance de los nutrimentos, sin impacto negativo sobre el medio ambiente. Lo anterior plantea la determinación del nivel de lisina adecuado que permita expresar la máxima respuesta productiva en cerdos en iniciación, crecimiento y finalización I, alimentados con dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína y, por otro lado, en la fase de finalización II, estudiar el efecto de la ractopamina como una alternativa para la obtención de canales más magras sin afectar la repuesta productiva.

El uso de dietas bajas en proteína presenta un gran beneficio, ya que se puede disminuir el costo de producción y obtener el mismo rendimiento productivo, así como la obtención de más carne magra, y con ello, ofrecer productos de mejor calidad al consumidor y, además, reducir la excreción de compuestos nitrogenados al medio ambiente.

IV. OBJETIVOS

Evaluar el efecto de tres niveles de lisina en dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína para cerdos en iniciación, crecimiento y finalización I, sobre la respuesta productiva, las características de la canal, y la concentración de urea en plasma.

Evaluar el efecto de la ractopamina en dietas con baja proteína con tres niveles de lisina, sobre la respuesta productiva, las características de la canal, y la concentración de urea en plasma de cerdos en finalización II.

V. HIPÓTESIS

El aumento en la concentración de lisina en dietas con baja proteína para cerdos en iniciación, crecimiento y finalización I, mejora la respuesta productiva, las características de la canal, y disminuye aún más la concentración de urea en plasma.

El suministro de ractopamina en el alimento para cerdos en finalización II, alimentados con dietas con baja proteína con tres niveles de lisina, mejora las variables productivas, las características de la canal, y reduce aún más la urea en plasma.

VI. MATERIALES Y METODOS

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones de la Unidad Porcina de la Granja Experimental del Colegio de Postgraduados en Tecámac, estado de México, ubicada entre las coordenadas 19° 43' de latitud norte y 98° 56' de longitud oeste, a una altitud de 2260 msnm. La temperatura promedio en esta localidad es de 14.59 °C y la precipitación anual de 549.88 mm. El clima corresponde a uno seco, semiárido, con temperatura menor a 18 °C y régimen de lluvias en verano (García, 1988).

6.1 Tratamientos evaluados

Las dietas (tratamientos) evaluadas consistieron en dos niveles de proteína (una dieta estándar y otra con baja proteína), y tres niveles de lisina (estándar, 0.1 y 0.2% más) en las dietas con baja proteína por cada etapa de desarrollo, en un diseño completamente al azar (Cuadro 6). La dieta estándar en proteína cruda se formuló de acuerdo a las recomendaciones del NRC (1998) para cada etapa de la engorda; la dieta con baja proteína se formuló con base en los resultados obtenidos para cerdos en iniciación (Trujillo-Coutiño *et al.*, 2007), crecimiento (Martínez-Aispuro *et al.*, 2009, y finalización (Figuroa *et al.*, 2008). Las dietas estándar y con baja proteína fueron formuladas con base en sorgo-pasta de soya, y fueron adicionadas con AA sintéticos (L-Lisina·HCl, DL-Metionina, L-Triptófano y L-Treonina) hasta alcanzar los niveles recomendados por el NRC (1998) de la dieta estándar; el nivel de energía (3.265 Mcal kg⁻¹) se mantuvo constante para todos los tratamientos y etapas (Cuadros 7, 8 y 9). Para formular las dietas se utilizó el programa *Spartan* (Michigan State University, USA, 2000). En la última etapa (finalización II, últimos 28 días de la engorda), se adicionó ractopamina (con o sin RAC) a las dietas con baja proteína adicionadas con lisina, utilizando un diseño estadístico 'Factorial aumentado' (3×2+1=7 tratamientos; Lentner y Bishop, 1993).

6.2 Variables evaluadas

Se evaluó la respuesta productiva (ganancia diaria de peso, GDP; consumo de alimento, CAL; conversión alimenticia, CA; el peso vivo final, Pf; y ganancia de carne

Cuadro 6. Niveles de proteína cruda (%PC), lisina digestible y energía metabolizable en las tres etapas.

Tratamientos iniciación	T0	T1	T2	T3
EM, Mcal kg ⁻¹	3.265	3.265	3.265	3.265
PC, %	20.5	17.4	17.4	17.4
Lisina %	1.01	1.01	1.11	1.21
Tratamientos crecimiento				
EM, Mcal kg ⁻¹	3.265	3.265	3.265	3.265
PC, %	16.5	14	14	14
Lisina %	0.83	0.83	0.93	1.03
Tratamientos finalización				
EM, Mcal kg ⁻¹	3.265	3.265	3.265	3.265
PC, %	14.0	11.8	11.8	11.8
Lisina %	0.66	0.66	0.76	0.86

magra, GCM), las características de la canal (área del músculo *longissimus*, AML; grasa dorsal, GD; porcentaje de carne magra, %CM), y la concentración de urea en plasma.

6.3 Material experimental y manejo de los animales

Se utilizaron 36 cerdos (machos castrados) híbridos (Landrace×Yorkshire×Pietrain), con peso promedio inicial de 10.6 ± 0.23 , alojados en corrales individuales de 1.2×1.5 m, con piso de concreto, equipados con comedero tipo tolva y bebedero de chupón. Los corrales se encuentran en dos salas similares con capacidad para 20 corrales individuales cada una. Para cada tratamiento con baja proteína se utilizaron 10 repeticiones; para el tratamiento testigo (T0) se usaron seis repeticiones, un animal por repetición. El alimento y el agua se ofrecieron *ad libitum* y durante todo el experimento se estuvo pendiente de la limpieza de los corrales y la inspección del estado de salud de los animales. Para la etapa de finalización II, los animales de cada tratamiento con baja proteína se dividieron en dos grupos al azar; a un grupo se le proporcionó la dieta sin RAC (cinco repeticiones por

tratamiento); al otro grupo se le asignó la dieta con RAC (5 repeticiones por tratamiento). El grupo testigo continuó recibiendo la dieta con proteína estándar.

Cada semana se midió el cambio de peso de los cerdos y el consumo de alimento, para determinar la GDP y la CA. Sin embargo, para el análisis estadístico se utilizaron los promedios de cada etapa de la engorda. Para determinar la concentración de urea en plasma se tomaron muestras de sangre en el día inicial y final de cada etapa por medio de punción en la vena cava utilizando tubos *vacutainer* con heparina; las muestras se colocaron en hielo hasta que fueron centrifugadas a 2500 rpm (1286 g) durante 20 minutos para separar el plasma y las células sanguíneas. El plasma se transfirió a tubos de polipropileno y se mantuvieron a -20 °C hasta realizar las determinaciones de urea.

Adicionalmente, el primero y último día de cada etapa se midieron la grasa dorsal y el área del músculo *longissimus* a nivel de la décima costilla utilizando un ultrasonido de tiempo real Sonovet 600 con transductor abdominal de 3.5 MHz (Medison, Inc., Cypress, California, USA). Esta última información, y el peso inicial y final de cada etapa, se utilizaron para estimar la ganancia de carne magra (GCM) y el porcentaje de carne magra (%CM) en la canal utilizando la ecuación del NPPC (1991).

6.5 Análisis de laboratorio

En el laboratorio de Nutrición de Rumiantes del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, se determinó lo siguiente en las dietas: proteína cruda (PC) por el método de Kjeldahl (AOAC, 1990); calcio (Ca) por medio de espectrofotometría de absorción atómica, y fósforo (P) por espectrofotometría de absorción de rayos UV (Fick *et al.*, 1979); y la concentración de urea en plasma (Chaney y Marbach, 1962).

6.4 Diseño y análisis estadístico

El diseño estadístico utilizado para las tres primeras etapas fue uno completamente al azar, cuyo modelo matemático es el siguiente:

Cuadro 7. Composición de las dietas experimentales para cerdos en iniciación

Ingrediente, kg	Tratamiento			
	T 0	T 1	T 2	T 3
Pasta de soya al 44%	668	470	465	455
Sorgo	1248.2	1431.7	1431.4	1437
Fosfato dicálcico	24.1	27.5	28	28
Carbonato de calcio	16.3	15.7	15.5	15.5
Lisina HCL	1.5	7.5	10.5	13
Triptófano	0	0	0	0
Treonina	0	2	2.2	2.2
Metionina	0.4	2.1	2.2	2.3
Sal	7	7	7	7
Aceite de soya	28.5	30.5	32.2	34
Premezcla de vitaminas ^A	2	2	2	2
Premezcla de minerales ^B	2	2	2	2
Oxitetraciclina	2	2	2	2
Total	2000	2000	2000	2000

Análisis calculado %	NRC ^C				
Energía metabolizable Mcal kg ⁻¹	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265
Proteína cruda	20.5	17.4	17.4	17.4	20.9
Calcio	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
Fósforo disponible	0.34	0.35	0.36	0.36	0.32
Fósforo total	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Lisina	1.01	1.01	1.11	1.21	1.01
Treonina	0.65	0.63	0.64	0.63	0.63
Triptófano	0.23	0.18	0.18	0.18	0.18
Metionina + Cistina	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Arginina	1.21	0.94	0.93	0.92	0.42
Histidina	0.47	0.38	0.38	0.38	0.32
Isoleucina	0.78	0.64	0.64	0.63	0.55
Leucina	1.69	1.49	1.48	1.47	1.02
Valina	0.84	0.7	0.7	0.69	0.69
Fenilalanina + Tirosina	1.61	1.34	1.33	1.32	0.95

Análisis determinado, %				
Proteína cruda	21.3	17.14	17.14	17.14
Calcio	0.75	0.79	0.79	0.79
Fósforo	0.57	0.50	0.50	0.50
Costo de la dieta \$ kg ⁻¹ ^D	4.44	4.23	4.28	4.30

^A Proporcionó por kg de alimento: 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; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg.

^B Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

^C Recomendación de nutrimentos sugerida para la etapa de iniciación (NRC, 1998).

^D Calculado con base en el precio de los ingredientes vigentes en septiembre-noviembre de 2010.

Cuadro 8. Composición de las dietas experimentales para cerdos en crecimiento.

Ingrediente, kg	Tratamiento			
	T 0	T 1	T 2	T 3
Pasta de soya al 44%	426.0	270.0	265.0	260.0
Sorgo	1510.9	1653.9	1654.3	1654.6
Fosfato dicálcico	14.7	16.5	16.5	16.5
Carbonato de calcio	18.2	18.4	18.5	18.5
Lisina HCL	4.1	8.8	11.5	14.3
Triptófano	0.0	0.8	0.8	0.8
Treonina	0.3	2.2	2.3	2.3
Metionina	0.2	1.6	1.6	1.7
Sal	5.0	5.0	5.0	5.0
Aceite de soya	15.6	17.8	19.5	21.3
Premezcla de vitaminas ^A	2.5	2.5	2.5	2.5
Premezcla de minerales ^B	2.5	2.5	2.5	2.5
Total	2000	2000	2000	2000

Análisis calculado %	NRC ^C				
Energía metabolizable Mcal kg-1	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265
Proteína cruda	16.5	14.0	14.0	14.0	18.0
Calcio	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Fósforo disponible	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Fósforo total	0.48	0.47	0.47	0.46	0.50
Lisina	0.83	0.83	0.93	1.03	0.83
Treonina	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52
Triptófano	0.18	0.18	0.18	0.18	0.15
Metionina + Cistina	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47
Arginina	0.89	0.68	0.67	0.66	0.33
Histidina	0.37	0.30	0.30	0.29	0.33
Isoleucina	0.61	0.50	0.50	0.49	0.26
Leucina	1.46	1.31	1.30	1.29	0.83
Valina	0.68	0.57	0.57	0.56	0.56
Fenilalanina + Tirosina	1.29	1.08	1.07	1.06	0.78

Análisis determinado%				
Proteína cruda	16.21	13.02	13.02	13.02
Calcio	0.88	0.76	0.76	0.76
Fósforo	0.41	0.38	0.38	0.38
Costo de la dieta \$ kg ⁻¹ . ^D	3.69	3.57	3.60	3.64

^A Proporcionó por kg de alimento: 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; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg.

^B Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

^C Recomendación de nutrientes sugerida para la etapa de crecimiento (NRC, 1998).

^D Calculado con base en el precio de los ingredientes vigentes en septiembre-noviembre de 2010.

Cuadro 9. Composición de las dietas experimentales para cerdos en finalización.

Ingrediente	kg	Tratamiento			
		T 0	T 1	T 2	T 3
Pasta de Soya al 44%		280.0	140.0	135.0	130.0
Sorgo		1671	1800.4	1800.6	1800.3
Fosfato dicálcico		12.0	13.0	13.0	13.5
Carbonato de Calcio		15.6	16.2	16.2	16.0
Lisina HCL		4.1	8.3	11.0	13.8
Triptófano		0.0	0.6	0.6	0.6
Treonina		0.2	1.9	2.0	2.1
Metionina		0.0	1.0	1.1	1.2
Sal		5.0	5.0	5.0	5.0
Aceite de Soya		7.1	8.6	10.5	12.5
Premezcla de vitaminas ^A		2.5	2.5	2.5	2.5
Premezcla de Minerales ^B		2.5	2.5	2.5	2.5
Total		2000	2000	2000	2000

Análisis calculado %	NRC ^C				
Energía metabolizable Mcal kg-1	3.265	3.265	3.265	3.265	3.265
Proteína cruda	14.0	11.8	11.8	11.8	15.5
Calcio	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Fósforo disponible	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
Fósforo total	0.43	0.42	0.41	0.42	0.45
Lisina	0.66	0.66	0.76	0.86	0.66
Treonina	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43
Triptófano	0.14	0.14	0.14	0.14	0.12
Metionina + Cistina	0.40	0.39	0.39	0.39	0.39
Arginina	0.70	0.51	0.50	0.49	0.24
Histidina	0.31	0.24	0.24	0.24	0.21
Isoleucina	0.51	0.41	0.41	0.40	0.37
Leucina	1.33	1.19	1.18	1.18	0.67
Valina	0.58	0.48	0.48	0.48	0.45
Fenilalanina + Tirosina	1.10	0.91	0.90	0.89	0.63

Análisis determinado%				
Proteína cruda	14.7	12.02	12.02	12.02
Calcio	0.71	0.67	0.67	0.67
Fósforo	0.39	0.36	0.36	0.36
Costo de la dieta \$ kg ⁻¹ ^D	3.34	3.21	3.25	3.29

^A Proporcionó por kg de alimento: 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; piridoxina, 2.5 mg; cianocobalamina, 0.0375 mg; biotina, 0.13 mg; cloruro de colina, 563 mg; ácido pantoténico, 20 mg; ácido fólico, 1.25 mg.

^B Aportó por kg de alimento: Fe, 150 mg; Zn, 150 mg; Mn, 150 mg; Cu, 10 mg; Se, 0.15 mg; I, 0.9 mg; Cr, 0.2 mg.

^C Recomendación de nutrientes sugerida para la etapa de finalización (NRC, 1998).

^D Calculado con base en el precio de los ingredientes vigentes en septiembre-noviembre 2010.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_{ij}$$

O

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta(\text{PI}) + \epsilon_{ij}$$

Cuando se ajustaron las variables utilizando el peso inicial como covariable.

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta correspondiente al i-ésimo tratamiento, en la j-ésima repetición.

μ = Media general

T_i = Efecto del Tratamiento i

β (PI) = Coeficiente de la covariable (PI = peso inicial)

ϵ_{ij} = Error experimental. $\epsilon_{ij} \sim \text{NI}(0, \sigma^2_e)$

Para la comparación de medias se probaron contrastes específicos para todas las variables en las etapas de iniciación, crecimiento y finalización, comparando: dieta con proteína estándar contra dietas con baja proteína; nivel estándar de lisina en dietas con baja proteína contra mayor concentración de lisina; adición de 0.1% más lisina contra adición de 0.2% más lisina. Cuando el peso inicial tuvo efecto significativo, se ajustaron las medias con *lsmeans*. Para la fase de finalización II, donde se adicionó ractopamina, también realizaron los siguientes contrastes específicos: el tratamiento testigo contra los de baja proteína; el de baja proteína con nivel estándar de lisina contra los tratamientos con más lisina; la adición de 0.1% más lisina contra 0.2% más; y finalmente, la adición de ractopamina contra las dietas que no se adicionaron.

VII. RESULTADOS

7.1 Iniciación

El nivel de proteína en la dieta (Cuadro 10) no afectó ($P>0.05$) la respuesta productiva (GDP, CAL, CA, Pf, y GCM) de los cerdos. La adición de lisina en dietas con baja proteína tampoco mejoró ($P>0.05$) la respuesta productiva obtenida con la dieta testigo con baja proteína (T1). Tampoco se observaron diferencias ($P>0.05$) entre los tratamientos con más lisina (T2 y T3).

La grasa dorsal final (Gdf) aumentó ($P\leq 0.05$) al disminuir la PC en la dieta (Cuadro 11); la adición de 0.1% más lisina (T2) en dietas con baja proteína aumentó el grosor de la Gdf ($P\leq 0.05$). Agregar más lisina a este tipo de dietas (0.2%; T3) disminuyó ($P\leq 0.02$) la Gdf en los cerdos a niveles similares a los de la dieta testigo con PC estándar (T0) y con lisina estándar con baja proteína (T1). El área del músculo *longissimus* final (AMLf) no fue afectada ($P>0.05$) por la disminución de la PC en las dietas, pero fue mayor ($P\leq 0.04$) al aumentar 0.1% más lisina en las DBP. Mayor adición de lisina (0.2%) no tuvo efecto sobre esta variable. Tanto la DBP con lisina estándar (T1) como la que contenía 0.2% más lisina, presentaron los valores más bajos del AMLf, diferentes ($P\leq 0.05$) a los del T2, aunque similares ($P>0.05$) a los del testigo con PC estándar. El porcentaje de carne magra final (%CM) no fue alterado por el nivel de proteína ni por la adición de lisina en DBP ($P>0.05$).

La concentración de urea en plasma (Cuadro 11) se vio afectada ($P<0.008$) por el nivel de proteína en la dieta, disminuyendo en 33.8% en DBP (17.4%) en comparación con la dieta estándar (20.4%) en PC. La adición de lisina a DBP no disminuyó más la concentración de urea en plasma ($P>0.05$), pero al agregar 0.2% más lisina en la DBP aumentó ($P\leq 0.05$) la concentración de urea en plasma a niveles similares a los de la dieta estándar en PC.

7.2 Crecimiento

La GDP, el CAL, la CA, y la GCM no fueron afectados por el nivel de PC (Cuadro 12) en la dieta ($P>0.05$), ni por la adición de lisina en DBP ($P>0.05$). Sin embargo, agregar 0.1% más lisina a DBP mejoró ($P\leq 0.03$) la GDP de los cerdos a niveles similares a los de la dieta estándar en PC; mientras que la adición de 0.2% más lisina ($P\leq 0.03$) disminuyó la respuesta hasta los valores observados en los animales de la DBP estándar en lisina. El CAL también mejoró ($P\leq 0.06$) con la adición de 0.1% más lisina; pero la adición de 0.2% más lisina redujo el consumo a niveles similares al testigo en PC y DBP con lisina estándar ($P>0.05$). El Pf también mejoró ($P\leq 0.03$) con la adición de 0.1% más lisina en DBP, y los valores son semejantes a los observados con la dieta estándar en PC, y mejores ($P\leq 0.05$) que la DBP estándar en lisina (T1). La GCM se redujo ($P\leq 0.07$) al disminuir la concentración de PC en la dieta; sin embargo, agregar lisina a DBP no mejoró ($P>0.05$) esta variable.

La GDf no fue diferente ($P>0.05$) en cerdos alimentados con PC estándar o con baja proteína (Cuadro 13). Sin embargo, al agregar 0.2% más lisina a la DBP se redujo ($P\leq 0.03$) el grosor de la GDf a niveles similares a los de la dieta estándar en PC. El AMLf también bajó ($P\leq 0.05$) al disminuir la PC en las dietas; pero al agregar 0.1% más lisina se mejoró esta variable a niveles similares a los de la dieta estándar en PC. Incluso, este nivel de adición fue mejor ($P\leq 0.05$) que la DBP estándar en lisina y que la que contenía 0.2% más lisina ($P\leq 0.05$). El %CMf no fue alterado ($P>0.05$) por el nivel de PC o la adición de lisina a DBP ($P>0.05$).

La concentración de urea en plasma disminuyó ($P<0.02$) en 33.7% cuando se redujo el nivel de PC en la dieta, de 16 a 14%. Agregar lisina extra, ya sea 0.1 o 0.2%, a las dietas con baja proteína, no disminuyó más esta variable ($P>0.05$).

7.3 Finalización

La reducción del nivel de PC en las dietas no afectó ($P>0.05$) las variables productivas en esta etapa (Cuadro 14). Tampoco la adición de lisina a dietas con baja

proteína mejoró ($P>0.05$) la respuesta de los cerdos. Aun así, la adición de 0.1% más lisina a dietas con baja proteína aumentó ($P\leq 0.03$) la GDP y el Pf a niveles semejantes a los observados con la dieta estándar en PC. La GCM tendió ($P\leq 0.09$) a mejorar al disminuir la PC en las dietas, y fue mejor ($P\leq 0.04$) con la adición de 0.1% más lisina en dietas con baja proteína.

Las características de la canal (Gdf, AMLf, y %CMf) no fueron afectadas ($P>0.05$) por la reducción del contenido de PC en la dieta (Cuadro 15). Al agregar 0.1% más lisina en DBP, la Gdf tendió a aumentar ($P\leq 0.08$), y el AMLf mejoró ($P\leq 0.03$), presentando ambas variables valores mayores que la dieta estándar en PC. La adición de 0.2% más lisina pareció deteriorar ($P>0.05$) el AMLf de los cerdos alimentados con DBP.

La concentración de urea en plasma se redujo 45.2% ($P<0.0001$) al disminuir de 14 a 11.8% la PC en la dieta. La adición de lisina extra a dietas con baja proteína no ayudó a bajar más la concentración de urea en plasma; al contrario, pareció aumentar ($P>0.05$) a medida que el nivel de adición de lisina sintética fue mayor.

7.4 Ractopamina

La GDP ($P\leq 0.002$), y el Pf ($P\leq 0.002$) de los cerdos alimentados con DBP fueron mayores que en los cerdos que recibieron la dieta testigo con PC estándar; la CA fue mejor ($P\leq 0.0001$) en cerdos alimentados con dietas con baja proteína. Sin embargo, la adición de más lisina no aumentó ($P>0.05$) la respuesta de los cerdos en estas variables, aunque los valores observados para el 0.2% más de lisina parecen mayores que en los demás tratamientos para GDP, CAL, Pf, y GCM. La adición de ractopamina no mejoró estas variables; al contrario, la GCM disminuyó en los cerdos que recibieron las DBP adicionadas con este aditivo, mientras que el CAL fue mayor en este tratamiento.

La Gdf fue mayor ($P\leq 0.05$) al disminuir la concentración de proteína cruda en la dieta. La adición de lisina extra en DBP no afectó ($P>0.81$) el grosor de la Gdf. Sin embargo, la Gdf fue menor ($P\leq 0.01$) en cerdos que recibieron dietas adicionadas con 0.2% más lisina en comparación con los que fueron alimentados con 0.1% más. Asimismo, la

incorporación de ractopamina a las DBP aumentó ($P \leq 0.01$) el grosor de la GD, excepto con el último nivel de lisina (0.2%). El AMLf no fue afectado ($P > 0.27$) por la reducción de la PC en la dieta, ni por la adición de lisina extra ($P > 0.29$) o de ractopamina ($P > 0.39$) en las dietas con baja proteína. Cuando se agregó 0.2% de lisina extra se redujo ($P \leq 0.03$) el AMLf en comparación con la adición de 0.1%. El %CMf se redujo ($P \leq 0.04$) al disminuir la concentración de PC en la dieta. La adición de lisina extra ($P > 0.16$) o de ractopamina ($P > 0.87$) en DBP no mejoró esta variable, aunque la adición de 0.1% pareció igualar ($P > 0.05$) el %CMf de los cerdos a valores observados en la dieta estándar en PC.

La concentración de urea en plasma disminuyó ($P < 0.0001$) en 56.8% cuando se redujo el nivel de PC en la dieta. La adición de lisina extra ($P > 0.57$) o de ractopamina ($P > 0.55$) en dietas con baja proteína no bajó más esta variable.

VIII. DISCUSIÓN

8.1 Iniciación

Los resultados obtenidos muestran que la disminución de 20.4 a 17.4% de PC, en dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con AA sintéticos, no afecta negativamente el comportamiento productivo de los cerdos en iniciación, en comparación con aquellos alimentados con dietas con el nivel de PC recomendado por el NRC (1998) para esta etapa. Esto concuerda con reportes previos (Martínez, 2005; Trujillo *et al.*, 2007), donde se encontró que es posible obtener un rendimiento productivo aceptable reduciendo hasta en más de seis unidades porcentuales la PC en dietas similares a las utilizadas en esta investigación; aunque en otro estudio (Zamora, 2006) se observó que al reducir en seis unidades porcentuales la PC con dietas sorgo-pasta de soya, disminuyó la respuesta productiva de los cerdos. Estos resultados también son parecidos a los reportados por Hansen *et al.* (1993), quienes, al reducir 6.0% la PC de la dieta y adicionar lisina, metionina, treonina y triptófano para cerdos en iniciación, observaron que la GDP, CAL y CA fueron inferiores a los obtenidos en cerdos alimentados con dietas con 21% PC. Por otra parte, Le Bellego y Noblet (2002) alimentaron cerdos con 5.5% menos PC en dietas a base de trigo-maíz-cebada, adicionadas con lisina, metionina, treonina, triptófano, isoleucina y valina, y no observaron diferencias en la GDP; algo parecido a lo encontrado con una reducción de 5.7 unidades porcentuales en dietas maíz-pasta de soya (Mavromichalis *et al.*, 1998) adicionadas con lisina, metionina, treonina, triptófano y valina, donde no hubo diferencias en la GDP, CAL y CA en los cerdos alimentados con este tipo de dieta comparados con cerdos alimentados con dietas estándar.

Sólo la adición de 0.1% más lisina a dieta con baja proteína parece mejorar el AMLf y el %CMf de los cerdos, aunque también aumenta el grosor de la Gdf. Esto podría indicar un mayor requerimiento de lisina para los cerdos utilizados en esta investigación, o que estos cerdos tienen un mayor potencial para deposición de tejido magro que el recomendado por el NRC (1998) para esta etapa. Estos resultados son similares a los encontrados por García *et al.* (2010) quienes encontraron un aumento de la grasa en los

cerdos a los que se les proporcionó más lisina en comparación con la dieta estándar. Esta variabilidad en los resultados puede deberse al nivel de lisina incorporado, la capacidad genética para retención de tejido magro, y el sexo de los cerdos (Hahn *et al.*, 1995; Hansen y Lewis, 1993).

La urea se redujo conforme bajó la proteína en las dietas, resultados que concuerdan con los obtenidos por Martínez (2005), Trujillo *et al.* (2007) y Reyes (2010), con cerdos machos castrados en iniciación, quienes observaron una reducción lineal de la urea en plasma al disminuir 6 y 4% la PC, respectivamente, en dietas sorgo-pasta de soya. Este resultado también se ha observado cuando se utiliza maíz-pasta de soya como base de la alimentación, con reducción de 42% en la excreción de nitrógeno al disminuir la PC en 5.5% (Le Bellego y Noblet, 2002). Esto indica una mejor utilización del nitrógeno por los cerdos alimentados con dietas bajas en proteína adicionadas con aminoácidos sintéticos con respecto a los que son alimentados con dietas estándar.

8.2 Crecimiento

La disminución de 16.5 a 14% de PC en dietas sorgo-pasta de soya, no afectó el comportamiento productivo. Estos resultados son similares a los obtenidos por Reyes (2010) con una disminución de 2.5% en la PC en dietas sorgo-pasta de soya adicionando AA sintéticos, quien no encontró diferencias significativas en las variables productivas. Por otra parte, Tuitoek *et al.* (1997) reportaron resultados parecidos cuando alimentaron cerdos con dietas reducidas hasta 3.6 unidades porcentuales de PC. Sin embargo, Saldaña (2007), al reducir en 4% el nivel de PC, encontró que no se afectó el CAL pero si la GDP y la CA, lo que ya había sido observado por Hansen *et al.* (1993) al reducir en 4% la PC en dietas sorgo-pasta de soya y agregar lisina, treonina, metionina y triptófano; disminuyó la GDP, así como la CA, pero no tuvo efecto sobre el CAL en cerdos en crecimiento. Por lo anterior, se sugiere un mínimo de 14% de PC en dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con lisina y treonina para obtener una respuesta productiva óptima.

En dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con AA sintéticos para cerdos en crecimiento sólo se puede disminuir la concentración de PC en 1.5%, ya que si la reducción es mayor, se afecta negativamente en comportamiento productivo (Martínez *et al.*, 2009).

Sin embargo, en ocasiones se puede reducir la PC de la dieta hasta en cuatro unidades porcentuales y se obtienen resultados productivos adecuados con dietas a base de maíz-pasta de soya (de 16 a 12% PC; Figueroa *et al.*, 2003) o sorgo-pasta de soya (de 16.5 a 12.5%; Figueroa *et al.*, 2004), con adición de AA sintéticos para cerdos en crecimiento.

Con respecto al grosor de la grasa dorsal y la proporción de carne magra en la canal, estas variables no fueron afectadas por los factores en estudio, lo cual coincide con lo encontrado por Figueroa *et al.* (2002, 2003) al reducir la proteína cruda de la dieta de 16 hasta 11% en dietas maíz-pasta de soya, y por Martínez (2005) y Zamora (2006) al disminuir la PC de 16.5 hasta 11.5% en dietas sorgo-pasta de soya. Sin embargo, otros autores (Le Bellego *et al.*, 2001; Gómez *et al.*, 2002) difieren de lo anterior, ya que, al reducir la PC de 3.6 a 5%, observaron un incremento en el grosor de la grasa dorsal en cerdos en crecimiento, debido a que existe una mayor retención de energía en forma de grasa con el uso de dietas bajas en proteína. Es notable observar que la adición de 0.1% más lisina a dietas con baja proteína mejoró el AML. Esto puede indicar que en esta etapa y para esta variable, los cerdos tienen un requerimiento mayor de lisina que el recomendado por NRC (1998) para cerdos en crecimiento. Resultados similares encontraron López *et al.* (2010), quienes reportaron un efecto cuadrático sobre el AML debido al efecto del PI sobre el AML, debido a que los animales más pesados presentaron mayor AML al inicio del experimento, lo que conllevó a una respuesta similar al final del experimento. Esto coincide con lo reportado por otras investigaciones en cerdos en crecimiento (Hansen y Lewis, 1993; Witte *et al.*, 2000; Medina, 2002). La eficiencia de utilización de lisina y otros AA depende del equilibrio entre ellos, y además, el requerimiento es diferente para cada variable de respuesta.

Resultados previos a esta investigación (Martínez, 2005; Trujillo, 2005; Zamora 2006; Martínez *et al.*, 2009; Reyes, 2010) indican que al reducir la proteína de la dieta disminuye la concentración de urea en plasma, lo cual muestra una mayor eficiencia de utilización del N (Figueroa *et al.*, 2002). La disminución en la urea encontrada en este experimento indica que la excreción de nitrógeno es menor al reducir la PC de la dieta, siempre y cuando se agreguen AA sintéticos para no afectar la síntesis de proteína o provocar desequilibrios entre AA (Zervas y Zijlstra, 2002).

8.3 Finalización

En la etapa de finalización, la PC no afectó la respuesta productiva ni las características de la canal, lo cual confirma que disminuyendo 2.2 unidades porcentuales la concentración de PC (de 14 a 11.8%) en dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con AA sintéticos, mantiene el resultado obtenido con la dieta estándar. Esto coincide con lo encontrado por Reyes (2010), quien disminuyó 1.5 unidades porcentuales la PC en la dieta (de 14 a 12.5%) y no encontró diferencias significativas. Por otro lado, Tuitoek *et al.* (1997) observaron una tendencia a disminuir la GDP mientras menor sea el nivel de PC (11%), y una respuesta productiva similar a las dietas testigo con un nivel de 12.8% de PC. Zamora (2006) encontró que la GDP y la GCM fueron afectados por el nivel de PC en la dieta. Esto coincide con lo encontrado por Rivera (2008) que al reducir 4% o más la PC en dietas con base en sorgo-pasta de soya, disminuye la GDP, CAL, Pf y GCM comparado con dietas con niveles de PC estándar. Estos resultados son similares a los reportados por Ward y Southern (1995), Gómez *et al.* (2002), y Figueroa *et al.* (2002 y 2004), quienes evaluaron el desempeño de cerdos alimentados con dietas a base de maíz ó sorgo-pasta de soya, reducidas en más de 4% de proteína y suplementadas con AA sintéticos, y observaron que los cerdos alimentados con dietas con mayor cantidad de proteína intacta tienen mayor CAL y mejor GDP. La disminución del CAL en cerdos alimentados con dietas con baja proteína podría explicarse por la menor cantidad de proteína intacta que tal vez redujo la palatabilidad del alimento.

En dietas con baja proteína sólo se pueden reducir la PC en 4%, ya que a mayor reducción se pueden provocar deficiencias de aminoácidos u otros nutrientes, lo cual limitaría la respuesta productiva de los cerdos (Cervantes-Ramírez *et al.*, 1991, Page *et al.*, 1993, Ward y Southern, 1995 y Gómez *et al.*, 2002) en finalización.

Las características de la canal no se alteran por la disminución de la PC en la dieta de cerdos en finalización. Se ha encontrado que al disminuir 4% la PC en la dieta (de 13.8 a 9.8%) no hay diferencias en GD, AML y %CM de los cerdos (Figueroa *et al.*, 2004); resultados similares a lo observado por Zamora *et al.* (2010) al disminuir 4.5% la PC de la dieta, lo que significa que al menos se mantiene la calidad de la canal al reducir la PC en la

dieta. Estos resultados difieren de lo encontrado por Tuitoek *et al.* (1997) y Le Bellego *et al.* (2001), quienes indican que hay una tendencia a incrementarse la retención de energía en forma de grasa al reducir en más de 3% la PC de la dieta.

La disminución de la concentración de urea en plasma, observada en este experimento, coincide con otros reportes: se disminuye la urea en plasma conforme se reduce la PC en la dieta siempre y cuando se adicionen AA sintéticos (Martínez, 2005; Rivera, 2008; Zamora *et al.*, 2010; Reyes, 2010). Una menor concentración de urea en plasma indica que los excesos de AA se reducen y que la proteína en la dieta se utiliza con mayor eficiencia (Coma *et al.*, 1995). Agregar más lisina a la dieta no redujo más la urea en plasma, lo que indica que no es necesario agregar lisina para que se disminuya este metabolito en el plasma de los cerdos. Kerr *et al.* (1995) mencionan que por cada unidad porcentual que se disminuya la PC en las dietas, se observa una reducción de entre 8.5 y 12.5% en la excreción de N; con lo cual también bajan los olores y la emisión de NH₃ producido por el exceso de N consumido por los cerdos (Canh *et al.*, 1998).

8.4 Ractopamina

La respuesta productiva (con excepción del CAL) de los cerdos alimentados con baja proteína fue superior a la de los cerdos que recibieron la proteína estándar. Esto indica que el nivel recomendado por el NRC (1998) es excesivo para los cerdos en finalización II. Sin embargo, la adición de lisina extra a dietas con baja proteína no aumentó la respuesta de los cerdos, con excepción de la adición de 0.2% de más lisina, que produjo mayor GDP, Pf, y GCM que el tratamiento estándar en PC. Estos resultados son diferentes a los reportados por Echeverry *et al.* (2008), quienes observaron un incremento de la GDP en los tratamientos con RAC con el nivel de lisina 0.95% al compararla con los niveles 0.65 y 0.80%, lo cual a su vez coincide con los resultados de Dunshea *et al.* (1993), quienes encontraron mejores resultados en la GDP al incrementar los niveles de lisina.

Es notable observar que la incorporación de ractopamina a dietas con baja proteína adicionadas con lisina disminuyó la GCM en comparación con los cerdos que no recibieron este promotor de crecimiento, aunque los valores son semejantes a los del tratamiento

estándar en PC. Por otro lado, Obispo *et al.* (2005) no encontraron efecto entre los niveles de lisina y los de ractopamina utilizados, lo que no coincide con los resultados obtenidos por Carr *et al.* (2005b) quienes observaron un aumento en el Pf de los cerdos alimentados con RAC en comparación con los cerdos que recibieron la dieta testigo. Los otros dos factores estudiados en este experimento (lisina extra o ractopamina) no mostraron efectos, lo cual coincide con los resultados encontrados por Aalhus *et al.* (1990), quienes no observaron efecto del nivel de ractopamina sobre la conversión alimenticia, resultado posiblemente provocado por el bajo nivel de lisina utilizado en su investigación. Sin embargo, estos resultados difieren de lo encontrado por Crome *et al.* (1996) y De Camp *et al.* (2001), quienes observaron una mejor conversión alimenticia con el empleo de ractopamina en la dieta.

La Gdf y el %CMf fueron afectados por el nivel de PC en la dieta, deteriorándose en las dietas con baja proteína en comparación con el tratamiento testigo. El AMLf fue mayor en cerdos alimentados con 0.1% más lisina, siendo menor al incrementarse el nivel de lisina en 0.2%. Sin embargo, incorporar ractopamina mejoró ligeramente la respuesta de los cerdos, lo que coincide con los resultados reportados por Pérez *et al.* (2006), donde se observó que hay una tendencia a disminuir el AMLf en los tratamientos sin RAC al incrementarse el nivel de lisina, y a aumentar al añadirse la RAC a mayores niveles de lisina. Sin embargo, estos resultados difieren de lo encontrado por Schinckel *et al.* (2003), quienes observaron una tendencia a mayor AMLf a medida que se incrementaba el nivel de lisina (0.82 y 1.08%) en combinación con 20 ppm de RAC. Sin embargo, es importante considerar que los efectos de la RAC están influenciados por un potente estimulador de la movilización del tejido adiposo y la baja regulación de los adipositos receptores β -adrenérgicos (Liu *et al.*, 1994). La GDF mostró efecto del nivel de PC en la dieta, donde la GD del tratamiento testigo fue menor que los tratamientos con baja proteína. También se observó que hay una tendencia a disminuir la GDF en los tratamientos sin RAC al aumentar el nivel de lisina a 0.86%, comparados con los niveles 0.66 y 0.76%; resultados que difieren de los reportados por Pérez *et al.* (2006), donde se encontró una disminución en la GD al aumentar nivel de RAC, con 1.15% de lisina, en comparación con 0.95 y 1.05%; y con lo observado por Echeverry *et al.* (2008), quienes, al adicionar RAC obtuvieron una

disminución en la GD comparados con los tratamientos sin RAC, debido al incremento de la lipólisis y a la disminución de la lipogénesis. El aumento del nivel de lisina en la dieta tiende a disminuir la GD, posiblemente motivado por un incremento en la tasa de retención del nitrógeno en el músculo (Hansen y Lewis, 1993; Hahn *et al.*, 1995; Chen *et al.*, 1999).

Ha sido ampliamente reportado que al bajar la proteína en la dieta la concentración de urea en plasma se reduce (Martínez, 2005; Zamora *et al.*, 2010; Reyes, 2010). La disminución en la urea encontrada en este experimento sólo fue afectada por el nivel de proteína, lo cual indica que hay una menor pérdida de nitrógeno al reducir la PC de la dieta. El nivel de lisina y la inclusión de ractopamina no presentaron ningún efecto sobre la concentración de urea en plasma.

IX. CONCLUSIONES

La reducción de la proteína en 3.1, 2.0 y 2.2% para cerdos en iniciación, crecimiento y finalización, respectivamente, en dietas a base de sorgo-pasta de soya adicionadas con AA sintéticos, no afecta negativamente el comportamiento productivo, ni las características de la canal, pero reduce la concentración de urea en plasma.

La adición de 0.1% más lisina en dietas con baja proteína mejora la respuesta de los cerdos en iniciación, crecimiento y finalización, en comparación con la dieta de baja proteína con lisina estándar. Mayor nivel de adición de lisina a este tipo de dietas parece reducir la respuesta de los cerdos.

La adición de ractopamina en cerdos en finalización II alimentados con dietas con baja proteína, mostró que la ractopamina no mejora el comportamiento productivo, las características de la canal, ni la concentración de urea en plasma de cerdos en finalización, bajo las condiciones en que se realizó esta investigación.

X. LITERATURA CITADA

- Aalhus, J. L., S. D. M. Jones, A. L. Schaefer, A. K. W. Tong, W. M. Robertson, J. K. Merrill, and A. C. Murray. 1990.** The effect of ractopamine on performance, carcass composition and meat quality of finishing pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 70:943–952.
- Adeola, O., E. A. Darko, P. He, and L. G. Young. 1990.** Manipulation of porcine carcass composition by ractopamine. *J. Anim. Sci.* 68 (11): 3633-3641.
- Adeola, O. 1999.** Nutrient management procedures to enhance environmental conditions: an introduction. *J. Anim. Sci.* 77:427-429.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990.** Official Methods of Analysis. 15 Ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA. Pp 37-38.
- Armstrong, T. A., D. J. Ivers, J. R. Wagner, D. B. Anderson, W. C. Weldon, and E. P. Berg. 2004.** The effect of dietary ractopamine concentration and duration of feeding on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 82: 3245-3253.
- Batterham, E. S., L. M. Andersen, D. R. Baigent, and E. White. 1990.** Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs: Effect of dietary lysine concentration on efficiency of lysine retention. *Br. J. Nutr.* 64: 81-94.
- Baker, D. H. 1994.** Ideal amino acid profile for maximal protein accretion and minimal nitrogen excretion in swine and poultry. In: *Proc. Cornell Nutr. Conf. Feed Manuf.*, Rochester, NY. Pp. 134.
- Baker, D. H. 1996.** Advances in amino acid nutrition and metabolism of swine and poultry. In: *Nutrient Management of Food Animals to Enhance and Protect the Environment.* Ed. E. T. Kornegay. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. Pp. 41-53.
- Baker, D. H. 1997.** Ideal amino acid profiles for swine and poultry and their applications in feed formulation. *Biokyowa Technical Review No. 9.* Pp. 23.
- Bikker, P., M. W. A. Verstegen, and M. W. Bosch. 1994.** Amino acid composition of growing pigs as affected by protein and energy intake. *J. Nutr.*, 124: 1961-1969.
- 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.

- Canh, T. T., A.J.A. Aarnink, J. B. Schutte, A. Sutton, D. J. Langhout, and M.W.A. Verstegen. 1998.** Dietary protein affects nitrogen excretion and ammonia emission from slurry of growing-finishing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 56:181-191.
- Carr, S. N., D. J. Ivers, D. B. Anderson, D. J. Jones, D. H. Mowrey, M. B. England, J. Killefer, P. J. Rincker, and F. K. McKeith. 2005a.** The effects of ractopamine hydrochloride on lean carcass yields and pork quality characteristics. *J. Anim. Sci.* 83: 2886–2893.
- Carr, S. N., P. J. Rincker, J. Killeger, M. Ellis, and F. K. McKeith. 2005b.** Effects of different cereal grains and ractopamina hydrochloride on performance, carcass characteristics, and fat quality in late-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 83: 223-230.
- Cervantes-Ramírez, M., G. L. Cromwell, and T. S. Stahly. 1991.** Amino acid supplementation of a low-protein, grain sorghum-soybean meal diet for growing pigs. *J. Anim. Sci.* 69 (1): 364 (Abstr.).
- Chara, Q. K. 2007.** Principios básicos en la alimentación del ganado porcino. Alimentación en ganado porcino. Disponible en: www.agritacna.gob.pe/PUBLICACIONES2007/Porcino01.pdf
- Chaney, A. L., and E. P. Marbach. 1962.** Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clin. Chem.* 8: 130-132.
- Chen, S. Y., A. J. Lewis, P. S. Miller, and J. T. Yen. 1999.** The effect of excess protein on growth performance and protein metabolism of finishing barrows and gilts. *J. Anim. Sci.* 77: 3238-3247.
- Cisneros, F., M. Ellis, D. H. Baker, R. A. Easter, and F. K. McKeith. 1996.** The influence of short-term feeding of amino acid-deficient diets and high dietary leucine levels on the intramuscular fat content of pig muscle. *J. Anim. Sci.* 63: 517-522.
- Cooper, D. R., J. F. Patience, R. T. Zijlstra, and M. Rademacher. 2001.** Effect of energy and lysine intake in gestation on sow performance. *J. Anim. Sci.* 79: 2367-2377.
- 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 pig. *J. Anim. Sci.* 73: 472-481.
- Cousins, B W., T. D. Tanksley Jr., D. A. Knabe, and T. Zebrowska. 1981,** Nutrient digestibility and performance of pigs fed sorghums varying in tannin concentration. *J. Anim. Sci.* 53: 1524-1537.
- Crome, P. K., F. K. McKeith, T. R. Carr, D. J. Jones, D. H. Mowrey, and J. E. Cannon. 1996.** Effect of ractopamine on growth performance, carcass composition

and cutting yields of pigs slaughtered at 107 and 125 kilograms. *J. Anim. Sci.* 74: 709-716.

De Camp, S. A., S. L. Hankins, A. L. Carroll, D. J. Ivers, B. T. Richert, A. L. Sutton, and D. B. Anderson. 2001. Effects of ractopamine and level of dietary crude protein on phosphorus excretion from finishing pigs. Purdue University Swine Research Report.

Dunshea, F. R., R. H. King, R. G. Campbell, R. D. Sainz, and Y. S. Kim. 1993. Interrelationships between sex and ractopamine on protein and lipid deposition in rapidly growing pigs. *J. Anim. Sci.* 71: 2919-2930.

Echeverry, Z. J. J., A. Gómez, y J. E. Parra. 2008. Efectos de un β -adrenérgico comercial y varios niveles de lisina sobre la ganancia de peso de cerdos en finalización. *Revista Lasallista de Investigación* 5 (1): 45-50. Colombia.

ELANCO. 1999. Swine nutrition guide for industry professionals. Indianapolis, IN: Elanco Animal Health.

Fick, K. A., L. R. McDowell, P. H. Miles, N. S. Wilkinson, J. D. Funk, J. H. Conrad y R. Valdivia. 1979. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. 2da. Ed. Departamento de Ciencia Animal. Universidad de Florida. Gainesville, Florida, E.E.U.U. pp 601-701.

Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, R. S. Gómez, and R. M. Diedrichsen. 2002. Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diet or low-crude protein, amino acid-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 80: 2911-2919.

Figuroa, J. L., A. J. Lewis, P. S. Miller, R. L. Fischer, and R. M. 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, J. L., M. Cervantes, M. Cuca y M. Méndez. 2004. Respuesta de cerdos en crecimiento y finalización a dietas con baja proteína y energía. *Agrociencia* 38: 383-394.

Figuroa, J. L., M. Martínez, J. E. Trujillo, V. Zamora, J. L. Cordero, and M. T. Sánchez-Torres. 2008. Plasma urea nitrogen concentration and growth performance of finishing pigs fed sorghum-soybean meal, low-protein diets. *J. Appl. Anim. Res.* 33: 7-12.

- Fontanillas, R., S. Mack, y M. Rademacher. 2000.** Estrategias nutricionales para reducir la excreción nitrogenada en cerdos. Degussa-Huls S.A, Barcelona. España. Disponible en:
<http://www.revista-anaporc.com/contenidos/excrec.htm>
- Friesen, K. G., J. L. Nelssen, R. D. Goodband, M. D. Tokach, J. A. Unruh, D. H. Kropf, and B. J. Kerr. 1994.** Influence of dietary lysine on growth and carcass composition of high-lean growth gilts fed from 34 to 72 kilograms. *J. Anim. Sci.* 72: 1761-1770.
- Gallardo, N. J. L. 2006.** Situación actual y perspectivas de la carne de porcino en México 2006. Coordinación General de Ganadería. SAGARPA. Disponible en:
<http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/estudio/sitpor06.pdf>. Consultado en Marzo 2010.
- García, E. 1988.** Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen (para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). 4ª edición. México D. F. 217 p.
- García, C. R. F., O. E. Malacara, J. Salinas, M. Torres, J. M. Fuentes, y J. R. Kawas. 2010.** Efecto de la suplementación de lisina sobre la ganancia de peso y características cárnicas y de la canal en cerdos en iniciación. *Revista Científica FCV-LUZ* 20 (1): 61-66.
- Gómez, R. S., A. J. Lewis, P. S. Miller, and H. Y. Chen. 2002.** 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.* 80: 644-653.
- Gu, Y., A. P. Schinckel, J. C. Forrest, C. H. Kuei, and L. E. Watkins. 1991.** Effects of ractopamine, genotype, and growth phase on finishing performance and carcass value in swine: I. Growth performance and carcass merit. *J. Anim. Sci.* 69(7): 2685-2693.
- Hahn, J. D., R. R. Biehl, and D. H. Baker. 1995.** Ideal digestible lysine level for early and late finishing swine. *J. Anim. Sci.* 73: 773-784.
- Hansen, B. C., and A. J. Lewis. 1993.** Effects of dietary protein concentration (corn:soybean meal ratio) on the performance and carcass characteristics of growing boars, barrows, and gilts: mathematical descriptions. *J. Anim. Sci.* 71: 2122-2132.
- Hansen, J. A., D. A. Knabe, and K. G. Burgoon. 1993.** Amino acid supplementation of low-protein, sorghum-SBM diets for 20- to 50-kilogram swine. *J. Anim. Sci.* 71: 442-451.

- Hartog, L. y R. Sijtsma. 2007.** Estrategias nutricionales para reducir la contaminación ambiental en la producción de cerdos. XXIII Curso de especialización FEDNA. Madrid, España. 24 p.
- Herr, C. T., D. C. Kendall, K. A. Bowers, and B. T. Richert. 2000.** Evaluating feed energy levels for grow-finish pigs. Swine Day. Department of Animal Sciences. Purdue University. Pp. 35-38.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2009.** Alimentación de cerdos en engorde para obtener máximo rendimiento de tejido magro. Disponible en: http://www.inta.gov.ar/PERGAMINO/info/documentos/Alimentacion_cerdos_01.pdf Consulta: Febrero 2010.
- Kephart, K. B., and G. W. Sherritt. 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., and R. A. Easter. 1995.** Effect of feeding reduced protein, amino acid-supplemented diets on nitrogen and energy balance in grower pigs. J. Anim. Sci. 73 (10): 3000-3008.
- Kerr, B. J., F. K. McKeith, and R. A. Easter. 1995.** Effects on performance and carcass characteristic of nursery to finisher pigs fed reduced crude protein, amino acids-supplemented diets. J. Anim. Sci. 73: 433-440.
- Kerr, B. J., J. T. Yen, J. A. Nienaber, and R. A. Easter. 2003.** 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. 81: 1998-2007.
- Knowles, T. A., L. L. Southern, and T. D. Bidner. 1998a.** Ratio of total sulfur amino acids to lysine for finishing pigs. J. Anim. Sci. 76: 1081-1090.
- Knowles, T. A., L. L. Southern, T. D. Bidner, B. J. Kerr, and K. G. Friesen. 1998b.** Effect of dietary fiber or fat in low-crude protein, crystalline amino acid-supplemented diets for finishing pigs. J. Anim. Sci. 76: 2818-2832.
- Kornegay, E. T., and M. W. A. Verstegen. 2001.** Swine nutrition and environmental pollution and odor control. In: Swine Nutrition, 2nd ed. A. J. Lewis and L. L. Southern (editors). CRC Press LLC, Boca Raton, FL. pp. 609-613
- LAPISA. 2006.** LAPI-RACTO promotor de crecimiento en premezcla. **Lapisa, S. A. de C.** V. Km. 5.5 Carr. La Piedad-Guadalajara, La Piedad, Mich., México. Disponible en: www.lapisa.com. Consultado en Mayo 2010.

- 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.
- Leclercq, B. 2000.** El concepto de proteína ideal y el uso de aminoácidos sintéticos: estudio comparativo entre pollos y cerdos. XIV Curso de Especialización Avances en Nutrición y Alimentación Animal. Barcelona, España. 13 p.
- Lentner, M., and T. Bishop. 1993.** Experimental design and analysis. 2nd ed. Valley Book Co., Blacksburg, VA. 585 p.
- Lewis, A. J. 2001.** Amino acids in swine nutrition. *Swine Nutrition*. Chapter 8. A. J. Lewis and L. L. Southern (editors). 2nd ed. CRC Press, New York. 131-143 pp.
- Li, D. F., W. T. Guan, H. M. Yu, J. H. Kim, and I. K. Han. 1998.** Effects of amino acid supplementation on growth performance for weanling, growing, and finishing pigs Asian-Australas. *J. Anim. Sci.* 11: 21-29.
- Liu, C. Y., A. L. Grant, K. H. Kim, S. Q. Ji, D. L. Hancock, D. B. Anderson, and S. E. Mills. 1994.** Limitations of ractopamine to affect adipose tissue metabolism in swine. *J. Anim. Sci.* 72: 62-67.
- López, M., J. L. Figueroa, M. J. González, L. A. Miranda, V. Zamora, y J. L. Cordero. 2010.** Niveles de lisina y treonina digestible en dietas sorgo-pasta de soya para cerdos en crecimiento. *Arch. Zootec.* 59 (226): 205-216.
- Marinho, P. C., O. Fontes D., e C. O. Silva F. 2007.** Efeito da ractopamina e de métodos de formulação de dietas sobre o desempenho e as características de carcaça de suínos machos castrados em terminação. *Revista Brasileira de Zootecnia* 36 (4): 1061-1068.
- McDonald, P., R. A. Edwards, y J. F. D. Greenha. 2002.** *Nutrición Animal*. 3^a ed. Editorial Acriba, S. A. Zaragoza, España.
- McKeith, F. K., S. D. Singh, C. R. Stites, and P. J. Bechtel. 1988.** Palatability and visual characteristics of hams and loin chops from swine fed ractopamine hydrochloride. *J. Anim. Sci.* 66(1): 306. (Abstr.).
- McKeith, F. K. 1989.** The effect of repartitioning agents on carcass and meat quality. Department of Animal Sciences, University of Illinois, Illinois, USA.
- Martín, N. 2009.** Aminoácidos esenciales y no esenciales.
Disponible en:
[http// *demedicina.com/aminoácidos-esenciales-y-no-esenciales/* - 61k](http://demedicina.com/aminoácidos-esenciales-y-no-esenciales/). Consultado el 4 abril del 2009.

- Martínez, A. M. 2005.** Dietas sorgo-pasta de soya con baja proteína y baja energía para cerdos en engorda. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo. de México.
- Martínez-Aispuro, M., J. L. Figueroa-Velasco, J. E. Trujillo-Coutiño, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres, y 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. Mex.* 40(1): 27-38.
- 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: 2833-1837.
- Mavromichalis, I. 2009.** Low-protein diets. Your portal on global pig nutrition. Disponible en:
<http://www.pigprogress.net/weblog/nutrition/low-Protein-diets-id2562.html>. Consultado en Marzo 2010.
- Medina, R. 2002.** Optimización biológica y económica de niveles de lisina total en dietas para cerdos en crecimiento. Tesis de Maestría en Producción Animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. 91 p.
- Merker, R. A. 1988.** Is meat quality affected by the use of repartitioning agents? *Proc. Recip. Meat Conf.* 41: 101.
- Moral-Barrera, L. E., B. P. Ramírez-Gómez, y A. R. Muñoz-Jumilla. 2007.** Crecimiento regional de la producción de carne de cerdo en México 1980-2005. *Análisis Económico* 52 (XXIII): 271-290.
<http://www.analisiseconomico.com.mx/pdf/5215.pdf>. Consultado: 5 de Junio 2009.
- Mimbs, K. J., T. D. Pringle, M. J. Azain. S. A. Meers, and T. A. Armstrong. 2005.** Effects of ractopamine on performance and composition of pigs phenotypically sorted into fat and lean groups. *J. Anim. Sci.* 83: 1361-1369.
- Nieto, R., L. Lara, M. A. García, M. A. Vilches, and J. F. Aguilera. 2003.** Effects of dietary protein content and food intake on carcass characteristics and organ weights of growing iberian pigs. *J. Anim. Sci.* 77: 47-56.
- NPPC (National Pork Producers Council). 1991.** Procedures to evaluate market hogs. 3rd ed. National Pork Producers Council. Des Moines. IO, USA. 16 p.
- NRC (National Research Council). 1998.** Nutrient Requirements of Swine. 10th ed. National Academy Press, Washington, D.C. pp: 110-123

- Obispo, N. E., J. Palma, y C. F. Chicco. 2005.** Efectos de la ractopamina y el nivel de lisina sobre la respuesta productiva de cerdos magros en la fase de engorde. *Zootecnia Tropical* 23(4): 429-445.
- Page, T. G., L. L. Southern, and K. L. Waltkins. 1993.** Threonine supplementation of low-protein, lysine-supplemented, sorghum-soybean meal diets for growing-finishing pigs. *Livest. Prod. Sci.* 34: 153-162.
- Pérez, E. R. 1999.** Porcicultura intensiva en México: situación actual y perspectivas. *Revista Mundial de Zootecnia* 92-1999/1 ISSN 1014-6954. FAO.
Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/x1700t/x1700t03.htm>, consultada en Marzo de 2010.
- Pérez, E. R. 2004.** Porcicultura intensiva en México. In: XV Simposium de Ganadería Tropical. México. pp. 28.
- Pérez, A., N. E. Obispo, J. Palma y C. F. Chicco. 2006.** Efectos de la ractopamina y el nivel de lisina sobre la respuesta productiva de cerdos magros en la fase de engorde. *Zootecnia Tropical* 23(4): 429-445.
- Phillippe, J. F., D. A. Knabe, and K. Q. Owen. 1992.** Low-protein amino acid-supplemented, sorghum-based diets for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 70(1): 235 (Abstr.).
- PISA. 2010.** Racmina premix 10% (Clorhidrato de Ractopamina). PISA Agropecuaria S. A. De C. V. Disponible en:
www.pisa.com.mx/.../agropecuaria/pdf.../Racmina_Premix%2010.pdf. Consultado el 28 de Agosto del 2010.
- Reyes, V. I. 2010.** Probiótico fecinor (*Enterococcus faecium*) adicionado a dietas estándar y con baja proteína para cerdos en engorda. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo. de México.
- Rivera, U. A. 2008.** Adición de oligomananos o nucleótidos a dietas con baja proteína para cerdos en finalización. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo. de México.
- SAGARPA. 2009.** Situación actual y perspectivas de la producción de carne de porcino en México. Disponible en:
www.infoaserca.gob.mx/fichas/ficha07-Porcino.pdf. Consultado el 10 de Febrero del 2010.
- Saldaña, R. E. 2007.** Respuesta productiva de cerdos en crecimiento alimentados con dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con manano-oligosacáridos o nucleótidos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo. de México.

- SAS. 1998.** The SAS system for Windows V8. SAS Institute Inc., Cary NC, USA.
- Schinckel, A. P., C. T. Herr, B. T. Richert, J. C. Forrest, and M. E. Einstein. 2003.** Ractopamine treatment biases in the prediction of pork carcass composition. *J. Anim. Sci.* 81: 16-28.
- Shriver, J. A., S. D. Carter, A. L. Sutton, B. T. Richert, B. W. Senne, and L. A. 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(2): 492-502.
- SIAP/SAGARPA 2008.** (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). Disponible en: www.siap.gop.mx. Consultado en Febrero 2010.
- Smith, D. J., and G. D. Paulson. 1994.** Growth characteristics of rats receiving ractopamine hydrochloride and the metabolic disposition of ractopamine hydrochloride after oral or intraperitoneal administration. *J. Anim. Sci.* 72: 404-414.
- Spurlock, M. E., J. C. Cusumano, S. Q. Ji, D. B. Anderson, C. K. Smith II, D. L. Hancock, and S. E. Mills. 1994.** The effect of ractopamine on β -adrenoreceptor density and affinity in porcine adipose and skeletal muscle tissue. *J. Anim. Sci.* 72: 75-80.
- Stites, C. R., F. K. McKeith, S. D. Singh, P. J. Bechtel, D. H. Mowrey, and D. J. Jones. 1991.** The effect of ractopamine hydrochloride on the carcass cutting yields of finishing swine. *J. Anim. Sci.* 69: 3094-3101.
- Stites, C. R., F. K. McKeith, S. D. Singh, P. J. Bechtel, D. J. Jones, and D. H. Mowrey. 1994.** Palatability and visual characteristics of hams and loin chops from swine treated with ractopamine hydrochloride. *J. Muscle Foods* 5:367-376.
- Stoller, G. M., H. N. Zerby, S. J. Moeller, T. J. Baas, C. Johnson, and L. E. Watkins. 2003.** The effect of feeding ractopamine (Paylean) on muscle quality and sensory characteristics in three diverse genetic lines of swine. *J. Anim. Sci.* 81: 1508-1516.
- Trujillo, C. J. E 2005.** Determinación del nivel óptimo de proteína en dietas sorgo-pasta de soya para cerdos en engorda. Tesis de Maestría en Ciencias. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 71 p.
- Trujillo-Coutiño, J. E., J. L. Figueroa-Velasco, M. Martínez-Aispuro, V. Zamora-Zamora, J. L. Cordero-Mora, M. T. Sánchez-Torres, M. Cuca-García, y M. Cervantes-Ramírez. 2007.** Concentración de urea en plasma y respuesta productiva de cerdos en iniciación alimentados con dietas sorgo-pasta de soya bajas en proteína. *Agrociencia* 41: 597-607.

- Tuitoek, K., L. G. Young, F. M. De Lange, and B. J. 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.
- Urynek, W., and L. Buraczewska. 2003.** Effects 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.
- USDA. 2010** Livestock and Poultry: World Markets and Trade. Disponible en: http://www.fas.usda.gov/dlp/circular/2009/livestock_poultry_10-2009.pdf.
- Uttaro, B. E., R. O. Ball, P. Dick, W. Rae, G. Vessie, and L. E. Jeremiah. 1993.** Effect of ractopamine and sex on growth, carcass characteristics, processing yield, and meat quality characteristics of crossbred swine. *J. Anim. Sci.* 71: 2439-2449.
- Van Cauwenberghe, S., M. Peisker, and M. Pack. 2003.** The role of amino acids in an environmentally friendly competitive european pig production. Protein Supply for European Pigs 2010. Fefana Workshop.
- Ward, T. L., and L. L. Southern. 1995.** Sorghum amino acid-supplemented diets for the 50-to 100-kilogram pig *J. Anim. Sci.* 73: 1746-1753.
- Watkins, L. E., D. J. Jones, D. H. Mowrey, D. B. Anderson, and E. L. Veenhuizen. 1990.** The effect of various levels of ractopamine hydrochloride on the performance and carcass characteristics of finishing swine. *J. Anim. Sci.* 68: 3588-3595.
- Weber, T. E., B. T. Richert, M. A. Belury, Y. Gu, K. Enright, and A. P. Schinckel. 2006.** Evaluation of the effects of dietary fat, conjugated linoleic acid, and ractopamine on growth performance, pork quality, and fatty acid profiles in genetically lean gilts. *J. Anim. Sci.* 84: 720-732.
- Whittemore, C. 1993.** Ciencia y práctica de la producción porcina. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España. 637 p.
- Williams, N. H., T. R. Cline, A. P. Schinckel, and D. J. Jones. 1994.** The impact of ractopamine, energy intake, and dietary fat on finisher pig growth performance and carcass merit. *J. Anim. Sci.* 72: 3152-3162.
- Witte, D. P., M. Ellis, F. K. McKeith, and E. R. Wilson. 2000.** Effect of dietary lysine level and environmental temperature during the finishing phase on the intramuscular fat content of pork. *J. Anim. Sci.* 78: 1272-1276.

- Xiong, Y. L., M. J. Gower, C. Li, C. A. Elmore, G. L. Cromwell, and M. D. Lindemann. 2006.** Effect of dietary ractopamine on tenderness and postmortem protein degradation of pork muscle. *Meat Sci.* 73: 600-604.
- Yen, J. T., H. J. Mersmann, D. A. Hill, and W. G. Pond. 1990.** Effects of ractopamine on genetically obese and lean pigs. *J. Anim. Sci.* 68(11): 3705-3712.
- Zamora, Z. V. 2006.** Respuesta productiva de cerdos en engorda alimentados con dietas sorgo-pasta de soya adicionadas con glucomananos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
- Zamora, V., J. L. Figueroa, J. L. Cordero, M. Rugerio, L Reyna y M. T. Sánchez-Torres. 2010.** Adición de glucomananos a dietas con baja proteína a base de sorgo-pasta de soya para cerdos en crecimiento y finalización. *Revista Científica FCV-LUZ* 20 (3): 274-283.
- Zervas, S., and R. T. Zijlstra. 2002.** Effects of dietary protein and fermentable fiber on nitrogen excretion patterns and plasma urea in grower pigs. *J. Anim. Sci.* 80:3247-3256.

Cuadro 10. Comportamiento productivo de cerdos machos castrados en iniciación alimentados con dos niveles de proteína y tres de lisina en dietas con baja proteína.

TRAT	PC (%)	LYS (%)	Comportamiento productivo [∧]					
			GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	Pi (kg)	Pf (kg)	GCM (kg)
0	20.5	1.01	0.62 ± 0.02	1.07 ± 0.07	1.74 ± 0.10	11.03 ± 0.57	26.00 ± 0.53	0.24 ± 0.01
1	17.4	1.01	0.59 ± 0.02	0.97 ± 0.05	1.63 ± 0.07	10.62 ± 0.42	25.38 ± 0.38	0.24 ± 0.01
2	17.4	1.11	0.61 ± 0.02	1.04 ± 0.05	1.71 ± 0.07	10.32 ± 0.42	25.77 ± 0.38	0.25 ± 0.01
3	17.4	1.21	0.58 ± 0.02	0.98 ± 0.05	1.67 ± 0.07	10.57 ± 0.42	25.26 ± 0.38	0.23 ± 0.01
Significancia (P) de los contrastes								
PC estándar vs baja			0.37	0.38	0.55		0.37	0.22
Lisina 1.01 vs 1.11 + 1.21			0.77	0.50	0.49		0.77	0.63
Lisina 1.11 vs 1.21			0.35	0.42	0.70		0.35	0.23

[∧] En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, Pi = Peso inicial, Pf = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 11. Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos machos castrados en iniciación, alimentados con dos niveles de proteína y tres de lisina en dietas con baja proteína.

TRAT	PC (%)	LYS (%)	Características de la canal [∧]						Urea mg dL ⁻¹
			GDi (mm)	GDF (mm)	AMLi (cm ²)	AMLf (cm ²)	% CMi	% CMf	
1	20.5	1.01	0.13 ± 0.17	0.19 ± 0.09a	5.63 ± 0.39	11.25 ± 0.41ab	58.45 ± 1.32	46.95 ± 0.52	21.30 ± 2.18 a
2	17.4	1.01	0.12 ± 0.12	0.20 ± 0.06ab	4.80 ± 0.28	10.69 ± 0.30bc	56.51 ± 0.95	46.70 ± 0.38	14.09 ± 1.57b
3	17.4	1.11	0.13 ± 0.12	0.22 ± 0.06c	5.78 ± 0.29	12.19 ± 0.30a	58.86 ± 0.96	47.93 ± 0.38	13.88 ± 1.58b
4	17.4	1.21	0.11 ± 0.12	0.20 ± 0.06ab	5.43 ± 0.28	10.75 ± 0.30bc	58.15 ± 0.95	46.79 ± 0.38	15.31 ± 2.82 ab
Significancia (P) de los contrastes									
PC estándar vs baja				0.28		0.92		0.74	0.008
Lisina 1.01 vs 1.11 + 1.21				0.14		0.04		0.17	0.79
Lisina 1.11 vs 1.21				0.02		0.002		0.04	0.52

^{a, b, c} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas (P≤0.05).

[∧] En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDi= Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLi = Área del músculo *longissimus* inicial, AMLf = Área del músculo *longissimus* final, CMi = Carne magra inicial, CMf = Carne magra final.

Cuadro 12. Comportamiento productivo de cerdos machos castrados en crecimiento alimentados con dos niveles de proteína y tres de lisina en dietas con baja proteína.

TRAT	PC (%)	LYS (%)	Comportamiento productivo [∧]					
			GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	Pi (kg)	Pf (kg)	GCM (kg)
0	16.5	0.83	0.84 ± 0.03	1.75 ± 0.15	2.09 ± 0.17	26.00 ± 0.53	55.13 ± 0.90 ^{ab}	0.31 ± 0.03
1	14.0	0.83	0.79 ± 0.02	1.71 ± 0.11	2.16 ± 0.12	25.38 ± 0.38	53.14 ± 0.64 ^b	0.23 ± 0.02
2	14.0	0.93	0.85 ± 0.02	1.89 ± 0.11	2.21 ± 0.12	25.77 ± 0.38	55.47 ± 0.64 ^a	0.26 ± 0.02
3	14.0	1.03	0.79 ± 0.02	1.60 ± 0.11	2.00 ± 0.12	25.26 ± 0.38	53.36 ± 0.64 ^{ab}	0.26 ± 0.02
Significancia (P) de los contrastes								
PC estándar vs baja			0.26	0.91	0.84		0.26	0.06
Lisina 0.83 vs 0.93 + 1.03			0.11	0.80	0.71		0.12	0.18
Lisina 0.93 vs 1.03			0.03	0.06	0.23		0.03	0.86

^{a, b} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$).

[∧] En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, Pi = Peso inicial, Pf = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 13. Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos machos castrados en crecimiento alimentados con dos niveles de proteína y tres de lisina en dietas con baja proteína.

TRAT	PC (%)	LYS (%)	Características de la canal [∧]						Urea mg dL ⁻¹	
			GDi (mm)	GDF (mm)	AMLi (cm ²)	AMLf (cm ²)	%CMi	%CMf		
1	16.5	0.83	0.19 ± 0.09	0.61 ± 0.38	11.25 ± 0.41	21.51 ± 0.76a	46.95 ± 0.52	41.21 ± 1.66	17.81 ± 1.55a	
2	14.0	0.83	0.20 ± 0.06	0.68 ± 0.27	10.69 ± 0.30	19.07 ± 0.54b	46.70 ± 0.38	37.71 ± 1.18	11.23 ± 1.10b	
3	14.0	0.93	0.22 ± 0.06	0.73 ± 0.27	12.19 ± 0.30	21.58 ± 0.54a	47.93 ± 0.38	38.43 ± 1.18	12.36 ± 1.10b	
4	14.0	1.03	0.20 ± 0.06	0.64 ± 0.27	10.75 ± 0.30	18.82 ± 0.54b	46.79 ± 0.38	39.75 ± 1.18	11.81 ± 1.10b	
Significancia (P) de los contrastes										
PC estándar vs baja				0.10		0.05		0.17		0.002
Lisina 0.83 vs 0.93 + 1.03				0.82		0.10		0.35		0.53
Lisina 0.93 vs 1.03				0.03		0.001		0.44		0.73

^{a, b} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$).

[∧] En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDi= Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLi = Área del músculo *longissimus* inicial, AMLf = Área del musculo *longissimus* final, CMi = Carne magra inicial, CMf = Carne magra final.

Cuadro 14. Comportamiento productivo de cerdos machos castrados en finalización alimentados con dos niveles de proteína y tres de lisina en dietas con baja proteína.

TRAT	PC (%)	LYS (%)	Comportamiento productivo ^v					
			GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	Pi (kg)	Pf (kg)	GCM (kg d ⁻¹)
0	14.0	0.66	0.98 ± 0.05	2.55 ± 0.21	2.58 ± 0.22	55.13 ± 0.90	74.70 ± 0.95	0.31 ± 0.04
1	11.8	0.66	0.91 ± 0.03	2.57 ± 0.15	2.83 ± 0.16	53.14 ± 0.64	73.32 ± 0.67	0.40 ± 0.03
2	11.8	0.76	1.01 ± 0.03	2.82 ± 0.15	2.81 ± 0.16	55.47 ± 0.64	75.26 ± 0.67	0.42 ± 0.03
3	11.8	0.86	0.90 ± 0.03	2.63 ± 0.15	2.93 ± 0.16	53.36 ± 0.64	73.11 ± 0.67	0.33 ± 0.03
Significancia (P) de los contrastes								
PC estándar vs baja			0.45	0.59	0.27		0.45	0.09
Lisina 0.66 vs 0.76 + 0.86			0.30	0.39	0.81		0.30	0.43
Lisina 0.76 vs 0.86			0.04	0.38	0.61		0.04	0.04

^v En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, Pi = Peso inicial, Pf = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 15. Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos machos castrados en finalización alimentados con dos niveles de proteína y tres de lisina en dietas con baja proteína.

TRAT	PC (%)	LYS (%)	Características de la canal						Urea mg dL ⁻¹
			GDi (mm)	Gdf (mm)	AMLi (cm ²)	AMLf (cm ²)	%CMi	%CMf	
1	14	0.66	0.61 ± 0.38	0.91 ± 0.62	21.51 ± 0.76	26.25 ± 1.42	41.21 ± 1.66	38.89 ± 0.52	19.80 ± 0.97a
2	11.8	0.66	0.68 ± 0.27	0.95 ± 0.44	19.07 ± 0.54	27.16 ± 1.01	37.71 ± 1.18	39.27 ± 0.37	8.09 ± 0.70b
3	11.8	0.76	0.73 ± 0.27	1.04 ± 0.44	21.58 ± 0.54	29.43 ± 1.00	38.43 ± 1.18	39.62 ± 0.36	8.90 ± 0.70b
4	11.8	0.86	0.64 ± 0.27	0.92 ± 0.44	18.82 ± 0.54	25.98 ± 1.01	39.75 ± 1.18	38.92 ± 0.37	9.86 ± 0.70b
Significancia (P) de los contrastes									
PC estándar vs baja				0.37		0.42		0.51	< 0.0001
Lisina 0.66 vs 0.76 + 0.86				0.60		0.66		0.99	0.13
Lisina 0.76 vs 0.86				0.08		0.03		0.19	0.34

∧ En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDi= Grasa dorsal inicial, Gdf = Grasa dorsal final, AMLi = Área del músculo *longissimus* inicial, AMLf = Área del músculo *longissimus* final, CMi = Carne magra inicial, CMf = Carne magra final.

Cuadro 16. Comportamiento productivo de cerdos machos castrados en finalización alimentados con dos niveles de proteína, tres de lisina y dos de ractopamina en dietas con baja proteína.

TRAT	PC (%)	LYS (%)	RAC (ppm)	Comportamiento productivo [∧]					
				GDP (kg d ⁻¹)	CAL (kg d ⁻¹)	CA	Pi (kg)	Pf (kg)	GCM (kg d ⁻¹)
0	14	0.66	0	1.07 ± 0.06b	3.57 ± 0.12	3.35 ± 0.10a	78.07 ± 2.60	96.44 ± 1.19b	0.29 ± 0.02
1	11.8	0.66	0	1.32 ± 0.06ab	3.52 ± 0.13	2.70 ± 0.11b	70.95 ± 2.94	102.00 ± 1.31ab	0.34 ± 0.02
2	11.8	0.66	10	1.28 ± 0.06ab	3.72 ± 0.13	2.92 ± 0.11ab	72.60 ± 2.94	101.04 ± 1.30ab	0.29 ± 0.02
3	11.8	0.76	0	1.24 ± 0.06ab	3.58 ± 0.13	2.90 ± 0.11ab	77.02 ± 2.92	100.17 ± 1.30ab	0.33 ± 0.02
4	11.8	0.76	10	1.24 ± 0.06ab	3.53 ± 0.13	2.85 ± 0.11b	76.26 ± 2.92	100.16 ± 1.30ab	0.29 ± 0.02
5	11.8	0.86	0	1.38 ± 0.06a	3.87 ± 0.13	2.81 ± 0.11b	70.73 ± 2.94	103.05 ± 1.31a	0.36 ± 0.02
6	11.8	0.86	10	1.26 ± 0.06ab	3.47 ± 0.13	2.76 ± 0.11b	72.21 ± 2.94	100.62 ± 1.30ab	0.31 ± 0.02
Significancia (P) de los contrastes									
PC estándar vs baja				0.002	0.72	0.0001		0.002	0.22
Lisina 0.66 vs 0.76 + 0.86				0.69	0.95	0.80		0.69	0.63
Lisina 0.76 vs 0.86				0.20	0.38	0.41		0.20	0.23
Sin vs Con Ractopamina				0.32	0.43	0.62		0.32	0.02

^{a, b} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas (P≤0.05).

[∧] En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDP = Ganancia diaria de peso, CAL = Consumo de alimento, CA = Conversión alimenticia, Pi = Peso inicial, Pf = Peso final, GCM = Ganancia de carne magra.

Cuadro 17. Características de la canal y concentración de urea en plasma de cerdos machos castrados en finalización, alimentados con dos niveles de proteína, tres de lisina y dos de ractopamina en dietas con baja proteína.

TRAT	PC (%)	LYS (%)	RAC ppm	Características de la canal						Urea mg dL ⁻¹	
				GDi (mm)	GDF (mm)	AMLi (cm ²)	AMLf (cm ²)	%CMi	%CMf		
1	14	0.66	0	0.91 ± 0.63	1.17 ± 0.71a	26.46 ± 1.26	34.35 ± 1.40	39.07 ± 0.42	38.50 ± 0.35	21.94 ± 1.46a	
2	11.8	0.66	0	0.89 ± 0.70	1.20 ± 0.80ab	24.55 ± 1.40	32.00 ± 1.53	38.27 ± 0.47	37.23 ± 0.39	11.29 ± 1.62b	
3	11.8	0.66	10	1.03 ± 0.69	1.49 ± 0.80ab	29.85 ± 1.37	35.01 ± 1.50	40.04 ± 0.46	37.42 ± 0.38	12.70 ± 1.58b	
4	11.8	0.76	0	0.99 ± 0.70	1.34 ± 0.80ab	28.68 ± 1.38	36.94 ± 1.51	39.60 ± 0.46	38.45 ± 0.39	12.80 ± 1.60b	
5	11.8	0.76	10	1.06 ± 0.69	1.51 ± 0.80b	29.88 ± 1.37	36.01 ± 1.50	39.92 ± 0.46	37.69 ± 0.38	13.53 ± 1.58b	
6	11.8	0.86	0	0.95 ± 0.70	1.20 ± 0.80ab	24.53 ± 1.40	32.56 ± 1.53	38.10 ± 0.47	37.28 ± 0.39	12.44 ± 1.62b	
7	11.8	0.86	10	0.90 ± 0.69	1.25 ± 0.80ab	27.57 ± 1.37	33.68 ± 1.50	39.50 ± 0.46	37.68 ± 0.39	12.05 ± 1.59b	
Significancia (P) de los contrastes											
PC estándar vs baja					0.05		0.99		0.04		< 0.0001
Lisina 0.66 vs 0.76 + 0.86					0.81		0.29		0.16		0.57
Lisina 0.76 vs 0.86					0.01		0.03		0.13		0.55
Sin vs Con Ractopamina					0.01		0.39		0.87		0.65

^{a, b} Medias de tratamiento o efecto principal con distinta literal indica diferencias estadísticas (P≤0.05).

^v En todas las variables del comportamiento productivo se agregó el error estándar de la media (EEM)

TRAT = Tratamiento, PC = Proteína cruda, GDi= Grasa dorsal inicial, GDF = Grasa dorsal final, AMLi = Área del músculo *longissimus* inicial,

AMLf = Área del músculo *longissimus* final, CMi = Carne magra inicial, CMf = Carne magra final.