

Efectos de la ractopamina y lisina sobre la deposición de grasa en cerdos seleccionados magros en la fase de engorde

Aníbal Pérez, Nestor E. Obispo*, José Palma y Claudio F. Chicco

RESUMEN

De una población de ciento ochenta cerdos, híbridos comerciales mejorados genéticamente para la condición magro, los cuales fueron alimentados con raciones conteniendo dos niveles de ractopamina (RAC: 0 y 10ppm) y tres niveles de lisina (Lis: 0,95, 1,05 y 1,15%) se seleccionó al azar, al momento del sacrificio, una muestra de 60 cerdos (10 por tratamiento, cinco machos y cinco hembras), para evaluar las variables: contenido de magro estimado (TME), profundidad grasa dorsal en última y décima costilla (PG13 y PG10), área del músculo *longissimus dorsi*, porcentaje de proteína cruda (PC) y de grasa intramuscular (GIM) y relación proteína grasa (P:G). Se observó un efecto entre el nivel de Lys y RAC ($P < 0,001$) sobre PG, siendo más bajo para Lys1,15-RAC10 (1,4 cm) en comparación con Lys0,95 y Lys1,05 con RAC10 (1,73 y 1,68 cm). Así mismo, este tratamiento dio valores más bajo a los niveles de Lys-RAC0 (2,23, 1,74, y 1,72 cm, en el mismo orden de Lys). Se observó un efecto entre Lys y RAC ($P < 0,05$) sobre el PC, siendo el valor más alto a Lys1,15-RAC10, superando por 1,36 unidades porcentuales (UP) a Lys1,15-RAC0. El mismo efecto de interacción ($P < 0,001$) se observó para el GIM con valores más bajos de GIM al nivel de Lys1,15-RAC10 (0,98%) al compararlo con Lys1,15-RAC0 (1,79%) y con 0,95Lys y Lys1,05 con y sin RAC, respectivamente (2,35 2,47 2,25 y 3,22%, respectivamente). Igualmente, se observó efecto entre Lys y RAC ($P < 0,001$) sobre el TME, superando Lys1,15-RAC10 (55,75%) a Lys1,15-RAC0 (52,32%). Se observó un efecto lisina x sexo ($P < 0,001$), sobre el TME, donde las hembras superaron a los machos castrados por 0,41 2,23 y 5,4 UP para Lys0,95, 1,05 y 1,15%, respectivamente. En general, se observó una mejora en la calidad de

* Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Apartado Postal 4653, Maracay 2101. Aragua. Venezuela. *Correo electrónico: nobispo@inia.gob.ve

la canal en cuanto al magro y disminución de la grasa de cobertura dependiente individualmente o en combinación entre el nivel de lisina y ractopamina. Por otro lado, la concordancia de los valores de magro estimados y los de la relación P:G indican que este último podría usarse como un buen indicador de calidad de magro.

Palabras clave: cerdo, ractopamina, lisina, porcentaje de magro, grasa, ceba.

Effect of ractopamine and lysine on lean yield of leaning pigs in the finishing phase

SUMMARY

From a population of one hundred-eighty commercial hybrids pigs, fed diets containing two levels of ractopamine (RAC:0 and 10ppm) and three levels of lisina (Lys:0.95, 1.05 and 1.15%) a sample of 60 animals (10 per treatment, five males and five females) were pulled out at random to evaluate their carcass lean. It was estimated the lean percentage (EL), and the following variables: backfat depth (cm) at the tenth and last rib (DF10 and DF13), the area of *longissimus dorsi* muscle, protein (CP) and intramuscular fat (IMF) contents (%), and a calculation of the protein:fat ratio. It was observed an effect between of the level of Lys and RAC ($P<0.001$) on DF, with lower values for Lys1.15 and RAC10 (1.4 cm) as comparing to Lys0.95 and Lys1.05 with RAC10 (1.73 and 1.68 cm). Also, this treatment showed lower values of DF than the same levels of Lys-RAC0 (2.23, 1.74, and 1.72cm, in the same order of Lys). It was observed an interaction between Lys and RAC ($P<0.05$) on the CP content, with higher values for Lys1.15-RAC10, going above by 1.36 percentage units (PU) the Lys1.15-RAC0 treatment. The same effect ($P<0.001$) was observed for the IMF, with the smaller values for Lys1.15-RAC10 (0.98%) as compared to Lys1.15-RAC0 (1.79%) and to 0.95Lys and 1.05Lys with and without RAC (2.35 2.47 2.25 and 3.22%, respectively). Also, an effect ($P<0.001$) between Lys and RAC was observed on the EL, Lys1.15 (55.75%) was better than Lys1.15-RAC0 (52.32%). It was observed an effect ($P<0.001$) between Lys and Sex on the EL, with better values in the females as compared to the castrated males (0.41 2.23 and 5 PU for Lys0.95, 1.05 and 1.15%, respectively). An improvement on lean and on decreasing fat in the carcasses was related to both Lys and RAC levels (separately or combined). The agreement of EL values and P:G ratios indicate that P:G ratio could be used as good indicator of lean.

Keywords: Pig, ractopamine, lysine, dressing percentage, average daily gain.

INTRODUCCIÓN

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 y hacia la obtención de cerdos con canales mucho más magras. Este avance ha sido motivado primeramente a la necesidad de incrementar los rendimientos obtenidos en el desposte de las canales, de manera de proporcionar una mayor cantidad de carne con la consecuente mejora en la rentabilidad, y a una mayor demanda de este tipo de carnes en base a exigencias relacionadas con la salud de los consumidores. Adicionalmente a la mejora genética, se han desarrollado aditivos no nutricionales, los cuales son capaces de inducir adicionales respuestas en la calidad de las canales, como por ejemplo el compuesto ractopamina (RAC), un agonista β -adrenérgico de la familia de las feniletanolaminas, que actúa sobre los receptores β -adrenérgicos de las células adiposas y del músculo esquelético, promoviendo la lipólisis, con el consecuente incremento del magro en la canal (Smith y Paulson, 1994; Spurlock *et al.*, 1994; Crome *et al.*, 1996).

El empleo de RAC ha permitido experimentar resultados variables sobre el cerdo al sobre la respuesta productiva, ganancia diaria de peso (Dunshea *et al.*, 1993; Williams *et al.*, 1994), rendimiento en canal (Williams *et al.*, 1994; Crome *et al.*, 1996; Pérez *et al.*, 2005) y pérdidas por goteo (Pérez *et al.*, 2005).

Por otro lado, al hablar de los requerimientos de aminoácidos 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 aminoácido limitante en la alimentación de esta especie (Batterham *et al.*, 1990; Bikker *et al.*, 1994). Sin embargo, otras investigaciones consideran que los aminoácidos azufrados (AAS) metionina y cisteína también son limitantes, por lo que entonces, será importante mantener una óptima proporción AAS:lisina (Knowles *et al.*, 1998). 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, harinas de soya o sorgo, los cuales dependerán más del nivel de lisina suministrado (Knowles *et al.*, 1998). Por consiguiente, la distribución del resto de los aminoácidos en la proteína va a depender de la cantidad de lisina requerida por el cerdo en su respectivo estado fisiológico constituyéndose de esta manera en lo que se ha llamado la proteína ideal.

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

Aparte de los factores genéticos, los requerimientos de aminoácidos en los cerdos se encuentran influenciado por otros, tales como sexo, estado fisiológico, concentración de energía de la dieta, biodisponibilidad de estos aminoácidos y la 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 beneficio, profundidad de la grasa dorsal en la última y antepenúltima costilla, área del músculo *longissimus dorsi* y porcentaje de tejido magro, encontrándose resultados variables de acuerdo al nivel de incorporación dado, capacidad genética y el sexo (Hansen y Lewis, 1993; Hahn *et al.*, 1995). Igualmente, se ha observado incrementos en la grasa intramuscular en el lomo del cerdo con dietas deficientes en lisina (Cisneros *et al.*, 1996; Witte *et al.*, 2000).

Por otro lado, algunos estudios (Schinckel *et al.*, 2003) señalan que el nivel de lisina suministrado en la dieta afecta la magnitud de la respuesta de RAC sobre las características de la canal.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la ractopamina a tres diferentes niveles de lisina sobre la modificación del tejido magro de cerdos en la fase de engorde.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en la granja “Los 333” del grupo “La Caridad C.A.” ubicada en las afueras de la localidad de Parapara de Ortiz, municipio Roscio del estado Guarico, Venezuela. De una población de 3.500 cerdos mejorados genéticamente de la línea Pig Improvement Company (PIC), híbrido comercial proveniente del cruce de las razas Landrace, Duroc, Large White, Hampshire, Berkshire, Pietrain y Meishan, se seleccionaron 180 animales con una edad y peso inicial de 156 días y 93 ± 10 kg, respectivamente. Los cerdos fueron alojados a razón de 30 animales por

corral, asignados al azar, considerándose la talla para minimizar los efectos de dominancia dentro del corral. En base a los registros de humedad y temperatura de la unidad de producción se consideró que, a lo largo y ancho de los galpones, los diferentes corrales fueron considerados homogéneos en la condición microambiental. Cada cerdo fue identificado en la oreja derecha de manera de facilitar la recolección de los datos.

Los animales fueron asignados a 12 tratamientos en base a un diseño completamente aleatorizado con arreglo tipo factorial 3x2, tres niveles de inclusión del aminoácido lisina (Lis: 0,95, 1,05 y 1,15%) y dos niveles del aditivo ractopamina (RAC: 0 y 10 ppm). Sin embargo, hay que acotar que debido a requerimientos de la granja, cada corral debió conformarse con una proporción igual de machos castrados y hembras, por lo que el factor sexo también fue considerado. Los diferentes tratamientos se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos experimentales

	Lisina, %		
	0,95	1,05	1,15
Rac0 ppm	1	2	3
Rac10 ppm	4	5	6

Los cerdos tuvieron acceso libre al aliento y al agua de bebida. Las dietas fueron formuladas para ser isoproteicas (17,5% PC) e isoenergéticas (3.300 kcal EM/kg) (Cuadro 2) y su composición se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Análisis de nutrientes de las dietas experimentales.

Componente	Ractopamina, ppm					
	0			10		
	Lisina, %					
	0,95	1,05	1,15	0,95	1,05	1,15
Humedad %	12,06	12,45	13,10	12,60	12,47	11,86
Proteína %	17,18	16,95	17,66	17,62	16,80	17,63
Grasa %	6,8	6,69	6,64	7,15	6,82	6,91
Fibra %	2,08	2,01	2,19	1,99	2,20	2,01
Cenizas %	5,17	4,90	4,92	5,03	4,79	4,72
Calcio %	0,950	0,862	0,906	0,843	0,835	0,798
Fósforo	0,591	0,567	0,569	0,572	0,527	0,545
EM, kcal/kg	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300	3,300

Las determinaciones para esta investigación se realizaron sobre una muestra de diez canales seleccionada al azar a nivel de matadero de cada una de los tratamientos anteriormente descritos (cinco machos castrados y cinco hembras).

Cuadro 3. Composición de las dietas experimentales

Ingrediente (%)	Tratamiento					
	1	2	3	4	5	6
Máiz amarillo	67,94	68,11	68,28	66,9	67,06	67,23
Harina de soya 47%	22,24	21,94	21,64	22,41	22,11	21,81
Sebo 2	2,65	2,63	2,62	3,02	3,01	2,99
Sal	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Biofos	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Carbonato fino	1,53	1,54	1,54	1,53	1,53	1,54
Paylean® (ractopamina)	0	0	0	0,5	0,5	0,5
Melaza	4	4	4	4	4	4
Lisina HCL 78	0,17	0,31	0,45	0,17	0,31	0,45
Ronozyme	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
PMX Salinomicina 1,25%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
CL de Colina 75	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Zoaroma de frutas mixtas	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Luctarom young animal	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Vit. Cerdos 2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Min. Cerdos	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
Total	100	100	100	100	100	100

El día 27, último día del ensayo, los animales fueron sometidos a un proceso de ayuna por 16 horas, a de manera de garantizar el máximo de desocupación de las vísceras intestinales.

Cada grupo fue transportado al matadero, efectuándose el sacrificio por aturdimiento a través de choques eléctricos, degollado, escalado y desviscerado, preservándose en las canales la piel, cabeza y extremidades.

Para las determinaciones de laboratorio, diez canales por tratamiento fueron seleccionadas al azar (5 de cada sexo), a las cuales les fue tomada una sección del lomo de la canal derecha entre la 10^{ma} y la 13^{ra} costillas (Dunshea *et al.*, 1993). Las muestras fueron empaquetadas en bolsas plásticas y refrigeradas por 72 horas a 4°C para luego realizar las mediciones de las variables de modificación del magro. La profundidad de la grasa dorsal a nivel de la décima (PG10) y décimo tercera (PG13) costilla (cm), se realizó utilizando un Vernier, midiéndose perpendicularmente desde el mismo punto, en ambos extremos, a $\frac{3}{4}$ de distancia de la línea media de las vértebras. Esta medición correspondió al espesor de la grasa subcutánea y a la correspondiente de piel y el tocino.

Posteriormente, se procedió a copiar (calcado) en un papel cebolla la figura del músculo *longissimus dorsi*, del lado correspondiente a la 10^{ma} costilla, luego de recortada la misma fue medida en un lector de área foliar (LI-COR[®]) para determinar el área del músculo en cm² (AMLD).

Para la determinación del porcentaje de tejido magro, se procedió a aplicar la ecuación propuesta por el Consejo Nacional de Productores de Cerdo de los Estados Unidos (National Pork Producers Council, 1994), la cual considera las variables peso frío de la canal, corregida por el factor 0,985 (corrección del peso frío de la canal peso frío a caliente), el área del músculo *longissimus dorsi* en la 10^{ma} costilla y la PG10:

Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas en Maracay, estado Aragua, determinándose la concentración de proteína cruda en el músculo, a través del método de Kjeldahl, y la grasa intramuscular por extracción en Soxtec (AOAC, 1989). Con estos valores se calculó relación proteína:grasa.

Para la evaluación estadística se utilizó el siguiente modelo lineal:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\rho)_{ik} + (\beta\rho)_{jk} + \rho_k + \varepsilon_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = Respuesta productiva en el i-ésimo nivel de lisina, j-ésimo nivel de RAC y k-ésimo sexo.

μ = Media Teórica de la población.

α_i = Efecto del i-ésimo nivel de lisina ($i = 1, \dots, 3$)

β_j = Efecto del j-ésimo nivel de RAC ($j = 1, 2$)

ρ_k = Efecto del k-ésimo sexo ($k = 1, 2$)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción de primer orden del i-ésimo nivel de lisina y el j-ésimo nivel de RAC.

$(\alpha\rho)_{ik}$ = Efecto de la interacción de primer orden del i-ésimo nivel de lisina y el k-ésimo sexo.

$(\beta\rho)_{jk}$ = Efecto de la interacción de primer orden del j-ésimo nivel de RAC y el k-ésimo sexo.

ε_{ijk} = Error experimental del i-ésimo nivel de lisina, el j-ésimo nivel de RAC y la k-ésimo sexo.

El análisis de varianza fue realizado empleando el programa estadístico SAS (1985) bajo el procedimiento GLM, las medias fueron ajustadas por mínimos cuadrados y las medias se compararon a través de la prueba de rango múltiple de la mínima diferencia significativa (Steel y Torrie, 1980).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico no indicó interacción triple significativa entre sexo, RAC y el nivel de lisina de la dieta. Independiente del nivel de RAC, al nivel 1,15% de lisina, se observó (Figura 1) que PG13 fue menor ($P < 0,001$) al compararla con los niveles de 0,95 y 1,05% (1,29 vs. 1,77 y 1,46 cm, respectivamente). Con el incremento del nivel de lisina en la dieta, la PG13 tiende a disminuir, posiblemente motivado a un incremento en la tasa de retención del nitrógeno en el músculo (Hansen y Lewis, 1993; Hahn *et al.*, 1995; Chen *et al.*, 1999).

Así mismo, la inclusión de RAC disminuyó ($P < 0,001$) la PG13 en comparación con el tratamiento control (1,33 vs. 1,69) (Figura 2). Estos resultados son coincidentes con los reportados por Dunshea *et al.* (1993); Crome *et al.* (1996) y Schinckel *et al.* (2003).

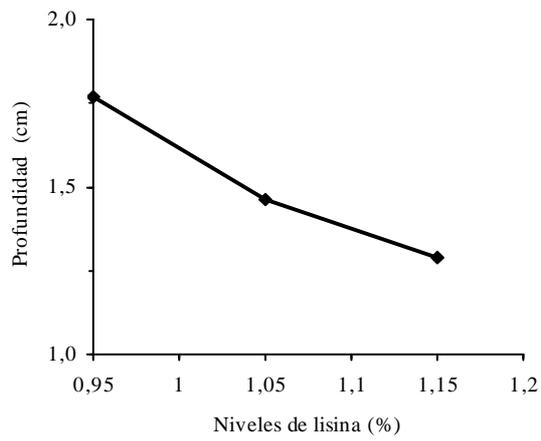


Figura 1. Efecto de la lisina sobre la profundidad de la grasa dorsal última costilla.

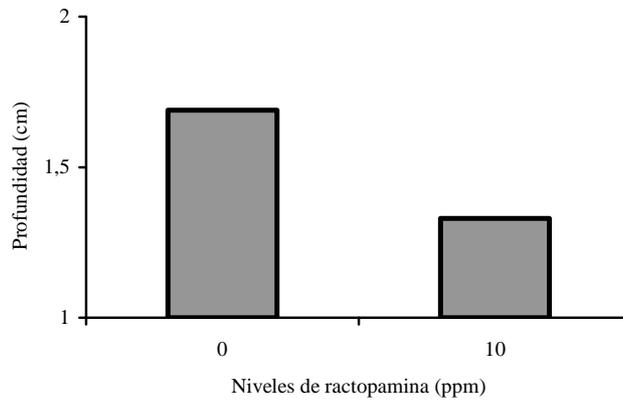


Figura 2. Efecto del nivel de ractopamina sobre la profundidad de la grasa dorsal en la última costilla.

La PG10 en relación al nivel de lisina no fue independiente del nivel de RAC ($P < 0,05$), siendo este valor más bajos al nivel 1,15% de lisina y 10 ppm de RAC (1,4 cm) (Figura 3), observándose un efecto sinérgico hacia la disminución de la grasa de cobertura de entre lisina y RAC, lo que es coincidente con lo observado por Dunshea *et al.* (1993), Crome *et al.* (1996) y Schinckel *et al.* (2003).

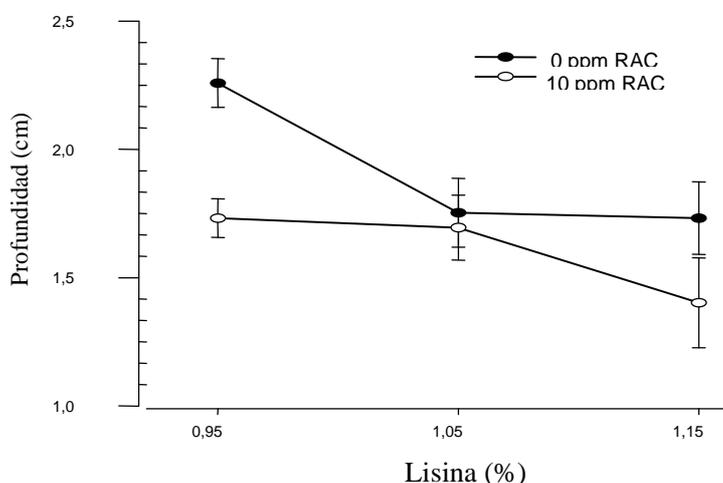


Figura 3. Efecto de la ractopamina y la lisina sobre la profundidad de la grasa dorsal en la décima costilla de cerdos en la fase de engorde.

Al comparar el AMLD (Cuadro 4), se observó al nivel más bajo de lisina sin RAC el valor más alto ($P < 0,001$) con respecto de su par con RAC (35,27 vs. 27,59 cm^2). Esta respuesta se invirtió al incrementarse el nivel de lisina, (34,12 vs. 23,93 cm^2). En términos generales, se observó que hay una tendencia a disminuir el AMLD en los tratamientos sin RAC al incrementarse el nivel de lisina, y hacia el aumento al añadirse la RAC a mayores niveles de lisina (Cuadro 4).

Esta respuesta resultó diferente a los resultados aportados por Schinckel *et al.* (2003), quienes observaron una tendencia de aumento del AMLD a medida que se incrementaba el nivel de lisina (0 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 la sensibilidad de tejido adiposo y la baja regulación del β -adrenoreceptor (Liu *et al.*, 1994).

Cuadro 4. Efecto de la adición de ractopamina y de lisina en la dieta sobre algunos parámetros de la calidad de canal en cerdos seleccionados magros en la fase de engorde.

Ractopamina, ppm	Lisina, %		
	0,95	1,05	1,15
Área del músculo <i>longissimus dorsi</i> (cm ²) **			
0	27,58 ± 3,39	28,11 ± 2,21	34,12 ± 1,84a†
10	35,26 ± 2,01	29,17 ± 2,60	23,92 ± 2,73b
PC, % *			
0	25,45 ± 0,33	25,81 ± 0,21	25,86 ± 0,34a
10	25,11 ± 0,43	25,83 ± 0,20	24,43 ± 0,55b
Grasa intramuscular, % **			
0	2,34 ± 0,16	2,24 ± 0,46b	1,78 ± 0,33a
10	2,47 ± 0,52	3,22 ± 0,49a	0,98 ± 0,12b
Relación Proteína/Grasa **			
0	11,17 ± 0,85b	17,33 ± 4,02a	20,99 ± 4,76b
10	20,05 ± 6,13a	9,85 ± 1,83b	29,25 ± 2,85a
Tejido magro estimado, % **			
0	53,32 ± 0,63	54,19 ± 0,99	52,32 ± 1,1b
10	52,58 ± 0,85	53,13 ± 0,64	55,75 ± 1.1 a

† Valores en la misma columna con letras distintas son diferentes a las probabilidades que se indican en los encabezados de cada medición.

* P<0,05; ** P<0,01.

Igualmente, la concentración de proteína cruda (PC) fue dependiente del nivel de lisina y RAC en la dieta (P<0,05), donde la inclusión de RAC indujo a una mayor concentración de PC en el músculo, la cual incrementó al aumentar el nivel de lisina suministrado en 25,45 25,81 y 25,86% a 0,95 1,05 y 1,15%, respectivamente, contra los mismos niveles de lisina sin RAC 25,11 25,83 y 24,44% (Cuadro 4). Lawrie (1998) reportó un contenido de PC en el músculo de 22,5%. La RAC induce el incremento del gen transcriptor α -actina y al incremento de ácido ribonucleico mensajero (ARNm) y probablemente otras proteínas miofibrilares, las cuales incrementan la síntesis proteica y disminuyen la degradación proteica (Grant *et al.*, 1995). Es importante señalar que la retención de N es un proceso energético dependiente, en donde el potencial de retención nitrogenado se alcanza a un determinado nivel de ingestión energética (Noblet y Henry, 1991)

La concentración de grasa intramuscular (GIM) fue mucho más variable con respecto a la RAC y el nivel de lisina (Cuadro 4), no observándose diferencias al nivel más bajo de lisina, para ambos casos (con y sin RAC); sin embargo, se observó un efecto incremental ($P < 0,001$) al elevarse el nivel de lisina a 1,05% (3,22%), siendo diferente ($P < 0,01$) al mismo nivel sin RAC (2,24%). La GIM disminuyó significativamente al incrementarse el nivel de lisina a 1,15%, valor que resulta igualmente mucho menor al compararlo con el tratamiento sin RAC (0,983 vs. 1,789%). Es muy probable que este tipo de respuesta en los cerdos de este experimento haya sido motivada a la capacidad genética para el magro en este tipo de cerdo. El marmóreo y las características y sensoriales de las canales (dulzura, jugosidad y sabor agradable) han sido asociadas con esta GIM (Castell *et al.*, 1994). Es decir altos valores son algunas veces predilección de algunos consumidores. En esta investigación, los valores obtenidos para esta variable tendieron hacia la baja y se corresponden con la tendencia observada en otras investigaciones, en las cuales se han empleado dietas deficientes en lisina para incrementar el marmóreo (Cisneros *et al.*, 1996; Witte *et al.*, 2000).

La relación P:G (Cuadro 4) resultó dependiente de la relación lisina-ractopamina ($P < 0,001$). La relación P:G del tratamiento que recibió RAC al nivel más bajo de lisina resultó superior ($P < 0,01$) en comparación con el par sin RAC (20,05 vs. 11,18). Cuando se incrementó la lisina a 1,05% en el tratamiento con RAC, la relación P:G disminuyó sustancialmente con respecto al nivel más bajo de lisina y con respecto su par sin RAC (9,85 vs. 17,33). A un nivel mayor de lisina (1,15%) con RAC la relación P:G se incrementó ($P < 0,01$) en comparación con respecto a todos los tratamientos (29,25). Sin embargo, el valor de la relación P:G al nivel 1,05% de lisina en el tratamiento con RAC (Cuadro 4), se obtuvo una respuesta inferior a la de su par sin RAC, la cual no es posible explicar al momento. En términos generales, se podría decir que a niveles crecientes de lisina y 10 ppm de RAC se favoreció la acumulación de proteína en el músculo.

Como era de esperarse, el TME (Cuadro 4) resultó igualmente dependiente del nivel de lisina y RAC ($P < 0,01$). Al nivel de 1,15% de lisina el tratamiento con RAC mostró un valor más alto (55,75%) en comparación con su par sin RAC (52,32%). A niveles inferiores de lisina, no se apreciaron diferencias por efecto de la adición o no de RAC. Esta respuesta hace evidente que el efecto de la RAC esta influenciada por el nivel de lisina (Schinckel *et al.*, 2003). Igualmente, con esta estimación se pone en evidencia la similitud entre la respuesta de P:G para indicar la magrosidad de la canal.

Cuando se comparo el nivel de lisina en la dieta con el sexo se observó una interacción ($P < 0,001$) para la medición de PG13, siendo mucho menor para las hembras (1,22 y 0,95 cm) que para los machos castrados (1,69 y 1,63 cm) a los niveles 1,05 y 1,15% de lisina, respectivamente (Cuadro 5). Los resultados obtenidos en este experimento fueron inferiores a los reportados por Hansen y Lewis (1993) y Hahn *et al.* (1995); sin embargo, se destaca en ambas experiencias que las hembras tienden a tener un PG13 menor que el de los machos castrados, la cual tiende a disminuir al incrementar la concentración de lisina en la dieta.

Cuadro 5. Efecto del nivel de lisina en la dieta y el sexo sobre algunos parámetros de la calidad de canal en cerdos seleccionados magros en la fase de engorde.

Sexo	Lisina, %		
	0,95	1,05	1,15
Profundidad grasa dorsal 13 ^{ava} costilla **			
Hembra	1,81 ± 0,13	1,22 ± 0,10	0,96 ± 0,12a [†]
Macho castrado	1,73 ± 0,16	1,69 ± 0,11	1,63 ± 0,12b
Profundidad grasa dorsal 10 ^{ma} costilla **			
Hembra	1,81 ± 0,13	1,22 ± 0,10	0,96 ± 0,12a
Macho castrado	1,73 ± 0,16	1,69 ± 0,11	1,63 ± 0,12b
Area del músculo <i>longissimus dorsi</i> (P=0,06)			
Hembra	30,31 ± 3,46	28,06 ± 1,68	33,20 ± 2,01a
Macho castrado	32,53 ± 2,55	29,22 ± 2,97	24,84 ± 2,89b
PC, % *			
Hembra	25,90 ± 0,27a	25,99 ± 0,22	26,08 ± 0,26
Macho castrado	24,65 ± 0,38b	25,65 ± 0,17	24,22 ± 0,52
Grasa intramuscular, % **			
Hembra	3,05 ± 0,35a	2,96 ± 0,31	0,80 ± 0,07b
Macho castrado	1,76 ± 0,29b	2,50 ± 0,60	1,96 ± 0,29a
Relación Proteína/Grasa **			
Hembra	9,67 ± 1,28b	9,52 ± 0,91b	34,45 ± 2,67a
Macho castrado	21,55 ± 5,77a	17,66 ± 4,26a	15,79 ± 2,85b
Tejido magro estimado, % **			
Hembra	53,16 ± 0,78	54,77 ± 0,72a	56,74 ± 0,88a
Macho castrado	52,74 ± 0,73	52,54 ± 0,81b	51,34 ± 0,96b

[†] Valores en la misma columna con letras distintas son diferentes a las probabilidades que se indican en los encabezados de cada medición.

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$

Análogamente, el mismo efecto se observó para PG10 (Cuadro 5). En general, se observa un efecto uniforme en la medición a lo largo de la sección del lomo evaluada (entre la 10^{ma} y 13^{ra} costilla). Los resultados para PG10 fueron inferiores a los obtenidos por Hansen y Lewis (1993).

Los resultados de la AMLD con respecto al nivel de lisina fueron igualmente dependientes del sexo ($P=0,06$). Al nivel 1,15% de lisina, las hembras mostraron una mayor AMLD con respecto a los machos castrados, superándolos por $8,37 \text{ cm}^2$ (Cuadro 5). A los niveles más bajos de lisina no se detectaron diferencias entre los sexos en estudio. Hansen y Lewis (1993), Hahn *et al.* (1995) y Chen *et al.* (1999) observaron incrementos del AM por parte de las hembras sobre los machos castrados al incrementar la concentración de lisina en la dieta.

El contenido de proteína con respecto al nivel de lisina no fue independiente del sexo ($P<0,05$), resultando más alto en las hembras con respecto a los machos castrados superándolos 1,24 y 1,85 unidades porcentuales a los niveles 0,95 y 1,15%, respectivamente. Este valor fue similar entre ambos sexos al nivel 1,05% (Cuadro 5). Estos resultados, en líneas generales, fueron superiores al presentado por Lawrie (1998) de 22,5% PC. Parece existir una mayor eficiencia por parte de las hembras en retener nitrógeno con respecto a los machos castrados (Noblet y Henry, 1991).

Los resultados de la GIM fueron variables pero dependientes del nivel de lisina y sexo ($P<0,001$) (Cuadro 5), en donde los machos castrados presentaron una disminución en la GIM con respecto a las hembras al nivel 0,95% (1,75 vs. 3,06% para machos castrados y hembras, respectivamente). Sin embargo, al nivel 1,05% no se observaron diferencias entre machos castrados (2,50%) y hembras (2,97%). Al máximo nivel de lisina las hembras presentaron una disminución en GIM con respecto de los machos castrados (0,80 vs. 1,97%). Estos resultados fueron inferiores a los reportados por Cisneros *et al.* (1996) y Witte *et al.* (2000), empleando niveles de lisina más bajos que los de esta investigación. La menor GIM pudiera estar propiciada por la mayor cantidad de lisina ingerida y a la mayor capacidad genética de los cerdos empleados en este ensayo para retener el nitrógeno ingerido.

La relación P:G fue igualmente dependiente del nivel de lisina y el sexo ($P<0,001$), siendo esta relación más alta en los machos castrados con respecto a las hembras a los niveles de 0,95 y 1,05% (21,55 vs. 9,67 y 17,66 vs. 9,52 para machos castrados y hembras, respectivamente). Sin embargo, al nivel 1,15% de lisina las hembras superaron ($P<0,001$) a los machos castrados (34,46 vs. 15,79) (Cuadro 5). Esta relación se corresponde con los resultados anteriormente descritos de los valores de acumulación de proteína en relación al nivel de lisina y sexo, considerándose que el nivel energético de las dietas fue suficiente para fomentar una mejor retención de nitrógeno (Medel y Fuentetaja, 2001)

Se observó un efecto entre el nivel de lisina y sexo para TME ($P < 0,01$), siendo más alto en el caso de las hembras por 2,13 y 5,4 unidades porcentuales para los niveles 1,05 y 1,15%, no observándose diferencias al nivel 0,95% de lisina (Cuadro 5). Estos valores de TME fueron superiores a los reportados por Hansen y Lewis (1993), quienes observaron una tendencia de incrementar esta estimación a medida que se incrementaba el nivel de lisina en la dieta. Según Lopes *et al.* (2001), esto pudiera ser debido a la carencia en los machos castrados del nivel de andrógenos necesarios para inducir a las receptores androgénicos del músculo esquelético.

Para la PG10 no se observó efecto entre el nivel de RAC y el sexo; sin embargo, hubo un efecto ($P < 0,001$) de la RAC sobre la PG10 con una disminución este valor en 0,30 cm en los animales tratados (Cuadro 6). Esto coincide con las observaciones de Dunshea *et al.* (1993), Crome *et al.* (1996) y Schinckel *et al.* (2003).

Cuadro 6. Efecto de la ractopamina sobre la modificación del tejido magro

Variable†	Nivel de ractopamina, ppm	
	0	10
PG13, cm	1,68 ± 0,10	1,33 ± 0,07
PG10, cm	1,90 ± 0,08 b‡	1,60 ± 0,08 a
AMLD, cm ²	29,45 ± 1,621	29,94 ± 1,53
PC, %	25,12 ± 0,26 b	25,71 ± 0,17 a
GIM, %	2,07 ± 0,24	2,27 ± 0,25
P:G	18,33 ± 2,52	17,88 ± 2,39
ETM, %	52,21 ± 0,48	54,89 ± 0,52

† PG13 = profundidad grasa dorsal última costilla; PG10 = profundidad grasa dorsal antepenúltima costilla; PC = proteína cruda; ETM = tejido magro (estimado).

‡ Valores con letras distintas dentro de la misma fila son diferentes ($P < 0,05$).

La inclusión de RAC influyó ($P < 0,05$) en la respuesta de PC, siendo más alto en los animales tratados con la RAC superando a los animales sin RAC por 0,59 unidades porcentuales (Cuadro 6)

El AMLD presentó un efecto de RAC x sexo ($P < 0,05$), siendo este valor más alto en las hembras sin RAC en comparación con los machos castrados sin RAC, superándolos 5,28 cm². Sin embargo, la inclusión de 10 ppm de RAC mejoró este valor en los machos castrados (30,92 cm²), sin ser diferente a los observados en las hembras al mismo nivel de RAC (28,96 cm²). En las hembras hubo una tendencia contraria a la observada en los machos castrados (Figura 4).

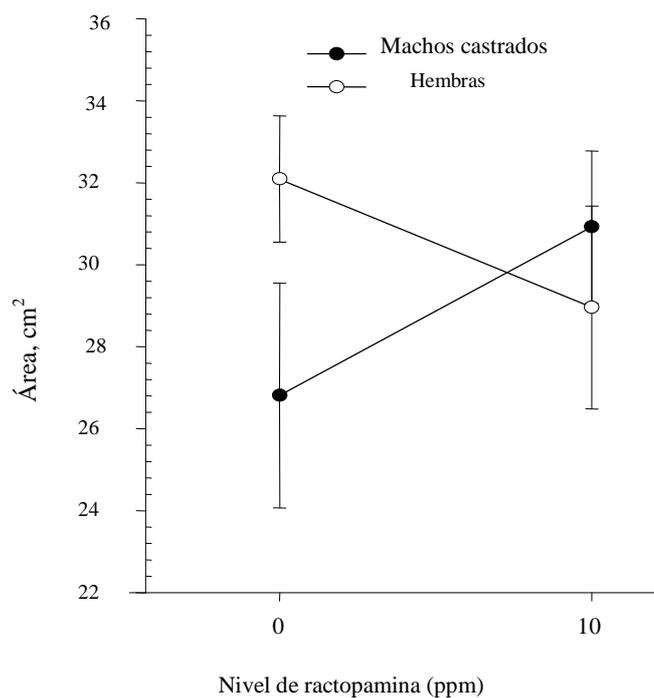


Figura 4. Efecto de la ractopamina y el sexo sobre el área del músculo *longissimus dorsi* en cerdos en la fase de engorde.

Igualmente se observó un efecto ($P < 0,001$) del sexo sobre la PC, en donde las hembras mostraron un incremento de 1,14 unidades porcentuales con respecto a los machos castrados (Cuadro 7). Estos resultados son coincidentes con los reportados por Weatherup *et al.* (1998). Es posible que este efecto se encuentre vinculado a la baja acción androgénica en los machos castrados, lo que conlleva a una disminución de la síntesis proteica (Lopes *et al.*, 2001).

No se observó efecto significativo entre el nivel de RAC y el sexo sobre las variables GIM y P:G; así mismo, no se apreciaron efectos principales para cada una de ellas. De igual manera, los resultados de la concentración de tejido magro estimado no presentaron interacción entre el nivel de RAC y el sexo del animal; sin embargo, se apreció un efecto del sexo sobre esta variable, en donde las hembras mostraron una más alta TME ($P < 0,001$), superando a los machos castrados por 2,68 unidades porcentuales (Cuadro 7), coincidiendo en los resultados aportados por Weatherup *et al.* (1998) y Medel y Fuentetaja (2001).

Se observó un efecto del sexo ($P < 0,001$) sobre la PG13, en donde las hembras presentaron una disminución 0,36 cm con respecto a los machos castrados (Cuadro 7). Este efecto del sexo coincide con lo observado por Weatherup *et al.* (1998) y Medel y Fuentetaja (2001). Igualmente, se observó un efecto ($P < 0,001$) del sexo sobre la PG10, observándose en las hembras un valor de 0,42 cm menor de PG10 al compararlas con los machos castrados (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto del sexo sobre la modificación del tejido magro

Variable†	Machos castrados	Hembras
PG13, cm	1,69 ± 0,07 a‡	1,33 ± 0,09 b
PG10, cm	1,96 ± 0,56 a	1,54 ± 0,09 b
AMLD, cm ²	28,86 ± 1,67	30,53 ± 1,46
PC, %	24,85 ± 0,24 b	25,99 ± 0,14 a
GIM, %	2,07 ± 0,24	2,27 ± 0,25
P:G	18,33 ± 2,52	17,88 ± 2,40
TME, %	52,21 ± 0,48 b	54,89 ± 0,52 a

† PG13 = profundidad grasa dorsal última costilla; PG10 = profundidad grasa dorsal antepenúltima costilla; PC = proteína cruda; ETM = % tejido magro (estimado).

‡ Valores con letras distintas dentro de la misma fila son diferentes ($P < 0,01$)

CONCLUSIONES

1. Aunque a nivel de la última costilla, la deposición de la grasa se vio afectada de manera independientemente del nivel de lisina o de la adición de RAC en la dieta, a nivel de la antepenúltima costilla, se observó un efecto combinado de estos factores. En general, de manera independientemente o en combinación, tanto la lisina como la ractopamina, alteran las características de la canal hacia una menor deposición de grasa de cobertura.

2. En este tipo de cerdos genéticamente seleccionados por su condición de magrosidad, la adición de 10 ppm de RAC y un nivel más alto de lisina, que el recomendado para la etapa de acabado, mejoró aún más esta condición.
3. Independientemente de la respuesta al efecto combinado del nivel de lisina y RAC, el sexo afecta la repuesta en cuanto a calidad de magro, con mejor calidad de magro en las hembras que en los machos castrados.
4. La estimación de la relación proteína:grasa resultó ser un buen indicador de la calidad del magro en este experimento.

LITERATURA CITADA

- Aallhus J.L., S.D. Jones, A.L. Schaefer, A.K W. Tong, W.M. Robertson, J.K. Merrill y 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.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1984. *Official Methods of Analysis 14th ed.* Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Armstrong T.A., D.J. Ivers, J.R. Wagner, D.B. Anderson, W.C. Weldon y 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 y E. White. 1990. Utilization of ileal digestible amino acids by growing pigs: Effects of dietary lysine concentration on efficiency of lysine retention. *Br. J. Nutr.*, 64: 81-94.
- Bikker P., M.W.A. Verstegen y M.W. Bosch. 1994. Amino acid composition of growing pigs in affected by protein and energy intake. *J. Nutr.*, 124: 1961-1969.
- Castell A.G., R.L. Cliplef, L.M. Paste-Flynn y G. Butler. 1994. Performance, carcass, and pork characteristics of castrates and gilts self-fed diets differing in protein content and lysine:energy ratio. *Can. J. Anim. Sci.*, 74: 519-528.

- Chen H.Y., A.J. Lewis, P.S. Miller y 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 y 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.
- Crome P.K., F.K. McKeith, T.R. Carr, D.J. Jones, D.H. Mowrey y 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.
- Dunshea F.R., R.H. King, R.G. Campbell, R.D. Sainz y Y.S. Kim. 1993. Interrelationships between sex and ractopamine on protein and lipid deposition in rapidly growing pigs. *J. Anim. Sci.*, 71: 2919-2930.
- Friesen K.G., J.L. Nelssen, R.D. Goodband, M.D. Tokach, J.A. Unruh, D.H. Kropf y 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.
- Grant A.L., D.M. Skjaerlund, W.G. Helferich, W.G. Bergen y R.A. Merkel. 1995. Skeletal muscle growth and expression of skeletal muscle α – actin mRNA and insulin – like factor. I. mRNA in pigs during feeding and withdrawal of ractopamine. *J. Anim. Sci.*, 71: 3319 – 3326.
- Hahn J.D., R.R. Biehl y D.H. Baker. 1995. Ideal digestible lysine level for early and late finishing swine. *J. Anim. Sci.*, 73: 773 – 784.
- Hansen B. y A. 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.
- Knowles T.A., L.L. Southern y T.D. Bidner. 1998. Ratio of total sulfur amino acids to lysine for finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 76: 1081-1090.
- Lawrie R.A. 1998. *Ciencia de la Carne*. 3^{ra} ed. Editorial Acribia. Zaragoza, España.

- Liu C.Y., A.L. Grant, K.H. Kim, S.Q. Ji, D.L. Hancock, D.B. Anderson y S.E. Mills. 1994. Limitations of ractopamine to affect adipose tissue metabolism in swine. *J. Anim. Sci.*, 72: 62 – 67.
- Medel P. y A. Fuentetaja. 2001. Efecto del perfil genético, del sexo, del peso al sacrificio y de la alimentación sobre la productividad y la calidad de la canal y de la carne de cerdos grasos. Factores que afectan en la producción de cerdo graso. XVI Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España.
- National Pork Producers Council. 1994. Procedures to Evaluate Market Hogs. National Pork Producers Council, Des Moines, IA.
- NRC (National Research Council). 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10^{ma} ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- Noblet J. y Y. Henry. 1991. Energy evaluations systems for pig diets. *En* Batterham E.S. (Ed.) *Manipulating Pig Production*. Australasian Pig Science Association, Attwood, Australia. pp. 87-110.
- Pérez A., N.E. Obispo, 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 Trop.*, 23(4): 429-445.
- SAS. 1985. SAS User's Guide: Statistics. 5^{ta} ed. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Schinckel A.P., C.T. Herr, B.T. Richert, J.C. Forrest y M.E. Einstein. 2003. Ractopamine treatment biases in the prediction of pork carcass composition. *J. Anim. Sci.*, 81: 16-28.
- Smith D.J. y 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 y 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.

-
- Steel R. y J.H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 2^{da} ed. McGraw- Hill, New York, NY.
- Weatherup R.N., V.E. Beattie, B.W. Moss, D.J. Kilpatrick y N. Walker. 1998. The effect of increasing slaughter weight on the production performance and meat quality of finishing pigs. *Anim. Sci.*, 67: 591-600.
- Williams N.H., T.R. Cline, A.P. Schinckel y 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 y 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.