



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE
MÉXICO

MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA
PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

“Influencia de la Tasa de Crecimiento Magro y de una Secuencia de
Cambio en el Perfil de Ácidos Grasos de la Dieta sobre el Mérito de la
Canal y de la Calidad de la Carne de Cerdo”

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS

P R E S E N T A

Gregorio Enrique Lanz Arias

TUTOR:

Dr. José Antonio Cuarón Ibargüengoytia

COMITÉ TUTORAL:

Dr. Gerardo Mariscal Landín
Dra. María de la Salud Rubio Lozano



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, quienes a través de su esfuerzo constante, me han apoyado para la realización de estos estudios de posgrado. Sé lo que significa para ustedes El que yo tenga este logro, ya que no es solo mío sino también de ustedes. Gracias por los valores que me han enseñado a lo largo de mi vida, los amo.

A mis hermanos, que han creído en mí y que me han apoyado incondicionalmente de todas las formas posibles para que yo pudiera estudiar esta maestría. Gracias por ayudarme en este sueño.

A mis amigos, todos los que siempre han estado presentes durante estos años. Gracias por su apoyo.

A Mónica, porque cuando quise renunciar a esto, me animaste a seguir adelante y no darme por vencido, por estar detrás de mí en los momentos difíciles durante estos 2 años.

Al Dr. Cuarón, por aceptarme como su alumno en este posgrado y confiar en mi capacidad. Gracias por todas sus enseñanzas a lo largo de estos años y gracias por ser mi amigo además de mi tutor.

Al PAIEPEME A.C. ya que sin su ayuda este trabajo de tesis no se hubiera podido realizar exitosamente, gracias por el apoyo tanto moral como financiero.

Índice

Agradecimientos	i
Resumen	ii
Abstract	iii
Índice	iv
1. Introducción	1
2. Revisión de Literatura	2
2.1 Crecimiento del tejido muscular y adiposo	2
2.2 Aspectos celulares del crecimiento	4
2.2.1 Músculo esquelético	4
2.2.2 Tejido adiposo	4
3. Antecedentes	6
4. Objetivos	8
5. Hipótesis	8
6. Material y métodos	9
6.1 Ubicación del sitio experimental	9
6.2 Dietas Experimentales	10
6.3 Sujetos experimentales, instalaciones, alimentación y manejo	14
6.4 Análisis Químicos	17
6.5 Análisis Estadístico	17
7. Resultados y Discusión	18
7.1 Comportamiento Productivo	18
7.2 Rendimiento de Cortes Magros	20
7.3 Mediciones en canal	23

7.4 Proteína Cruda y Grasa Intramuscular	24
8. Conclusiones	27
9. Literatura citada	28

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los productores de carne de cerdo tienen la meta de producir eficiente y rentablemente carne magra y de calidad, esto obedece a que los consumidores están dispuestos a pagar un mejor precio por este tipo de cortes, lo que ha llevado a un proceso de selección genética de cerdos con elevadas tasas de crecimiento de tejido y de rendimiento porcentual de cortes magros (Schinckel *et al.*, 2003). Sin embargo, estos procesos de selección y el énfasis en el crecimiento de la masa de músculo esquelético de los cerdos ha dado como resultado que las estirpes que se explotan actualmente tengan, en algunos de los cortes magros (los más apreciados), problemas asociados a la calidad técnica y organoléptica de la carne, como color, capacidad de retención de agua, textura y sabor (Stites *et al.*, 1991). Lo que sucede es que, en la actualidad (quizá en más del 60% de los cerdos sacrificados en México) el contenido de grasa en el músculo puede ser tan bajo como el 1%, mientras que la grasa de cobertura puede ser de pobre consistencia y propensa a la oxidación. Regresar a los genotipos que producen mejor calidad de carne significaría perder hasta un 55% de la eficiencia alimenticia o el 40% del potencial de crecimiento y de los cortes magros, que son la esencia de la industria.

El tipo y consistencia de la grasa de cobertura e intramuscular, son fundamentales en la calidad de los productos del cerdo. En el caso de cortes de gran valor, como el tocino, la importancia de la calidad de la grasa es obvia, pero en el músculo, un incremento (hasta el 3%) en la grasa intramuscular favorece la calidad de la carne (Fernández *et al.*, 1999; Brewer *et al.*, 2001), pero el tipo de esta grasa es importante, porque un alto grado de insaturación de los ácidos grasos puede inducir grasa blanda, lo cual trae consigo, procesos de oxidación y rancidez temprana (Hermesch *et al.*, 2000); mientras que el contenido de ácido oleico (18:1) tiene una relación directa con la calidad de los productos, como son la vida de anaquel y las características organolépticas (Cava *et al.*, 1997; Fernández *et al.*, 1999). Varios estudios sugieren una relación favorable entre la grasa intramuscular y la suavidad y jugosidad de la carne de cerdo (Hodgson, *et al.*, 1991; Castell *et al.*, 1994), además otros investigadores han demostrado que

un nivel mínimo de grasa intramuscular es necesario para maximizar la suavidad de la carne (Bejerholm y Barton-Gade, 1986; De Vol *et al.*, 1988). Un intento para aumentar la grasa intramuscular en líneas magras es utilizar cruzamientos con razas con alto nivel de marmoleo, particularmente Duroc, en programas de cruzamientos alternos (Ellis *et al.*, 1996). Otro intento potencial para aumentar el contenido de grasa intramuscular en una raza o línea genética en particular, es a través de la nutrición.

RESUMEN

Con el objetivo de promover una mayor infiltración de grasa intramuscular, se usaron 169 cerdos de ambos sexos y 2 genéticas diferentes con un peso inicial de 45 kg alimentados con una sola dieta, rica en ácido linolénico. Al llegar a un peso de 82 kg se sustituyó el aceite de canola por sebo de res y se formularon 3 dietas: 1 Control: 3.35 Mcal de EM/kg, 0.75% de lisina digestible (LysD); 2: con Clorhidrato de Ractopamina (RAC) a 10 ppm: 3.35 Mcal de EM/kg y 0.86% de LysD y 3: Como la dieta Control, pero con RAC a 10 ppm), las cuales se ofrecieron durante 21 días. Posteriormente se ofrecieron 2 dietas de finalización (1: 3.35 Mcal de EM/kg, 0.67% de LysD y 2: Como la dieta 1, pero baja en LysD (0.40%) por 7, 14, 21 o 28 días. Se estimaron ganancia diaria de peso (GDP), consumo diario de alimento (CDA) y eficiencia alimenticia (GxC). La tasa de crecimiento magro se estimó a través de ultrasonografía en tiempo real, al inicio, 21 días después y posteriormente en intervalos semanales hasta completar 28 días. Los cerdos fueron sacrificados para realizar mediciones de calidad de carne en las canales (color y marmoleo) y se tomaron muestras de los lomos para analizar el perfil de ácidos grasos y análisis químicos. En la etapa de 45 a 82 kg no se observaron diferencias en el comportamiento productivo por sexo ni raza. Durante el periodo de 21 días usando RAC se observaron diferencias en GDP, CDA, GxC y ganancia diaria de tejido magro libre de grasa (GDTMLG), entre RAC y el control. Durante la etapa de finalización no se observaron diferencias entre tratamientos para CDA, GxC y GDTMLG, sin embargo hubo una interacción entre el tiempo de retiro y el tratamiento previo para la GDP, los animales previamente tratados con RAC fueron inferiores al control ($P < 0.05$) los primeros 7 días sin RAC, posteriormente la GDP se igualó ($P > 0.10$) al control. El contenido de proteína cruda no presentó diferencias por efecto del tratamiento de finalización ($P > 0.05$). Sin embargo, el contenido de grasa intramuscular fue mayor (< 0.03) en los cerdos del tratamiento de finalización bajo en lisina. El color y marmoleo subjetivos no presentaron diferencias ($P > 0.05$) por efecto de tratamiento de finalización, pero sí hubo una diferencia en marmoleo por días de finalización, presentando mayor marmoleo los animales sacrificados a 14 días después de retirar RAC.

Palabras Clave: Grasa intramuscular, Ractopamina, Lisina.

ABSTRACT

With the objective of promoting a higher intramuscular fat infiltration, 169 pigs, barrows and gilts from two different genotypes were used, with an initial bodyweight of 45 kg, fed with a single diet rich in linolenic acid by using canola oil. At 82 kg, canola oil was substituted in the diet by beef tallow and 3 diets were formulated: 1 Control: 3.35 Mcal ME/kg, 0.75% digestible lysine (LysD); 2: with Ractopamine hydrochloride (RAC) at 10 ppm: 3.35 Mcal ME/kg and 0.86% de LysD and 3: like control diet but with 10 ppm of RAC. These diets were offered for 21 days. After this period pigs were randomized to 2 finishing diets: "A" Normal Digestible Lysine: 3.35 Mcal ME/kg, 0.67% LysD and "B" Low Digestible Lysine: like diet A, but low in LysD (0.40%). Animals were fed with these diets for 7, 14, 21, or 28 d. Average daily weight gain (ADG), average daily feed intake (ADF) and feed efficiency (G/F) were estimated. Lean tissue growth rate (LTGR) was estimated through real time ultrasound measures, at the beginning, 21 d later and then in weekly intervals until 28 d of the finishing period. Pigs were sacrificed to take pork quality measurements in the carcasses (color and marbling NPPC scale) and samples of the *longissimus* were taken for intramuscular fat and protein content analyses. In the stage from 45 to 82 kg, no differences were observed in productive performance by sex or genotype ($P>0.05$). During the period of 21 d of RAC use there were differences in ADG, ADF and G/F ($P<0.05$) between RAC treated pigs and control pigs. During the finishing period no differences were observed among treatments ($P>0.05$) for ADG, ADF, G/F or LTGR; however there was an interaction between RC treatment and finishing period for ADG, pigs previously treated with RAC had lower ADG than pigs without RAC ($P<0.05$) the first 7 d after RAC withdrawal, for the following days (14 to 28) ADG in RAC treated pigs reached the same level as those in the control treatment ($P>0.10$). Protein content was not different by finishing treatment ($P>0.05$). However, intramuscular fat content was greater ($P>0.03$) in pigs in the low lysine treatment. Subjective color and marbling were not different between finishing treatments ($P>0.05$); but there was a difference in marbling by finishing period, animals sacrificed 14 d after withdrawing RAC had greater marbling scores.

Key Words: Intramuscular fat, Ractopamine, Lysine.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La composición química de la grasa del cerdo, puede alterarse naturalmente durante las últimas etapas de la engorda (pesos por arriba de los 65 kg), con la correcta selección de ingredientes. Estos cambios serán observados solo después de 5 semanas (Witte *et al.*, 2000), particularmente si bajos niveles de proteína y lisina, son usados en la formulación (Castell *et al.*, 1994; Cisneros *et al.*, 1996a; Blanchard *et al.*, 1999; Hyun *et al.*, 2001, 2002). También se ha reportado que cambios en el consumo de energía combinados con un alto contenido de ácido linolénico en la dieta produce cambios en la concentración y tipo de ácidos grasos de la canal (Bee *et al.*, 2002). El incremento en la grasa intramuscular por alimentar a los cerdos con dietas deficientes en lisina se debe a un incremento en la cantidad de energía disponible para la deposición de grasa (Witte *et al.*, 2000). Sin embargo, al favorecer incrementos en la cantidad y calidad de la grasa intramuscular durante períodos largos puede prevenir el crecimiento de la masa muscular.

Algunos compuestos, como los β -adrenérgicos favorecen la hipertrofia muscular, incrementando la síntesis de proteína, debido a un aumento en el flujo de nutrientes hacia tejidos periféricos (Mersmann, 1998a,b ; Mills *et al.*, 2003). Lo anterior resulta en un mayor intercambio de glucosa, con efectos mínimos en el metabolismo de la grasa, excepto por la disponibilidad de energía para la deposición de esta (King *et al.*, 2000; McNeel y Mersmann, 1998a,b). En trabajos previos, cuando el β -adrenérgico, fue retirado de la dieta, existió una respuesta compensatoria en la deposición de la grasa (Mejía y Cuarón, 2002; Fernández y Cuarón, 2004), lo cual pudo inducir cambios inmediatos en el perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular. Esta es una posibilidad interesante porque las prácticas actuales para inducir la infiltración de grasa en el músculo, necesariamente frenan la velocidad de crecimiento, por el cambio en los patrones de acumulación, de proteína a grasa.

REVISIÓN DE LITERATURA

Crecimiento del tejido muscular y adiposo

El estudio del crecimiento y desarrollo de los animales se describe comúnmente como la integración de todos los aspectos de la ciencia animal, incluyendo nutrición, genética, fisiología, salud y ciencia de la carne. Los primeros reportes sobre el crecimiento y desarrollo de los animales domésticos fueron ampliamente estudiados por Brody (1945) y Palsson (1955). Berg y Butterfield (1976) estudiaron anatómicamente el crecimiento del músculo, tejido adiposo y hueso y clarificaron la relación entre el crecimiento de los músculos individualmente y la conformación corporal. Las contribuciones más recientes para el entendimiento del proceso de crecimiento han sido los estudios a nivel celular de los tejidos en crecimiento (Trenkle y Marple, 1983).

El crecimiento de los animales ha sido descrito observando los cambios en peso corporal por unidad de tiempo o estudiando la relación matemática del peso corporal en función de la edad. El primero provee valores que pueden ser usados fácilmente para comparar los efectos de diferentes tratamientos o para describir la tasa de crecimiento de los animales. El segundo método resulta en la estimación de curvas de crecimiento que han sido usadas generalmente para describir los patrones de crecimiento de los animales o tejidos.

Los cambios que ocurren durante el crecimiento de los animales se pueden empezar a detectar a los pocos días del nacimiento de los mismos. Sin embargo, esto no quiere decir que el crecimiento prenatal sea ignorado, por el contrario, se debe enfatizar la necesidad de entender los mecanismos responsables tanto para el crecimiento embrionario y el desarrollo del feto. Los principales componentes corporales al nacimiento incluyen el esqueleto, músculos y órganos internos, cuando la grasa comprende apenas un 2% del peso corporal. No obstante el bajo porcentaje de grasa corporal al nacimiento, para el día 21 de vida éste aumenta a más del 15% del peso corporal del lechón (Whittemore *et al.*, 1978). El crecimiento postnatal es caracterizado por la continuación en el crecimiento del esqueleto, órganos y músculos hasta que el animal alcanza aproximadamente el 50 ó 60% de

su peso adulto, punto en el cual declina el crecimiento muscular y esquelético y la tasa de deposición de grasa tiene un ligero aumento.

El número de fibras musculares al momento del nacimiento, así como el tamaño de las mismas, varía entre las diferentes razas de cerdos, así como entre sexos y estas diferencias se mantienen durante toda la vida productiva de los animales (Trenkle and Marple, 1983), por lo cual, individuos de diferente raza o línea genética tienen diferentes patrones de crecimiento y deposición de proteína y grasa. De este modo, la tasa de crecimiento muscular está directamente relacionada con el número de fibras musculares, por lo que animales de razas con mayor número de fibras musculares tendrán una mayor tasa de crecimiento (Miller *et al.*, 1975; Fowler *et al.*, 1980).

El tejido adiposo muestra relativamente poco cambio hasta que el animal alcanza aproximadamente la mitad de su crecimiento. Sin embargo, esto no quiere decir que el tejido adiposo esté sin desarrollo antes de este momento, ya que los adipocitos se desarrollan tempranamente, pero no comienzan a aumentar considerablemente de tamaño hasta que la disponibilidad de nutrientes excede los requerimientos para el crecimiento esquelético y deposición de proteína (crecimiento muscular principalmente). El notorio aumento en la grasa corporal asociado a las últimas etapas del crecimiento, representa un periodo de aumento en la retención de energía por parte de los animales (Allen, *et al.*, 1976; Mersmann, 1979). No obstante, es bastante la energía que, podría decirse, se desperdicia, ya que el exceso de grasa subcutánea es removido de las canales durante el proceso de "manufactura".

Aspectos celulares del crecimiento

El crecimiento y desarrollo del animal depende de procesos que ocurren a nivel celular. El crecimiento de todos los tejidos ocurre de dos formas: un aumento en el número de células (hiperplasia) y un aumento en el tamaño de las células (hipertrofia). Por lo general, la hiperplasia ocurre durante el periodo prenatal, aunque no para todos los tejidos. Al momento del nacimiento hay un periodo de

hipertrofia e hiperplasia (en algunos casos), seguido de un periodo de hipertrofia conforme el animal madura (Robinson, 1971).

Músculo esquelético

Durante el desarrollo fetal hay una proliferación de células mononucleadas, somites, las cuales se diferencian en mioblastos; varios mioblastos se fusionan para formar miotubos multinucleados los cuales después adquieren miofibrillas para convertirse en fibras musculares. Los mioblastos y posteriores células musculares se diferencian a partir de los somites en el mesodermo embrionario. Se ha propuesto que existen diferentes estados de diferenciación entre las células mesodermales y los mioblastos diferenciados. Los somites tienen la habilidad de dividirse y, por ende, aumentar el número de células miogénicas. Los mioblastos no divididos tienen la capacidad de sintetizar y formar proteínas miofibrilares y las moléculas para la fusión celular para la formación de miotubos y, eventualmente, fibras musculares multinucleadas. El número de fibras en un músculo se adquiere antes del nacimiento y el crecimiento muscular que ocurre durante la vida del animal es solo por hipertrofia de las fibras. Es entonces, el número de núcleos o células musculares lo que determina la masa muscular en una especie o raza (Robinson, 1969; Burleigh, 1974; Trenkle y Marple, 1983).

Tejido adiposo

El tejido adiposo tiene una estructura lobular con células agrupadas en racimos alrededor de una cama capilar soportada por una matriz de tejido conectivo. Las células grasas, adipocitos, se desarrollan a partir de las células mesenquimales (Allen *et al.*, 1976). Cuando las células comienzan a acumular grasa, ésta se ve como pequeñas gotas dentro de la célula, conforme la célula se llena, estas pequeñas gotas se fusionan en una sola gota, característica de un adipocito maduro. Las células grasas con una sola gota pequeña de grasa se observan comúnmente en los animales al nacimiento o a los pocos días después de que éste ocurre (Leat y Cox, 1980).

El crecimiento del tejido adiposo ocurre inicialmente por una combinación entre el aumento de tamaño de la célula y una proliferación celular. Anderson y Kauffman

(1973), observaron que el aumento en el tejido adiposo entre el primero y segundo mes de vida se debía principalmente a la proliferación de nuevas células. Conforme los animales crecieron, la hiperplasia se redujo y la hipertrofia de las células existentes fue responsable del aumento del tejido adiposo. El número de células del tejido adiposo parece alcanzar su máximo en una etapa temprana de la vida de los animales, mientras que la hipertrofia celular continúa hasta que el tamaño máximo de las células es alcanzado. En este punto, si existe la necesidad de continuar con la deposición de grasa (mayor ingesta energética de la requerida para la deposición de magro), parece haber una inducción de hiperplasia conforme aparecen nuevos adipocitos (Robelin, 1981). No se sabe si los nuevos adipocitos se desarrollan a partir de una división celular o representan el desarrollo de preadipocitos inactivos que fueron generados en una etapa previa del crecimiento del animal. Los adipocitos solamente son reconocidos después de que la acumulación de grasa ha comenzado o que las células alcanzan un diámetro mínimo. Sobre todo, la hipertrofia celular parece contribuir más que la hiperplasia para el incremento de la masa del tejido adiposo en los animales en crecimiento.

Existen diferencias en los patrones de crecimiento de varios tejidos adiposos. Por ejemplo, la hiperplasia es más importante para el crecimiento del tejido adiposo subcutáneo y perirrenal que para el del tejido adiposo intramuscular. Las células de grasa intramuscular son más pequeñas en tamaño y contienen más agua que los adipocitos localizados subcutánea o perirrenalmente. La hiperplasia parece ser más prolongada y contribuye más en la acumulación de grasa intramuscular que en otros depósitos de grasa del cuerpo (Allen *et al.*, 1976). Así mismo, los patrones de deposición de grasa son diferentes entre los tejidos, los primeros depósitos de grasa en llenarse en el animal es la grasa visceral, posteriormente la grasa de cobertura y por último la grasa intramuscular.

El crecimiento del tejido muscular y del tejido adiposo ocurre entonces, de manera muy diferente tanto entre animales de la misma raza como de diferente raza o línea genética. Para esto, se han desarrollado curvas de crecimiento apoyados en mediciones tanto fisiológicas (*i.e.*, peso corporal y edad) como de ultrasonido en tiempo real, para estimar la cantidad de músculo y/o grasa en animales vivos.

ANTECEDENTES

La composición química de la grasa del cerdo, puede alterarse naturalmente durante las últimas etapas de la engorda (pesos por arriba de los 65 kg), con la correcta selección de ingredientes. Estos cambios serán observados solo después de 5 semanas (Witte *et al.*, 2000), particularmente si bajos niveles de proteína y lisina, son usados en la formulación (Castell *et al.*, 1994; Cisneros *et al.*, 1996a; Blanchard *et al.*, 1999; Hyun *et al.*, 2001, 2002). También se ha reportado que cambios en el consumo de energía combinados con un alto contenido de ácido linolénico en la dieta produce cambios en la concentración y tipo de ácidos grasos de la canal (Bee *et al.*, 2002). El incremento en la grasa intramuscular por alimentar a los cerdos con dietas deficientes en lisina se debe a un incremento en la cantidad de energía disponible para la deposición de grasa (Witte *et al.*, 2000). Sin embargo, al favorecer incrementos en la cantidad y calidad de la grasa intramuscular durante períodos largos puede prevenir el crecimiento de la masa muscular.

Algunos compuestos, como los β -adrenérgicos favorecen la hipertrofia muscular, incrementando la síntesis de proteína, debido a un aumento en el flujo de nutrientes hacia tejidos periféricos (Mersmann, 1998a,b ; Mills *et al.*, 2003). Lo anterior resulta en un mayor intercambio de glucosa, con efectos mínimos en el metabolismo de la grasa, excepto por la disponibilidad de energía para la deposición de esta (King *et al.*, 2000; McNeel y Mersmann, 1998a,b). En trabajos previos, cuando el β -adrenérgico, fue retirado de la dieta, existió una respuesta compensatoria en la deposición de la grasa (Mejía y Cuarón, 2002; Fernández y Cuarón, 2004), lo cual pudo inducir cambios inmediatos en el perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular. Esta es una posibilidad interesante porque las prácticas actuales para inducir la infiltración de grasa en el músculo, necesariamente frenan la velocidad de crecimiento, por el cambio en los patrones de acumulación, de proteína a grasa.

Tomando lo anterior en cuenta, muchos sectores de la profesión médica estarían más receptivos a los productos cárnicos que contengan una mayor proporción de grasas insaturadas. Consecuentemente, la grasa saturada puede desarrollarse importantemente como el aspecto líder en salud de la dieta para el consumo de carne. El consumo de ácidos grasos saturados ha demostrado aumentar las concentraciones de LDL-colesterol en humanos, lo cual se ha correlacionado con enfermedad coronaria del corazón. Grundy (1986) reportó que las dietas ricas en aceite de cártamo disminuían los niveles de colesterol plasmático en humanos. Entonces, reemplazar grasa saturada con insaturada en la dieta, puede disminuir los niveles de colesterol plasmático en humanos.

OBJETIVOS

- Promover la deposición de grasas insaturadas en la canal por efecto de la adición de aceite de canola en la dieta.
- Con el uso de Clorhidrato de Ractopamina, desarrollar estrategias que, a corto tiempo, permitan aumentar la infiltración de grasa en el músculo con la menor alteración posible de la tasa de crecimiento y deposición de proteína.
- Estimar a que tiempo, después de usar Ractopamina, se tendrá una mayor infiltración de grasa intramuscular.

HIPÓTESIS

El uso de clorhidrato de Ractopamina en las dietas permitirá que la velocidad de crecimiento e mantenga durante la engorda y que, al ser retirado de la dieta, se promueva una mayor infiltración de grasa intramuscular.

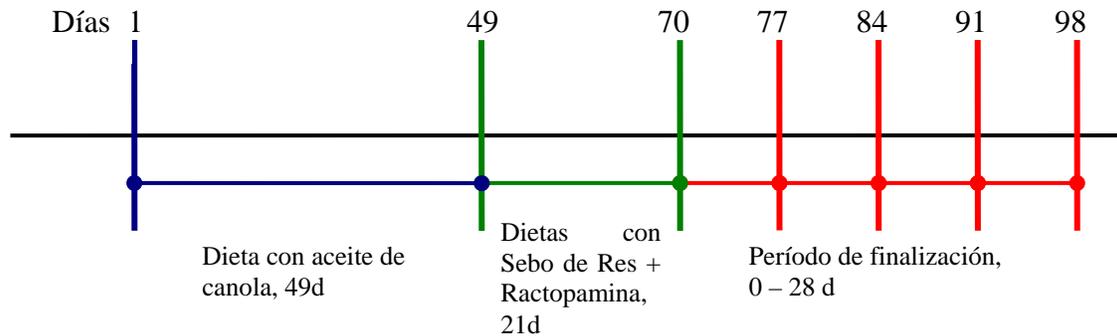
MATERIAL Y MÉTODOS

El experimento tuvo una duración de 98 días. Se manejaron 3 fases experimentales. La primera fase fue de los 45 hasta los 82 kg, en la cual se ofreció una sola dieta que contenía aceite de canola (3.6%); en la segunda fase, se indujo el uso de clorhidrato de Ractopamina (Paylean™, Elanco Animal Health) para favorecer la síntesis de proteína; durante esta fase se cambió la fuente grasa (de aceite de canola a sebo de res) a fin de medir la posibilidad de inducción de cambio en el perfil de ácidos grasos de la canal durante 21 días (82 a 100 kg). En la tercera fase se usaron dos dietas, ambas sin Ractopamina, con sebo de res como fuente de grasa, a fin de estudiar las secuelas en crecimiento y composición corporal al retiro del β -adrenérgico hasta por 28 días, de los 100 a 120 kg (Figura 1).

UBICACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL.

El trabajo experimental se realizó en la granja de cerdos del Centro Nacional de Investigación en Fisiología Animal (CENIDFA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Esta institución se localiza en el kilómetro 1.5 de la carretera Ajuchitlán-Colón, estado de Querétaro y está ubicado a 100°00'946'' longitud oeste y a 20°41'738'' de latitud norte a una altura de 1,985 msnm. El clima predominante de la zona es semiseco templado, con lluvias en verano, con una precipitación media anual de 460 a 640 mm y una temperatura media anual de 14°C. Los métodos analíticos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Nutrición del CENIDFA. El sacrificio de los animales se realizó en el establecimiento Tipo Inspección Federal (TIF) FYRASA ubicado a una distancia de 240 km del sitio experimental en Pénjamo, Guanajuato y el despiece de las canales se realizó en el Obrador TIF Apaseo ubicado en Apaseo el Grande, Guanajuato.

Figura 1. Cronograma de actividades



- * Día 49, cambio de fase de alimentación y de la fuente de grasa incluida en el alimento (aceite de canola por sebo de res).
- * Día 70, sacrificio de cerdos con "0" días de consumo de las dietas de finalización.
- * Día 77 - 98, sacrificio semanal de 31 cerdos (promedio) consumiendo las dietas de finalización.

DIETAS EXPERIMENTALES.

En todas las fases de experimentación, previo a la formulación de las dietas experimentales, se analizó el contenido de proteína cruda de la materia prima por medio del método de Kjeldahl (AOAC, 2002). Los aminoácidos se estimaron usando las ecuaciones de regresión que dieron origen a la información disponible en los cuadros de contenido de aminoácidos elaborados por Mariscal *et al.* (2004) y el aporte en base digestible de los AA's se tomó del mismo cuadro. Las dietas se elaboraron con un contenido de minerales y vitaminas para cubrir o exceder los requerimientos de los animales (NRC, 1998). Los niveles de lisina digestible se establecieron como el requerimiento de la población en estudio y conforme a la esperanza de respuesta en inducción de crecimiento magro por RAC (Fernández *et al.*, 2004). En relación a lisina digestible (LysD) los aminoácidos limitantes se incluyeron en concentraciones suficientes para cumplir con las recomendaciones de un patrón de Proteína Ideal (Baker, 1997, para los cerdos Control, y con el ajuste recomendado por Fernández *et al.*, 2004, para cerdos tratados con RAC).

- Primera Fase (Crecimiento 45 a 82 kg).

Se utilizó una sola dieta, durante 49 días, rica en ácido linolénico (por inclusión de 3.6% de aceite de canola en la dieta como fuente de energía) con la finalidad de favorecer la deposición de grasa blanda (Cuadro 1).

Cuadro 1. Dieta experimental, primera fase.

Ingrediente	kg / ton
Sorgo, grano	711.560
Pasta de soya	124.600
Pasta de canola	100.000
Aceite Vegetal	36.000
Carbonato de calcio	7.800
Ortofosfato	6.400
Sal	3.600
Levadura	3.000
L-Lisina, HCl	2.750
Vitaminas	2.400
L-Treonina	0.940
Minerales Traza	0.800
DL-Metionina	0.150

Composición Química	
EM., Mcal/kg	3.302
PC, %	15.500
Lisina, %	0.930
Lisina digestible, %	0.800
Treonina digestible, %	0.536
P disponible, %	0.200

- Segunda Fase (Periodo de Uso de Ractopamina)

En esta fase se usaron tres dietas (Cuadros 2 y 3), en las cuales se sustituyó el uso de aceite de canola por sebo de res, con el objeto de cambiar la composición de ácidos grasos en la canal, tomando en cuenta la composición de ácidos grasos del aceite de canola, usado durante la etapa anterior y del sebo de res usado a

partir de esta etapa (Cuadro 4). Cada una de las dietas fue un tratamiento para tener un total de tres tratamientos experimentales en esta fase: 1) Control, 2) Ractopamina alta en proteína (RAC AP) y 3) Ractopamina normal en proteína (RAC NP); los cuales se describen en el cuadro 5.

Cuadro 2. Dietas experimentales, segunda fase (kg/ton).

Ingrediente	Control	Ractopamina Alta Proteína	Ractopamina Proteína Normal
Sorgo, grano	740.760	587.600	664.700
Pasta de soya	137.400	213.800	148.000
Pasta de canola	63.800	140.000	126.00
Sebo de res	33.000	40.000	39.000
Ortofosfato	7.800	5.000	5.400
Carbonato de calcio	7.000	6.300	6.900
Sal	3.600	3.600	3.600
Vitaminas	2.400	2.400	2.400
L-Lisina, HCl	2.360		2.300
L-Treonina	0.980		0.400
Minerales Traza	0.800	0.800	0.800
DL-Metionina	0.100		
Ractopamina*, ppm		10.000	10.000

*La fuente de Ractopamina fue Paylean 20™, Elanco Animal Health.

Cuadro 3. Composición química de las dietas (Segunda fase)

	Control	RAC AP	RAC NP
EM., Mcal/kg	3.300	3.301	3.298
PC, %	14.998	19.759	17.041
Lisina, %	0.868	1.030	1.006
Lisina digestible, %	0.75	0.860	0.860
Treonina digestible, %	0.524	0.605	0.541
P disponible, %	0.224	0.181	0.185

Cuadro 4. Composición de Ácidos grasos del sebo de res y aceite de canola, %

Ácido Graso	Sebo de Res	Aceite de Canola
12:0	0.17	0.02
14:0	1.17	0.09
15:0	0.46	0.02
16:0	17.84	4.74
16:1	3.40	0.39
18:0	10.20	1.70
18:1	45.30	57.70
18:2	18.20	22.50
18:3	2.00	12.40
Otros	1.26	0.44

Modificado de Miller *et al*, 1990; Myer *et al*, 1992 y Fontanillas *et al*, 1998.

Cuadro 5. Descripción de los tratamientos experimentales.

TRATAMIENTOS	RAC, ppm	Relación Lys:PC, %
Control	--	5.8
RAC AP	10	5.2
RAC NP	10	6.4

- Tercera Fase (Periodo de finalización)

Se utilizaron dos dietas de finalización: 1) Dieta A: 3.35 Mcal de EM/kg, 0.67% de LyD y una relación Lys:PC del 5.2% y 2) Dieta B: Como la dieta 1, pero baja en LyD (0.40%). Estos tratamientos se establecieron para identificar cual de los dos podía promover una mayor infiltración de grasa intramuscular. La composición de ingredientes y composición química de estas dietas se describen en los cuadros 6 y 7.

Cuadro 6. Dietas experimentales, tercera fase (kg/ton).

Ingrediente	Dieta A	Dieta B
Sorgo, grano	730.300	880.200
Pasta de soya	147.000	44.000
Pasta de canola	63.000	20.000
Sebo de res	40.000	34.000
Ortofosfato	4.100	4.500
Carbonato de calcio	7.400	8.700
Sal	3.600	3.600
Vitaminas	2.400	2.400
L-Lisina, HCl	1.100	1.580
L-Treonina	0.300	0.220
Minerales Traza	0.800	0.800

Cuadro 7. Composición química de las dietas (Tercera fase)

	Dieta A	Dieta B
EM., Mcal/kg	3.350	3.350
PC, %	15.161	10.083
Lisina, %	0.794	0.476
Lisina digestible, %	0.673	0.400
Treonina digestible, %	0.469	0.280
P disponible, %	0.151	0.151

SUJETOS EXPERIMENTALES, INSTALACIONES, ALIMENTACIÓN Y MANEJO.

En las tres fases experimentales se usaron en total 169 cerdos (machos castrados y hembras) producto de dos genéticas diferentes (Landrace y PIC419). Los animales se alojaron en corraletas individuales de 1.25 m². Los cerdos fueron alimentados a saciedad en 2 comidas diarias (08:00 y 18:00 h) para evitar desperdicios y estimular el consumo. El alimento ofrecido se pesó diariamente y el consumo de alimento (CA) se midió al pesar individualmente el alimento remanente en el comedero al final de cada día. Los cerdos se pesaron individualmente un día antes de iniciar el experimento para aleatorizar los tratamientos y posteriormente en intervalos de 7 días para calcular la ganancia

diaria de peso (GDP) por la diferencia entre los periodos y acumulado al final de cada una de las fases experimentales.

- Primera Fase

Se realizó una prueba de comportamiento en la cual se usaron 169 cerdos de ambos sexos y dos genéticas diferentes (Landrace y PIC419®) con un peso inicial promedio de 45 ± 4.44 kg, los cuales fueron alimentados con una sola dieta con 3.6% de aceite de canola durante 49 días hasta alcanzar un peso promedio de 82 ± 6.24 kg.

- Segunda fase

De los 169 cerdos de la fase anterior, se seleccionaron 159 para esta etapa de la prueba y de este modo tener 53 repeticiones por cada uno de los tratamientos de esta fase experimental. Los cerdos fueron aleatorizados a los tres tratamientos previamente descritos y se siguió su comportamiento productivo. La ganancia diaria de tejido magro libre de grasa (GDTMLG) se calculó, usando la ecuación de Cisneros *et al.* (1996b) para tejido magro libre de grasa (TMLG), a partir de los cambios de peso corporal y la estimación de cambios en composición corporal por medio de mediciones de ultrasonografía en tiempo real, con un equipo ALOKA SSD 500 a 6.5 cm de la línea media con un transductor de 19 mm y 3.5 MHz (Mejía *et al.*, 1999). La ecuación usada fue la siguiente:

$$\text{TMLG} = 1.19 + (0.36 * \text{Peso}) - (2 * \text{GD10}) - (1.19 * \text{GDu}) + (1.85 * \text{PM10})$$

En donde:

TMLG= tejido magro libre de grasa.

Peso= peso en pie de los cerdos el día del ultrasonido.

GD10= Profundidad de grasa dorsal a la altura de la 10ª costilla.

GDu= Profundidad de grasa dorsal a la altura de la última costilla.

PM10= Profundidad del músculo drosal a la altura de la 10ª costilla.

Las mediciones se hicieron inicialmente a los 82 kg y 21 días después, a los 100 kg, al terminar el periodo de uso de Ractopamina.

- Tercera Fase

Al terminar el periodo de uso de Ractopamina, los animales de cada tratamiento fueron aleatorizados a los dos tratamientos de finalización descritos anteriormente y se sacrificaron en 5 tiempos diferentes (0, 7, 14, 21 y 28 días después del uso de RAC). Se estimaron los cambios de composición corporal usando ultrasonografía en tiempo real. Las mediciones se hicieron semanalmente hasta completar 28 días de retiro de RAC.

Al finalizar los diferentes tiempos de retiro, los animales fueron sujetos a un ayuno de 8 horas antes de ser enviados a un establecimiento TIF para su sacrificio. Los animales se pesaron al ser recibidos en el establecimiento y se sacrificaron 4 horas después de su recepción (ayuno total de 12 h). Al sacrificio, se pesó la canal caliente, para calcular el rendimiento en canal. Después de 24 h se realizó el despiece de las canales en un obrador y empacadora TIF, para realizar el pesaje de cortes primarios, según especificaciones de la empacadora: “tipo mexicano” (caña de lomo, cabeza de lomo, pulpa de pierna, espaldilla y filete), para medir el rendimiento industrial de los cortes magros. Al despiece de las canales se tomaron calificaciones subjetivas para color y marmoleo (escala del NPPC: 1-6 para color, siendo 1 el más claro y 6 el más oscuro; 1-10 para marmoleo, siendo 1 sin marmoleo y 10 con mayor marmoleo) en la superficie de corte del *longissimus* a la altura de la 10^a costilla y se tomaron muestras de grasa intramuscular (a partir de una muestra de lomo) para los análisis químicos.

ANÁLISIS QUÍMICOS

- Proteína Cruda y Grasa Intramuscular.

Las muestras de carne obtenidas fueron analizadas por el método de Kjeldahl para determinar el contenido de proteína cruda (AOAC, 2002), usando para ello un digestor Tecator™ 2020 y un destilador automatizado Foss™ Kjeltex 2300.

Las mismas muestras fueron sometidas a una extracción en frío de grasa, para estimar las diferencias en infiltración de grasa intramuscular, utilizando el método de Folch. Se preparó un reactivo (reactivo de Folch) mezclando 2 partes de cloroformo y una parte de metanol. Se tomó una muestra de músculo dorsal (10.0 g). La muestra se homogeneizó, en tres tiempos diferentes, con 150 ml del reactivo de Folch, usando un homogeneizador de tejidos. Después de homogeneizar la muestra, ésta se filtró usando una bomba de vacío y el líquido resultante del filtrado se mezcló con 40 ml de NaCl al 0.75%, se agitó y dejó reposar durante 24 horas en un embudo de separación. Posteriormente, se obtuvo la fase lípida y se agregaron 50 ml más de cloroformo al sobrante del embudo de separación, se dejó reposar 2 h y se colectó la fase lípida.

El motivo de haber utilizado este tipo de extracción de grasa fue para permitir que los lípidos obtenidos sean sometidos posteriormente a un proceso de metilación y saponificación para ser analizados por cromatografía de gases para determinar el perfil de ácidos grasos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El estudio se condujo como un diseño de Bloques Completos al Azar con 3 tratamientos iniciales, imponiendo factorialmente dos estrategias de finalización, sexo y grupo genético. Los bloques fueron 2 grupos de producción de diferente edad. Para el análisis de todos los datos se usaron los Procedimientos Lineales Generales de SAS, siendo las comparaciones planeadas: los efectos mayores de tratamiento inicial, tratamiento de finalización, sexo y grupo genético, así como todas las dobles y triples interacciones posibles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento Productivo

El total de animales usados en el experimento por genotipo y sexo se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8. Distribución de los cerdos por raza y sexo

Genotipo	Sexo		Total
	Machos	Hembras	
Landrace	39	50	89
PIC419	40	40	80
Total	79	90	169

- Primera Fase.

Durante la primera fase (45 – 82 kg), después de 14 días, se observó un efecto en el CDA por efecto de genotipo ($P < 0.0001$) y de sexo ($P < 0.0033$), las hembras, de cualquiera de los dos genotipos consumieron menos alimento que los machos, y los animales de la línea 419 consumieron menos alimento que los Landrace, probablemente porque sus requerimientos nutricionales sean menores a los de Landrace. En cuanto a la GDP, los animales Landrace fueron inferiores ($P < 0.043$) a los 419. Para la eficiencia alimenticia ($G \times C$), los animales 419 fueron superiores ($P < 0.0001$) a los Landrace. Para el día 28 (65kg de peso vivo), se mantuvieron los efectos de raza ($P < 0.0001$) y sexo ($P < 0.03$) en CDA, pero en la GDP, los Landrace fueron superiores ($P < 0.008$) a los 419, lo cual ocasionó que en la $G \times C$ ($P > 0.10$), se perdiera el efecto que se había manifestado a los 14 días; este mismo comportamiento se observó hasta el día 49 de la prueba (Cuadro 9). Estos resultados concuerdan con lo observado por Edwards *et al.* (2006), en una prueba con cerdos Duroc y Pietrain, los cerdos Duroc mostraron una menor velocidad de crecimiento durante las primeras 10 semanas de vida, sin embargo a las 26 semanas de vida los cerdos Duroc tenían el mismo peso que los Pietrain. Esto probablemente debido a que la velocidad de crecimiento en las razas como Duroc

o Landrace es efectivamente menor que la de los genotipos Pietrain o PIC419; sin embargo, el punto de inflexión en la curva de crecimiento de las razas con mayor velocidad de crecimiento llega a una edad más temprana en éstas, mientras que en el caso de los genotipos que crecen más lento, el punto en que el crecimiento comienza a declinar llega a una edad más tardía y no presenta una caída tan drástica como en los otros. Estos resultados coinciden con lo observado por Ellis *et al.* (1996) en donde no encontraron diferencias en la ganancia diaria de peso de cerdos de 2 genotipos diferentes (764 vs 753 g/d) de los 40 a los 103 kg.

- Segunda Fase.

En la segunda fase, no se observaron diferencias en el peso inicial ($P < 0.10$) entre genotipos ni tratamientos. Se observó un efecto de genotipo en CDA, los animales 419 consumieron menos alimento que los Landrace; los efectos mayores de tratamiento fueron notorios para GDP, los animales tratados con RAC fueron superiores, independientemente del genotipo. Sin embargo, en la $G \times C$, hubo efectos tanto de raza como de tratamiento, sin haber una interacción, los animales 419 tratados con RAC fueron más eficientes que los animales Landrace tratados con RAC (Cuadro 10).

Al inicio de esta fase, se observó un efecto de raza en el contenido de tejido magro libre de grasa (TMLG), siendo superiores los animales 419, para el día 21, además de mantenerse el efecto de raza, se observó también un efecto de tratamiento, sin haber una interacción entre ambos, los animales de la raza 419 tratados con RAC fueron superiores a los Landrace, pero ambos fueron superiores a los animales 419 o Landrace sin RAC. En la GDTMLG, se observaron también efectos de raza y de tratamiento, sin interacción. Los animales correspondientes a la línea 419 y tratados con RAC presentaron un mejor comportamiento en comparación a los Landrace tratados con RAC; ambos genotipos tratados con RAC superaron al control. En el rendimiento de cortes primarios se observó un efecto de tratamiento, siendo superiores los animales tratados con RAC.

Cuadro 9. Comportamiento productivo de 45 a 82 kg (49 días en experimento).

	Landrace		419		EEM
	Hembras	Machos	Hembras	Machos	
Peso inicial, kg	46.24	46.18	45.40	46.30	0.343
Consumo diario de alimento 14d, kg ^a	2.092	2.109	2.036	2.056	0.003
Ganancia diaria de peso 14d, kg ^b	0.736	0.744	0.754	0.757	0.004
G×C 14d, kg ^c	0.351	0.353	0.370	0.368	0.002
Consumo diario de alimento 28d, kg ^d	2.244	2.261	2.179	2.198	0.004
Ganancia diaria de peso 28d, kg ^e	0.775	0.770	0.740	0.747	0.005
G×C 28d, kg	0.345	0.340	0.339	0.340	0.002
Consumo diario de alimento 49d, kg ^f	2.500	2.533	2.410	2.453	0.009
Ganancia diaria de peso 49d, kg ^g	0.767	0.767	0.747	0.749	0.005
G×C 49d, kg	0.307	0.304	0.311	0.306	0.002

^a Raza, P<0.0001; Sexo, P<0.0033

^b Raza, P<0.043

^c Raza, P<0.0001

^d Raza, P<0.0001; Sexo, P<0.034

^e Raza, P<0.008

^f Raza, P<0.0001; Sexo, P<0.05

^g Raza, P<0.07

Rendimiento de cortes magros.

Se encontró una interacción entre tratamiento y raza, los cerdos 419 tratados con RAC fueron superiores tanto a los Landrace tratados con RAC como a los cerdos control (Cuadro 11). Los dos genotipos usados en este experimento difirieron notablemente en la tasa, eficiencia y composición del crecimiento. Las dietas proporcionadas a los cerdos fueron formuladas para satisfacer las demandas nutricionales de los cerdos y el ajuste a un patrón de proteína ideal para cerdos tratados con RAC recomendado por Fernández *et al.* (2004). En términos de ganancia diaria de peso, la tasa de crecimiento de los cerdos 419 fue similar en magnitud a la reportada en estudios previos para genotipos de alta y mediana velocidad de crecimiento alimentados con 10 ppm de RAC (Crenshaw *et al.*, 1987; Prince *et al.*, 1987; Watkins *et al.*, 1990; Bark *et al.*, 1992). De acuerdo a las investigaciones de Böcklen *et al.* (1986), la capacidad de respuesta de ambos genotipos al efecto de RAC puede estar aunada a diferencias en el número de

receptores β -adrenérgicos en los tejidos, quien demostró que los cerdos de raza Pietrain tienen una mayor densidad de estos receptores en músculo esquelético y tejido adiposo que cerdos de raza Large White. Esto también coincide con los resultados de Gu *et al.* (1991 a,b) y Yen *et al.* (1991) que indican que la magnitud de la respuesta a RAC depende de la capacidad de crecimiento de tejido magro del genotipo de los cerdos.

Cuadro 10. Comportamiento productivo, periodo con Ractopamina (21 días).

	1		2		3		EEM
	Landrace	419	Landrace	419	Landrace	419	
Peso 21d, kg ^a	101.22	102.20	103.41	105.32	105.97	105.64	0.424
Consumo diario de alimento 21d, kg ^b	3.264	3.113	3.168	2.983	3.343	3.116	0.029
Ganancia diaria de peso 21d, kg ^c	0.896	0.933	1.037	1.056	1.110	1.136	0.008
G×C 21d, kg ^d	0.279	0.303	0.336	0.362	0.334	0.371	0.005

^a Tratamiento, P<0.0006

^b Raza, P<0.002

^c Tratamiento, P<0.0001

^d Tratamiento, P<0.0001; Raza, P<0.0058

Cuadro 11. Contenido de tejido magro libre de grasa y cortes primarios.

	1		2		3		EEM
	LND	419	LND	419	LND	419	
TMLG inicial, kg ^a	33.39	33.79	32.69	34.28	33.24	33.99	0.171
TMLG 21d, kg ^b	40.53	41.44	41.19	43.89	41.93	43.75	0.178
GDTMLG, kg ^c	0.339	0.364	0.405	0.458	0.414	0.465	0.005
Cortes Primarios, kg ^d	43.32	43.49	43.92	44.89	44.72	44.99	0.193
Cortes Magros, kg ^e	42.39	43.45	42.93	46.26	44.34	46.29	0.179

^a Raza, P<0.0094

^b Tratamiento, P<0.0001; Raza, P<0.0001

^c Tratamiento, P<0.0001; Raza, P<0.0001

^d Tratamiento, P<0.0002

^e Interacción Tratamiento×Raza, P<0.05

- Tercera Fase

Al concluir el periodo de uso de Ractopamina, los animales fueron aleatorizados a las 2 dietas de retiro descritas anteriormente y sacrificados a 5 diferentes tiempos de retiro (0, 7, 14, 21 y 28 días). La distribución de animales por tratamiento y tiempo de retiro se muestra en el Cuadro 12. Para este periodo, se analizaron el consumo diario de alimento, ganancia diaria de peso, eficiencia alimenticia,

cambios en composición corporal (por ultrasonografía en tiempo real) y ganancia diaria de tejido magro libre de grasa.

Cuadro 12. Distribución de animales por tratamiento y periodo de finalización.

Tratamiento	Días de retiro					Total
	0	7	14	21	28	
--	32	-	-	-	-	32
A	-	11	15	23	15	64
B	-	10	15	23	15	63
Total	32	21	30	46	30	159

No se encontraron diferencias significativas por tratamiento en el consumo de alimento ($P > 0.05$) a 14 y 21 días, sin embargo hubo un efecto de genotipo para el consumo a 7 días ($P < 0.0376$), siendo mejores los animales 419 y un efecto de sexo para el consumo a 7 y 14 días ($P < 0.0044$ y $P < 0.0032$, respectivamente) siendo mayor en los machos. Para el consumo a 28 días se presentó un efecto del tratamiento de retiro ($P < 0.0083$), siendo mayor el consumo en los animales del tratamiento bajo en lisina digestible, por la necesidad de cubrir sus demandas de lisina (Cisneros *et al.* 1996a).

Para la ganancia diaria de peso, se observó una interacción entre el tratamiento de la fase anterior y los días de retiro ($P < 0.0091$). En la ganancia a 7 días, los animales tratados anteriormente con Ractopamina, mostraron una disminución en la ganancia diaria de peso, mientras que el control se mantuvo con la misma ganancia que en el periodo anterior. Esto podría explicarse porque con el uso de Ractopamina, la ganancia diaria de peso mejora entre un 5 y 15% (Cuarón, 2001) y al retirar el fármaco de la dieta, los animales sufren una depresión en la misma; sin embargo, en el caso de los animales que no consumieron el fármaco durante el periodo previo a las dietas de retiro, se mantuvo el mismo desempeño durante el periodo de retiro ya que no había una promoción del crecimiento por acción del fármaco. En el cuadro 13 podemos observar que a partir de los 14 días de retiro, los efectos por el tratamiento previo se pierden y los animales tratados anteriormente con Ractopamina se igualan al control.

Cuadro 13. Ganancia diaria de peso, kg. Durante el periodo de finalización, en función del tratamiento previo y los días de retiro.

Días de retiro	Tratamiento Previo			EEM
	1 Control	2 Ractopamina Alta Proteína	3 Ractopamina Proteína Normal	
7 ^a	0.836	0.686	0.613	0.024
14	0.777	0.711	0.748	0.027
21	0.894	0.917	0.895	0.038
28	0.889	0.854	0.911	0.023

^a = El Tratamiento previo interactuó de manera significativa ($P < 0.0091$) con los días de retiro.

Para la eficiencia alimenticia, cambios en composición corporal y ganancia diaria de tejido magro libre de grasa, no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$).

Mediciones en Canal

Después del sacrificio de los cerdos, al despiece de las canales, no se encontraron diferencias ($P > 0.05$), por efecto del tratamiento de retiro en profundidad de grasa dorsal y del músculo dorsal a la altura de la décima costilla, color, marmoleo de la chuleta y suma de cortes magros (Cuadro 14). Sin embargo, al analizar el efecto del periodo de finalización, se encontraron diferencias en color y marmoleo ($P < 0.0001$); las canales de los cerdos finalizados 28 d después de retirar RAC de las dietas fueron más pesadas y con una mayor profundidad de grasa dorsal, lo cual se debe a que éstos cerdos fueron lógicamente más pesados que aquellos cuyo periodo de finalización duró menos tiempo.

En el caso de marmoleo, se encontró que a los 14 días después de retirar RAC se tuvo una mayor infiltración de grasa intramuscular y, al analizar los datos por regresión, y calculando el punto de inflexión de la curva obtenida, se pudo apreciar que la infiltración de grasa intramuscular va en aumento hasta el día 17 y a partir de entonces, empieza a declinar. Sin embargo, no se encontraron diferencias por efecto del tratamiento de finalización.

En el caso del color, este presenta un aumento a partir del día 7 de finalización y así se mantiene hasta el día 28. Los resultados por efecto de los días de retiro se presentan en el cuadro 15.

Cuadro 14. Resultados, Rendimiento en Canal por Tratamiento de Finalización

	Dieta A Alta LysD	Dieta B Baja LysD	EEM
Peso Canal Caliente, kg	87.97	88.18	0.477
Grasa Dorsal, cm	1.82	1.83	0.042
Profundidad muscular, cm	6.04	6.09	0.069
Color, NPPC	2.79	2.75	0.068
Marmoleo, NPPC	1.67	1.69	0.065
Suma de Cortes Magros	41.28	40.70	0.306

No se encontraron diferencias por efecto de tratamiento de finalización $P>0.05$.

Cuadro 15. Resultados, Rendimiento en canal por efecto del periodo de finalización.

Días	0	7	14	21	28	EEM
Peso Canal Caliente, kg	85.99	88.23	83.54	89.15	91.36	0.404
Grasa Dorsal, cm	1.51	1.89	1.78	1.76	1.88	0.036
Profundidad muscular, cm	6.37	6.49	5.60	6.31	5.85	0.059
Color, NPPC	2.66	2.25	3.17	2.46	3.24	0.059
Marmoleo, NPPC	1.37	1.35	2.23	1.48	1.65	0.054
Suma de Cortes Magros	39.40	39.94	39.84	40.24	43.78	0.260

Proteína Cruda y Grasa Intramuscular.

Al analizar el contenido de proteína cruda de las muestras de lomo, no se encontraron diferencias significativas por efecto del tratamiento con RAC ($P>0.09$), observándose el mismo comportamiento para el porcentaje de grasa intramuscular ($P>0.05$), lo cual indica que RAC no tiene mayor efecto sobre la deposición de grasa (Cuadro 16). Sin embargo, al analizar los resultados por el efecto del tratamiento de finalización, se observó un efecto significativo ($P<0.030$), los cerdos en el tratamiento bajo en lisina digestible tuvieron mayor porcentaje de grasa intramuscular (Cuadro 17).

Cuadro 16. Contenido de proteína cruda y grasa intramuscular por tratamiento con ractopamina.

	Tratamientos			EEM
	1	2	3	
	Control	RAC AP	RAC NP	
Proteína Cruda, %	24.43	23.72	24.52	0.228
Grasa Intramuscular,%	7.46	7.39	8.26	0.590

No se encontraron diferencias por efecto de los tratamientos con ractopamina.

Cuadro 17. Contenido de proteína cruda y grasa intramuscular por tratamiento de finalización.

	Tratamientos		EEM
	1	2	
	Normal	Baja LysD	
Proteína Cruda, %	24.30	24.14	0.228
Grasa Intramuscular,% ^a	6.31	9.09	0.590

^a= El tratamiento bajo en lisina digestible promovió una mayor infiltración de grasa en lomo, $P < 0.030$.

También se observó una interacción ($P < 0.02$) entre el tratamiento de finalización y los días de retiro de RAC, los cerdos del tratamiento bajo en LysD sacrificados 28 días después de retirar el fármaco, tuvieron mayor porcentaje de grasa intramuscular que los cerdos sacrificados al siguiente día de haber retirado RAC de la dieta. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Cisneros *et al.* (1996a) y Witte *et al.* (2000), en donde demostró que el contenido de grasa intramuscular de la carne de cerdo puede ser aumentado alimentando a los cerdos con dietas deficientes en lisina durante las últimas 5 semanas del período de finalización. Esto contrasta con la falta de un efecto del nivel de lisina en la dieta en la calificación de marmoleo subjetivo, ya que en este caso no se encontraron diferencias por efecto del tratamiento de finalización, como se mencionó anteriormente.

No se observaron diferencias en el contenido de grasa intramuscular por efecto de Raza ($P > 0.05$), lo cual coincide con los resultados obtenidos por Wood *et al.* (1983) en los que no se reportaron diferencias en la deposición de grasa entre genotipos seleccionados para mayor o menor proporción de tejido magro. Sin embargo, difiere de los resultados de Kouba *et al.* (1999), en este caso, los animales de genética más magra tuvieron una mayor proporción de grasa intramuscular que los animales de genéticas con mayor contenido de grasa corporal. Resultados similares fueron reportados por Kempster y Evans (1979) y Davies (1983) particularmente en cerdos de líneas terminales magras.

Con base en los reportes de Whittemore *et al.* (1978) y Allen *et al.* (1976), la grasa intramuscular es el último depósito de grasa en llenarse, sin embargo, no quiere decir que durante etapas tempranas no haya deposición de grasa en este tejido. Esto resulta interesante, ya que al ofrecer una dieta rica en ácido linolénico durante la primera etapa de la prueba, tomando en cuenta los resultados de Bee *et al.* (2002), se pudo haber inducido la deposición de grasas poliinsaturadas a nivel tanto subcutáneo como intramuscular.

CONCLUSIONES

Aún cuando se obtuvieron resultados favorables en cuanto a crecimiento y composición corporal para los cerdos 419, es importante tomar en cuenta que cerdos de diferente genética tienen distintos patrones de crecimiento, por lo que las ecuaciones de predicción usadas para estimar la composición corporal, así como el tejido magro libre de grasa de los cerdos pudo haber subestimado a los cerdos 419 y sobreestimado a los cerdos Landrace.

El uso de RAC en las dietas permitió que el crecimiento de los cerdos fuera lo suficientemente acelerado para que, al momento de su retiro, aún con la depresión en la ganancia diaria de peso, los cerdos tuvieran pesos de finalización similares, promoviendo una mayor infiltración de grasa intramuscular al retirar el fármaco hasta por 28 días previo al sacrificio de los cerdos. El uso de dietas deficientes en lisina en las últimas semanas de la engorda es una herramienta potencial para incrementar el nivel de grasa intramuscular en la carne de cerdo.

El contenido de grasa intramuscular es un criterio muy importante para la aceptación, por parte del consumidor, de carne de cerdo. La grasa saturada puede desarrollarse importantemente como el aspecto líder en salud de la dieta para el consumo de carne.

LITERATURA CITADA

- Allen CE, Beitz DC, Cramer DA, Kauffman RG. 1976. Biology of fat in meat animals. North Central Regional Res. Pub. No. 234.
- Anderson DB, Kauffman RG. 1973. Cellular and enzymatic changes in porcine adipose tissue during growth. J. Lipid Res. 14:160.
- AOAC Kjeldahl method for protein determination. 2002. Journal of AOAC International Vol. 85, No. 1.
- Bark LJ, Stahly TS, Cromwell GL, Miyat J. 1992. Influence of genetic capacity for lean tissue growth on rate and efficiency of tissue accretion in pigs fed ractopamine. J. Anim. Sci. 70: 3391-3400.
- Baker D.H., 1997. Ideal aminoacid profiles for swine and poultry and the application in feed formulation. Tech. Rev. 9. Nutriquest Inc.
- Bee G, Gebert S, Messikommer R. 2002. Effect of dietary energy supply and fat source on the fatty acid pattern of adipose and lean tissues and lipogenesis in the pig. J. Anim. Sci. 80:1564-1574.
- Berg Rt, Butterfield RM. 1976. New concepts of cattle growth. Univ. Press. Sidney.
- Bejerjohm C, Barton-Gade P. 1986. Effect of intramuscular fat level on eating quality of pig meat. Manuscript No. 720E. Danish Meat Research Institute, Roskilde, Denmark.
- Böcklen E, Flad S, Müller E, von Faber H. 1986. Comparative determination of beta-adrenergic receptors in muscle, heart and backfat of Pietrain and Large White pigs. Anim. Prod. 43:335.
- Brody S. 1945. Bioenergetics and growth. Reinhold Publishing Corp. New York.
- Burleigh I. 1974. On the cellular regulation of growth and development in skeletal muscle. Biol. Rev. 49:267.
- Castell AG, Cliplef RL, Poste-Flynn LM, Butler G. 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.

- Cava R, Ruiz J, López-Bote C, Martín L, García C, Ventanas J, Antequera T. 1997. Influence of finishing diet on fatty acid profiles of intramuscular lipids triglycerides and phospholipids in muscles of Iberian pig. *Meat Sci.* 2:263-270.
- Cisneros F, Ellis M, Baker DH, Easter RA, McKeith FK. 1996a. 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.
- Cisneros F, Ellis M, Miller KD, Novakofski J, Wilson ER, McKeith FK. 1996b. Comparison of transverse and longitudinal real-time ultrasound scans for prediction of lean cut yields and fat free lean content in live pigs. *J. Anim. Sci.* 74:2566-2576.
- Crenshaw JD, Swantek PM, Marchello MJ, Harrold RL, Zimprich RC, Olson RD. 1987. Effects of a phenethanolamine (ractopamine) on swine carcass composition.
- Cuarón JA. 2001. Ractopamina oportunidades para México. *Memorias X Congreso Nacional AMENA* 25-48.
- Davies AS. 1983. Growth and development of pigs: A reanalysis of the effects of nutrition on body composition. *J. Agric. Sci.* 100:681-687.
- De Vol DL, McKeith FK, Bechtel PJ, Novakofski J, Shanks RD, Carr TR. 1988. Variation in composition and palatability traits and relationships between muscle characteristics and palatability in a random sample of pork carcasses. *J. Anim. Sci.* 66:385-395.
- Edwards DB, Tempelman RJ, Bates RO. 2006. Evaluation of Duroc vs Pietrain sired pigs for growth and composition. *J. Anim. Sci.* 84:266-275.
- Ellis M, Webb AJ, Avery PJ, Brown I. 1996. The influence of terminal sire genotype, sex slaughter weight, feeding regime and slaughter house on growth performance and carcass and meat quality in pigs and on the organoleptic properties of fresh pork. *J. Anim. Sci.* 62:521-530.

- Fernández DDM, Cuarón IJA, 2004. Threonine to lysine ratio in Ractopamine Treated pigs. *J. Anim. Sci.* 82(supl.1): 98.
- Fontanillas R, Barroeta A, Baucells MD, Guardiola F. 1998. Backfat fatty acid evolution in swine fed diets high in either cis-monounsaturated, trans, or (n-3) fats. *J. Anim. Sci.* 76:1045-1055.
- Fowler SP, Champion DR, Marks HL, Reagan JO. 1980. An analysis of skeletal muscle response to selection for rapid growth in Japanese quail. *Growth.* 44:235.
- Gu Y, Schinckel AP, Forrest JC, Kuei CH, Watkins LE. 1991a. Effects of ractopamine, genotype, and growth phase on finishing performance and carcass value in swine: I. Growth performance and carcass merit. *J. Anim. Sci.* 69:2685.
- Gu Y, Schinckel AP, Forrest JC, Kuei CH, Watkins LE. 1991b. Effects of ractopamine, genotype, and growth phase on finishing performance and carcass value in swine: I. Estimation of lean growth rate and lean feed efficiency. *J. Anim. Sci.* 69:2694.
- Grundy SM. 1986. Comparison of monounsaturated fatty acids and carbohydrates for lowering plasma cholesterol. *N. Engl. J. Med.* 314(12):745
- Hodgson RR, Davis GW, Smith GC, Savell JW, Cross HR. 1991. Relationships between pork loin palatability traits and physical characteristics of cooked chops. *J. Anim. Sci.* 69:4858-4865.
- Kempster AJ, Evans DG. 1979. The effects of genotype, sex and feeding regimen on pig carcass development. 2. Tissue weight distribution and fat partition between depots. *J. Agric. Sci.* 93: 349-358.
- Kouba M, Bonneau M, Noblet J. 1999. Relative development of subcutaneous, intramuscular, and kidney fat in growing pigs with different body compositions.

- Leat WMF, Cox RW. 1980. Fundamental aspects of adipose tissue growth. Growth in animals. Butterworths, London. 137.
- Mejía C, Montaña M, Velásquez P, Cuarón J. 1999. Estimación en vivo del rendimiento de las canales porcinas mediante ultrasonografía. Tec. Pecu. Mex. 37:31-38.
- Mersmann HJ. 1979. Endocrinology of adipose tissue and fat cell metabolism. Proc Recip. Meat Conf. 32:93.
- Mersmann HJ. 1998. Overview of the effects of β -adrenergic receptor agonists on animal growth, mechanisms of action. J. Anim. Sci. Jan. 76(1):160-72. Review.
- Miller LR, Garwood VA, Judge MD. 1975. Factors affecting porcine muscle fiber type, diameter and number. J. Anim. Sci. 41:66.
- Miller MF, Shackelford SF, Hayden KD, Reagan JO. 1990. Determination of the alteration in fatty acid profiles, sensory characteristics and carcass traits of swine fed elevated levels of monounsaturated fats in the diet. J. Anim. Sci. 68:1624-1631.
- Myer RO, Johnson DD, Knauft DA, Gorbet DW. 1992. Effect of feeding high-oleic-acid peanuts to growing-finishing swine on resulting carcass fatty acid profile and on carcass and merit quality characteristics. J. Anim. Sci. 70:3734-3741.
- NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine 10th Rev. National Research Council.
- Palsson H. 1975. Conformation and body composition. Progress in the physiology of farm animals. Butterworths, London. 430.
- Prince TJ, Huffman DL, Brown PM, Gillespie JR. 1987. Effects of ractopamine on growth and carcass composition of finishing swine. J. Anim. Sci. 65 (Suppl.1).

- Robelin J. 1981. Cellularity of bovine and adipose tissues: developmental changes from 15 to 65 percent mature weight. *J. Lipid Res.* 22:452.
- Robinson DW. 1969. The cellular response of porcine skeletal muscle to prenatal and neonatal stress. *Growth.* 33:231.
- Robinson DW. 1971. Cellular basis for changes in body composition. *J. Anim. Sci.* 33:416.
- SAS. 1999. SAS User's guide. SAS Institute Inc.
- Schinckel AP, Herr CT, Forrest JC, Einstein ME. 2003. Ractopamine treatment biases in the prediction of pork carcass composition. *J. Anim. Sci.* 81:16-28.
- Stites CR, McKeith FK, Singh SD, Bechtel PJ, Mowrey DH, Jones J. 1991. The effect of ractopamine hydrochloride on the carcass cutting yields of finishing swine. *J. Anim. Sci.* 69:3094-3101.
- Trenkle A, Marple D. 1983. Growth and development of meat animals. *J. Anim. Sci.* 57:273-283.
- Watkins LE, Jones JD, Mowrey DH, Anderson DB, Veenhuizen EL. 1990. The effects of various levels of ractopamine hydrochloride on the performance and carcass characteristics of finishing swine. *J. Anim. Sci.* 68: 358.
- Whittemore CT, Aumaitre A, Williams I. 1978. Growth of body components in young weaned pigs. *J. Agr. Sci.* 91:681.
- Witte DP, Ellis M, McKeith FK, Wilson ER. 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.
- Wood JD, Whelehan OP, Ellis M, Smith WC, Laird R. 1983. Effects of selection for low backfat thickness in pigs on the sites of tissue deposition in the body. *Anim. Prod.* 36:389-397.

- Yen JT, Nienaber JA, Klndt J, Crouse JD. 1991. Effect of ractopamine on growth, carcass traits and fasting head production of U.S. contemporary crossbred and Chinese Meishan pure and crossbred pigs. *J. Anim. Sci.* 69:481.