

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

DIVISION DE CIENCIAS VETERINARIAS



POSGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS PECUARIAS

**“CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE DE CERDOS PARA ABASTO
ASOCIADA AL GEN DEL HALOTANO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS PECUARIAS

PRESENTA

JORGE GALINDO GARCIA

DIRECTOR: Ph. D. DANIEL A. F. VILLAGOMEZ ZAVALA

ASESOR: M. en C. RICARDO NUÑO ROMERO

Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jalisco. Noviembre del 2000



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
DIVISIÓN DE CIENCIAS VETERINARIAS
COORDINACIÓN DE POSGRADO

**H. CUERPO COLEGIADO
DEL POSGRADO INTERINSTITUCIONAL EN CIENCIAS PECUARIAS DE LA UNIVERSIDAD
DE GUADALAJARA
PRESENTE.**

Por éste conducto nos permitimos enviar la **VERSION FINAL DE LA TESIS** que desarrolló el pasante del Programa de Maestría en Ciencias Pecuarias (PICP) de la Universidad de Guadalajara, MVZ JORGE GALINDO GARCIA, cuyo título es:

"CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE DE CERDO PARA ABASTO ASOCIADA AL GEN DEL HALOTANO".

Trabajo dirigido por: Dr. DANIEL A. F. VILLAGOMEZ ZAVALA.

Los que suscriben la presente avalan esta versión, la cual fue revisada y reúne los requisitos teóricos y metodológicos necesarios.

ATENTAMENTE

Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jal. a 13 de Noviembre de 2000

REVISOR
Dr. CLEMENTE LEMUS FLORES


REVISOR
DR. EFRAIN PEREZ TORRES


REVISOR
DR. ANNE SANTERRE LUCAS


REVISOR
DR. AGUSTIN RAMIREZ ALVAREZ


REVISOR
DR. DANIEL A. F. VILLAGOMEZ ZAVALA



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

Tepic, Nay.; a 10 de Noviembre de 2000.

DR. JACINTO BAÑUELOS PINEDA
COORDINADOR DE POSGRADO DE LA
DIVISION DE CIENCIAS VETERINARIAS
P R E S E N T E:

Después de revisar la tesis de maestría que presenta el MVZ JORGE GALINDO GARCÍA, " CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE DE CERDO PARA ABASTO ASOCIADA AL GEN DEL HALOTAN ", no existe inconveniente para que continúe con los trámites legales en el proceso de obtención del grado, por estar de acuerdo en los aspectos de forma y contenido.

En espera de la información sobre la fecha de examen, me despido enviándole un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Una firma manuscrita en tinta que parece decir "Clemente Lemus Flores".

DR. CLEMENTE LEMUS FLORES
COORDINADOR DE INVESTIGACION
Y DEL CUERPO ACADEMICO DE GENETICA Y REPRODUCCION
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NAYARIT

AGRADECIMIENTOS

A **Daniel A. F. Villagómez Zavala**, por introducirme al mundo de la investigación científica, por compartir sus amplios conocimientos y por tener la paciencia de escuchar y discutir.

Al equipo de investigadores del **Centro de Biotecnología Animal del Rancho Cofradía** de la **Universidad de Guadalajara**, por el apoyo brindado en la realización de este estudio.

Estudio financiado por el **SIMORELOS** del **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**, y la **Fundación Produce Jalisco, A. C.**, en los proyectos 970301020 y FPJ-P-1-033, respectivamente.

CONTENIDO

	Página
Resumen	i
Introducción	1
El concepto calidad de la carne	1
Genética de la calidad de la carne	2
El gen del halotano	4
Estructura y función del músculo esquelético	5
Metabolismo postmortem y calidad de la carne	11
Características de la fibra muscular y su relación con parámetros de calidad de la carne	12
Objetivos	18
Material y Métodos	19
Animales	19
Condiciones de manejo	19
Sacrificio y mediciones de la canal	19
Mediciones de calidad de la carne	20
Diseño experimental y análisis estadístico	20
Análisis de datos (modelos estadísticos)	20
Aislamiento de DNA genómico para análisis por PCR	23
Análisis por PCR y polimorfismo de fragmentos de restricción	23
Resultados	25
Discusión	42
Conclusiones	46
Bibliografía	47
Anexos	53
Composición de raciones	54
Análisis calculado de raciones	54
Análisis estadístico por parámetro.....	55
Matriz de correlación	58

RESUMEN

El concepto calidad de la carne tiene definiciones diferentes entre productores, procesadores y consumidores. En la calidad de la canal, la composición de la misma constituye un aspecto importante, que implica las proporciones de carne magra, hueso, grasa en la canal, así como tamaño y distribución de los músculos individuales. Para la calidad tecnológica o funcional de la carne, es prioritario la composición homogénea, por lo tanto son de suma importancia parámetros de pH, firmeza, color, capacidad de retención de agua, rendimiento tecnológico y composición química. Sin embargo, para los consumidores ordinarios, el concepto calidad permanece subjetivo, principalmente porque este implica diferentes requerimientos para diferente gente. Hoy en día, los consumidores prefieren carne con alta calidad nutricional, que cumpla ampliamente con aspectos de inocuidad, ambientales, éticos y de servicio. Con este propósito la selección de cruzamientos en cerdos ha permitido incrementar rango de crecimiento, eficiencia alimenticia y obtención de canales magras, mediante la disminución de la profundidad de la grasa subcutánea. No obstante, la selección para carne magra ha sido asociada con la reducción de rasgos de importancia económica en la calidad de la carne. Han sido identificados, varios genes con grandes efectos en rasgos comerciales de animales para la producción de carne, en los que se incluye el gen del halotano que influye la calidad tecnológica y sensorial de la carne. Además de los defectos detrimentales causados en carne con características pálida, suave y exudativa (PSE), los cerdos portadores del gen tienen un alto contenido de carne magra. El objetivo del presente estudio, fue el de evaluar las características de calidad de la canal y carne de cerdos para abasto portadores y negativos del gen del halotano. Se utilizaron 43 cerdos (22 hembras y 21 machos castrados) que fueron evaluados al sacrificio en lo referente a parámetros de calidad de la canal y de la carne. Los resultados obtenidos mostraron en cerdos heterocigotos (Nn) mayor rendimiento de canal ($P < 0.05$) que cerdos negativos (NN). Para valores de longitud de la canal los cerdos portadores (Nn) presentaron canales más cortas ($P < 0.05$). La grasa dorsal fue muy similar para los dos genotipos (23.79 mm para NN y 21.88 mm para Nn), no existiendo tampoco, diferencias significativas entre sexos. Tampoco existieron diferencias significativas para genotipo y sexo en relación al área de ojo de chuleta. Únicamente para hembras NN existieron diferencias significativas ($P < 0.05$), en lo referente al rendimiento de cortes primarios con grasa. Sin embargo animales heterocigotos (Nn) tuvieron mejores porcentajes en cortes primarios sin grasa ($P < 0.05$). El pH muscular a los 45 min (*longissimus dorsi*) fue significativamente inferior ($P < 0.05$) en cerdos portadores que en negativos (6.02 para Nn y 6.32 para NN). La capacidad de retención de agua no fue significativamente diferente para genotipos y sexo. Fue significativa ($P < 0.05$) la presentación de carne PSE en cerdos portadores (Nn), el 85.71% de los portadores manifestó efectos de la expresión del gen. Existió una alta correlación ($P < 0.05$) entre los diferentes parámetros que definen calidad de la canal.

INTRODUCCION

El Concepto Calidad de la Carne

En décadas recientes, grandes esfuerzos han sido dedicados en lo referente a la calidad de la carne (Kempster,1979). El concepto de "calidad" ha sido introducido y ahora frecuentemente es usado en varias áreas, especialmente en todo tipo de producción y algunas veces es empleado implícitamente el sinónimo "buena calidad". Sin embargo, la definición de la palabra es "valor", "naturaleza", "carácter" y no implica ninguna valoración en sentido positivo o negativo. La definición de calidad es; "la totalidad de las características de una entidad que tiene en si la habilidad de satisfacer un estado que implica necesidades". Sin embargo, para los consumidores ordinarios, el concepto calidad permanece subjetivo, principalmente porque este implica diferentes requerimientos para diferente gente. Hoy en día, los consumidores tienen un creciente interés en lo que es calidad alimentaria, en sus aspectos ambientales, éticos, nutricionales y sensoriales. Aun la manera en la cual los alimentos son producidos ha atraído mucho la atención. Esto sugiere que la calidad de los alimentos continuará siendo una importante consideración. Es por lo tanto de gran valor incrementar nuestros conocimientos sobre los numerosos factores que comprende en términos generales el concepto "calidad alimentaría" y en lo particular "calidad de la carne" y así entender la manera en la cual estos aspectos de calidad son influenciados por diferentes factores de tipo genético y ambiental (Enfält, 1997).

El concepto "calidad de la carne" tiene definiciones diferentes entre países, sin duda supone propiedades diferentes, principalmente dependiendo si éste es aplicado por los productores, industria o consumidores. Importantes propiedades están en los rasgos de producción, como ganancia diaria y composición de la canal, calidad tecnológica o funcional, cualidades de tipo sensorial, higiénica, nutricional, ambiental, etnológicas y éticas. Para el productor el criterio final es alta rentabilidad, la cual es alcanzada durante la producción cuando los animales tienen una ganancia diaria de peso alta y rendimiento en canales con alto contenido de carne magra (v. gr., bajo contenido en grasa). La composición de la canal constituye por lo tanto un aspecto importante de calidad de la carne, implica las proporciones de carne magra, hueso y grasa en la canal y también el tamaño y distribución de los músculos individuales. En la industria de la carne, el principal objetivo es tener abasto de carne con composición homogénea, que otorgue el mayor rendimiento posible durante el procesado. La calidad tecnológica o funcional de la carne incluye parámetros tales como pH, firmeza, color, capacidad de retención de agua, rendimiento tecnológico, composición química. Para el consumidor, la calidad en la ingesta o sensorial supone ser el más importante aspecto de calidad. Los consumidores también prefieren carne con alta calidad nutricional, que cumpla ampliamente con aspectos ambientales, éticos, etnológicos y calidad en el servicio (Enfält, 1997).

Genética de la Calidad de la Carne

El principal objetivo en la selección de cruzamientos en cerdos es la de eficientar la producción de carne magra, mediante selección para incrementar rango de crecimiento, eficiencia alimenticia y disminución de la profundidad de la grasa subcutánea. No obstante, la selección para carne magra ha sido asociada con la reducción en la calidad de la carne (Kempster et al., 1986). La relación genética entre rasgos de la canal con rasgos de calidad de la carne y su ingesta necesita ser cuantificada, para el cálculo de los índices de selección en el aumento de eficiencia de la producción de carne magra y tomar en cuenta cambios correlacionados en rasgos de calidad de la carne e ingesta. Existen pocos parámetros genéticos para rasgos de calidad de la carne, en general sólo la heredabilidad de la reflectancia a la luz del músculo, pH y contenido de grasa intramuscular se han estimado. Similarmente, existen pocas estimaciones de correlaciones genéticas entre rasgos de la canal y rasgos de calidad de la carne (Cameron, 1990).

Existen antagonismos genéticos entre algunos rasgos de calidad de la carne y composición de la canal. Por ejemplo, el porcentaje en el rendimiento de carne es genéticamente antagónico al marmoleo en ganado bovino (Cundiff, 1987). Entre hecho también se ha encontrado en el caso del ganado porcino, en el cual las razas altas productoras de carne (v. gr., Pietrain, Landrace Blega, Poland China, etc.) dan un producto muy bajo en grasa, siendo calificado negativamente por panelistas expertos. Por otro lado, Wood (1986) ha considerado que la selección en cerdos tanto para marmoleo abundante y canales magras podría ser exitosa. Se afirma que la suavidad de la carne de cerdo esta positivamente relacionada tanto a la tasa de crecimiento de tejido magro y al marmoleo. Los progresos en la selección para dos o más rasgos en calidad de la carne, especialmente rasgos antagónicos, serán relativamente lento. La heredabilidad estimada para la mayoría de los rasgos de calidad de la carne es relativamente alta (Cuadro 1).

Cuadro 1. Heredabilidad estimada para rasgos de calidad de la carne de cerdo y bovino

Rasgo	Bovino (rango)	Cerdos (porcentaje)^a
Grasa subcutánea	0.24 a 0.68	0.52
Area del ojo de chuleta	0.41 a 0.59	0.47
Rendimiento en carne, %	0.35 a 0.57	0.48
Marmoleo	0.17 a 0.73	0.59
Mioglobina (color)	0.24 a 0.80	0.34
pH muscular	0.20	0.20
Textura	0.28	-
Suavidad	0.09 a 0.70	0.28
Sabor	0.06 a 0.43	0.47
Jugosidad	0.06 a .024	0.08

^aCameron (1990).

A la fecha, el mejoramiento genético de animales de granja esencialmente ha sido basado en la teoría de la genética cuantitativa. La mayoría de los rasgos de importancia económica (tasa de crecimiento, contenido magro, color de la carne) muestran una variación fenotípica continua explicada por una variación de factores genéticos y ambientales. A nivel genético esto supone que un rasgo cualitativo es influenciado por numerosos loci los cuales tienen efectos individualmente pequeños relativos a la variación total del rasgo. Estos loci son llamados loci de rasgos cuantitativos o QTL (del inglés: Quantitative Trait Loci). Bajo esta suposición de modo de herencia poligénica, no es posible, en lo general, determinar el genotipo de un animal en lo particular mediante el examen sólo de su fenotipo (Sellier, 1994).

El descubrimiento de un número de genes mayores únicos con efectos identificables en rasgos cuantitativos, así como avances recientes en el campo de la genética molecular, ofrece nuevas perspectivas para la conversión de variabilidad cuantitativa poligénica en entidades mendelianas individualmente definidas (Sellier, 1994).

Para un rasgo dado, la heredabilidad es la proporción de la varianza fenotípica total debida a efectos aditivos de todos los QTLs que afectan el rasgo. Entre los rasgos de importancia económica en la producción de carne en mamíferos (Cuadro 2), los rasgos reproductivos tienen una heredabilidad baja, opuestamente, a los rasgos de composición de la canal que tienen una heredabilidad alta. La heredabilidad de los rasgos de calidad de la carne es generalmente de baja a moderada mientras que la heredabilidad de la tasa de crecimiento y eficiencia es del orden de 0.30.

Cuadro 2. Valor promedio de heredabilidad de rasgos de importancia económica en mamíferos productores de carne

Rasgo	Rango de heredabilidad
Eficiencia reproductiva (tamaño de la camada, fertilidad)	0.02 - 0.10
Calidad de la canal (v. gr., color, capacidad de retención de agua)	0.15 - 0.30
Crecimiento (Ganancia diaria promedio, eficiencia alimenticia, apetito)	0.20 – 0.40
Calidad de la grasa	0.30 – 0.50
Composición corporal (contenido magro, contenido de grasa, área del ojo de la chuleta, etc.)	0.40 – 0.60

Las opiniones difieren entre los genetistas con respecto al número de genes implicados en la variación de rasgos cuantitativos: de algunos genes a varios cientos de genes. Experimentalmente este número es difícil de estimar (Sellier, 1994).

Han sido identificados, varios genes con grandes y algunas veces muy dramáticos efectos en rasgos comerciales de animales para la producción de carne. Estos incluyen el gen para musculatura doble (mh) en ganado bovino, el gen "Booroola" (F) que afecta la tasa de ovulación y tamaño de la camada en ovejas, el gen de sensibilidad al Halotano (Haln) responsable del síndrome de hipertermia maligna y de la condición de carne pálida, suave y exudativa (PSE) en cerdos, el gen de la "carne ácida" (RN-) en cerdos, y el gen enano ligado al sexo (dw) en pollos. Se ha observado que los dos loci para rasgos cuantitativos (Hal y RN), involucrados en la variación de la calidad de la carne de cerdo, cada uno de ellos influye en parámetros diferentes de la curva de la caída postmortem del pH muscular para RN. (Sellier, 1994)

El Gen del Halotano

Una anomalía en el canal liberador de calcio (Ca^{2+}) del retículo sarcoplásmico del músculo esquelético (receptor de rianodina) podría importar para hipertermia maligna (MH) porque, en el músculo esquelético, tanto contracción y metabolismo son regulados por la concentración de Ca^{2+} intracelular (O'Brien, 1986). El gen rianodina (RYR1) y el locus de hipertermia maligna porcina (MH) han sido localizados en el cromosoma 6p11-q21 del cerdo sugiriendo un ligamiento entre MH porcina y RYR1 (Davies et al., 1988; Harbitz et al., 1990). Por otra parte, un punto de mutación asociado con hipertermia maligna en varias razas de cerdos ha sido identificado putativamente en una región regulatoria importante de RYR1 (Fujji et al., 1991).

De los tres fenotipos (NN, Nn, nn), sólo el de sensibilidad al halotano puede ser medido en el animal vivo mediante exposición corta controlada al gas anestésico halotano (Eikelenboom y

Mikema, 1974). La sensibilidad al halotano que induce MH ha sido demostrada ser controlada por un gen recesivo en un locus autosómico único (HAL) con ambos alelos demostrando penetrancia incompleta (Smith y Bampton, 1977; Vögeli et al., 1988).

Recientemente, el gen del halotano era el único gen conocido a nivel molecular para influir la calidad tecnológica y sensorial de la carne. Además de los defectos detrimentales causados en carne con características pálida, suave y exudativa (PSE), los cerdos portadores del gen tienen un alto contenido de carne magra (Webb et al., 1982). Esto explica porque el gen fue muy prevalente hasta los 70's, cuando fue descubierto, posteriormente se seleccionó contra el gen en Suecia. Esta selección fue evidentemente exitosa, pues la frecuencia en portadores halotano positivo decreció en poblaciones de cerdos Landrace Sueco de 74% a 26% y en Yorkshire Sueco de 62% a 11% en el periodo de 1982 a 1988 (Gahne y Petersson, 1988). En fecha reciente (mayo de 2000) un grupo de investigadores (Milan et al., 2000) ha demostrado que la mutación de punto (R 200 Q) en el gen PRKAG3, el cual codifica para una variable, específica del músculo, para la subunidad γ de la proteínaquinasa AMPK, está directamente asociada a los efectos del gen "Rendement Napole" (RN).

Estructura y Función del Músculo Esquelético

La estructura del músculo estriado influye en la subsecuente estructura de la carne. Existen tres principales redes de tejido conectivo; el *epimisium* que rodea cada músculo y está sujeto al tendón. El *perimisium* que divide al músculo en haces de fibras, las cuales incluyen las fibras musculares, cada una envuelta por tejido conectivo llamado *endomesium*.

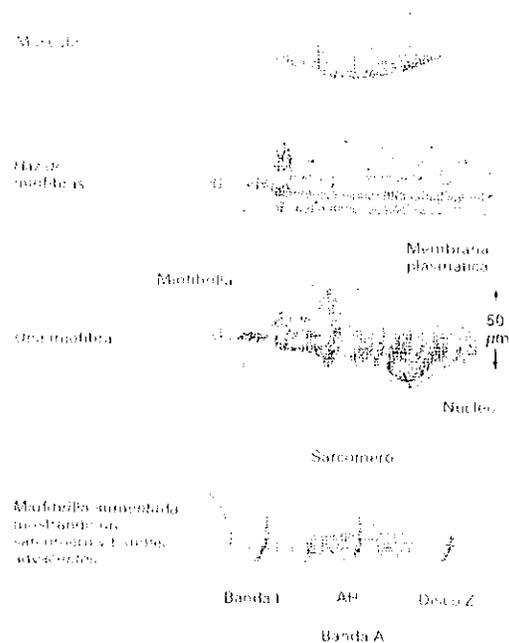


Fig. 1. Niveles de organización del músculo estriado. Tomado de; Darnel, 1996. Biología Celular y Molecular, Ed. Omega, Barcelona.

Cada fibra muscular está conformada por filamentos proteicos. La miosina (filamentos gruesos) y la actina (filamentos delgados), ambas organizadas en una adecuada estructura (Fig. 2).

Estos filamentos constituyen alrededor del 80%-87% del volumen de la fibra muscular (Offer et al., 1984) El agua constituye aproximadamente el 75% del peso del músculo en una canal recién sacrificada. Una menor parte del contenido de agua del músculo (7%) esta químicamente ligada a las proteínas, mientras que la restante puede ser considerada como "inmovilizada" y "libre", que está estructuralmente contenida entre los filamentos de miosina y actina (Wisner-Pedersen, 1988; Hendrick et al., 1994). Los cambios estructurales en las miofibrillas podrían ejercer una considerable influencia sobre la distribución del agua y también sobre la capacidad de retención de la misma (WHC). Como la carne es vendida por su peso, es de importancia económica que esta deba tener una importante retención de agua (Offer et al., 1984; Offer y Knight, 1988). La estructura miofibrilar de la carne, también tiene influencia en su color por la variación de sus propiedades refractarias de la luz (Offer et al., 1989).

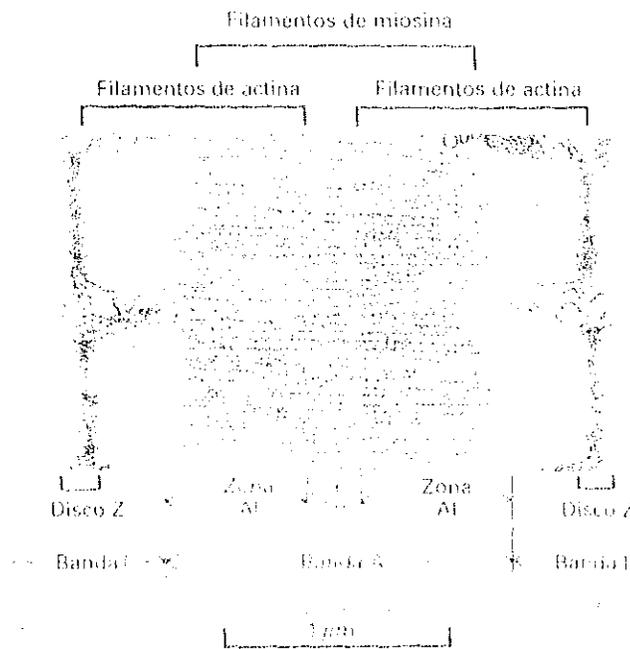


Fig. 2. Microfotografía electrónica de una sección longitudinal de músculo estriado de ratón, mostrando un sarcómero. Tomado de; Darnel, 1996. Biología Celular y Molecular, Ed. Omega. Barcelona

La concentración de Ca^{2+} sarcoplásmico en el músculo esquelético en reposo está estimada en los rangos de 50-500 nM. Durante el movimiento muscular, la concentración de Ca^{2+} sarcoplásmico rápidamente se eleva a niveles de 1-10 μM (Mickelson y Louis, 1992).

La habilidad del músculo de regular la concentración de Ca^{2+} sarcoplásmico deriva de la actividad de la bomba específica de Ca^{2+} , transportadores y canales localizados en la superficie de las membranas (sistema de túbulos transversos y sarcolema), retículo sarcoplásmico (RS) y

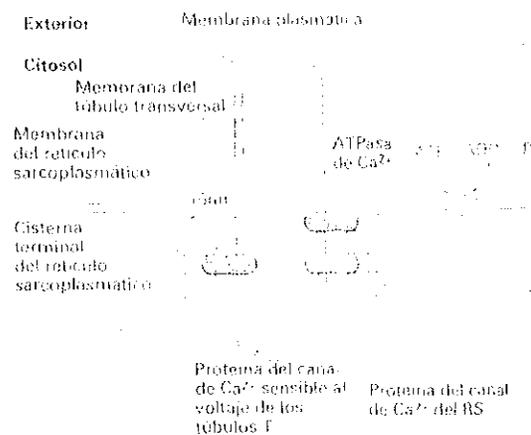
mitocondrias. En cualquier instante, la concentración de Ca^{2+} en el sarcoplasma se dá por el balance entre dos procesos opuestos; los canales mediadores de Ca^{2+} descienden su gradiente de concentración (a través de la superficie membranal de los canales o la liberación de Ca^{2+} de los canales del retículo sarcoplásmico), y la remoción de Ca^{2+} por la bomba de calcio (dentro del espacio extracelular o reincorporarlo al retículo sarcoplásmico) (Mickelson y Louis, 1992).

La superficie del sistema membranal del músculo esquelético comprende el sarcolema y el sistema de túbulos transversos. Aunque los túbulos transversos son invaginaciones contiguas del sarcolema y éstas dos membranas diferentes tienen un gran número de estructuras y funciones similares, también existen muchas diferencias entre estos dos sistemas membranales, particularmente al considerar su rol en la regulación de la concentración de calcio sarcoplásmico. Seguido de la estimulación por una motoneurona, el movimiento controlado de Na^+ y K^+ a través de la superficie de estas membranas durante la despolarización y la subsecuente repolarización resulta ser una función crítica del músculo. Sin embargo, con concentraciones de Ca^{2+} extracelular a niveles milimolar, es también responsabilidad de la superficie membranal mantener la barrera de Ca^{2+} y asegurar que el Ca^{2+} sarcoplásmico restante permanezca a niveles nanomolares. Además, los canales especializados de calcio localizados en los túbulos transversos juegan un role definitivo en el acoplamiento de la excitación-contracción por la regulación de la liberación de Ca^{2+} del RS (Mickelson y Louis, 1992).

La actividad de intercambio de $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ en el sarcolema y túbulos-t del músculo esquelético es en su mayoría considerada similar a la observada en otros tejidos excitables como el tejido nervioso y músculo cardiaco (Langer, 1992; Nicoll et al., 1990). Experimentalmente, el intercambio $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ puede ser observado con $^{45}\text{Ca}^{2+}$ transportado por un gradiente de Na^+ impuesto a través de la membrana. La estequiometría del intercambio $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ parece ser tres Na^+ por cada ion de Ca^{2+} , la afinidad para Ca^{2+} es aproximadamente $1 \mu\text{M}$, ligeramente menor que para Ca^{2+} ATPasa (Langer, 1992).

En contraste al sarcolema, el sistema de túbulos transversos del músculo esquelético tiene una alta densidad de voltaje en la actividad de los canales de Ca^{2+} (Sánchez y Stefani, 1978). Estos canales de lenta actividad durante el potencial de acción y luego de inactividad, dan como resultado el influjo de Ca^{2+} , el cual es conocido como flujo de corriente alterna lenta (Fig. 3).

Fig. 3. Relaciones de los túbulos transversos y las cisternas terminales del retículo sarcoplásmico mostrando la actividad de los canales de Ca^{2+} ; tomado de Darnel, 1996. Biología Celular y Molecular, Ed. Omega, Barcelona.



Los canales de Ca^{2+} tipo-L son receptores para varias clases farmacológicas de bloqueadores de canales de Ca^{2+} , incluidas la hidropiridina, fenilalkilamina y benzodiazepinas (Caterall, 1991). La amplia variedad de receptores dihidropiridina (canales de Ca^{2+}) en subtipos encontrados en varios tejidos parecen ser debidos a que varios genes codifican para cada tipo de subunidad. El mayor interés en el receptor de dihidropiridina del músculo esquelético no es debido a su actividad en el canal de calcio (la cual es lenta y lleva poco calcio en su torrente) sino a su habilidad para actuar como censor de voltaje plasmático. Hipotéticamente esta molécula funciona en el acoplamiento de excitación-contracción por sensibilidad a los cambios en la superficie del potencial de membrana y traduciendo esta señal para la liberación de calcio desde los sitios de almacenaje en el retículo sarcoplásmico, (Rios y Brum, 1987). Un cambio estructural en el receptor dihidropiridina, detectado como una carga en el movimiento intramembranal acompaña un cambio en los niveles de actividad del potencial de membrana (Adams y Col., 1990). Este movimiento de carga reside en aminoácidos cargados positivamente en la subunidad α 1; esto es inhibido por los antagonistas del canal de Ca^{2+} del retículo sarcoplásmico (Rios y Brum, 1987).

Durante la contracción muscular, el sistema de membranas intracelular del retículo sarcoplásmico (RS) es el principal responsable de la regulación en la concentración de Ca^{2+} . Dentro del músculo de los mamíferos la red del retículo sarcoplásmico rodea la miofibrilla a nivel de la confluencia de la banda-A y banda-I, comprendiendo los sacos de la cisterna terminal los cuales contienen las conexiones en "pie" con la red de túbulos transversos. La cisterna terminal se ramifica, formando un sistema longitudinal enlongado, el cual, fusiona los sacos de la cisterna terminal a la próxima unión de bandas A-I. La distinción anatómica entre túbulos longitudinales y cisterna terminal también correlaciona con una diferencia funcional dentro del SR. Así, el retículo sarcoplásmico longitudinal está especializado en remover Ca^{2+} del sarcoplasma del músculo en reposo, mientras la cisterna terminal está especializada en liberar calcio para permitir la contracción (Mickelson y Louis, 1992).

La alta densidad de la enzima adenosintrifosfatasa (ATPasa) en la parte longitudinal del SR hace posible la remoción de Ca^{2+} desde el sarcoplasma, (Maruyama et al., 1989). Para entender la actividad catalítica de la enzima en un ciclo de reacción, la enzima en el estado E1 liga Mg^+ y dos moléculas de Ca^{2+} del lado sarcoplásmico. El ATP es hidrolizado, con la liberación de ADP y el PO_4 es transferido a la forma residual aspartil en el estado E1-P de fosforilación intermedia. Entonces sucede un cambio conformacional lento al estado E2-P, el cual interrumpe los sitios de ligamiento de Ca^{2+} , disminuyendo la afinidad para el Ca^{2+} y permitiendo la accesibilidad del Ca^{2+} al lumen del RS. La fosfoenzima es hidrolizada, el P_i es liberado y la enzima retorna al estado E1. Probablemente similar es el mecanismo para el ciclo de reacción catalítica en la superficie membranal para la adenosintrifosfatasa calcio-dependiente. Diferentes isómeros de la enzima adenosintrifosfatasa calcio-dependiente del SR son expresados en las fibras esqueléticas

musculares tipo 1 y tipo 2. Esto se debe a dos genes diferentes, llamados isómeros de rápido movimiento e isómeros cardiacos de lento movimiento (Brandl., 1986).

En el músculo esquelético de vertebrados el mecanismo de liberación de Ca^{2+} , se lleva a cabo con la apertura de los canales de dos tipos: canales de Ca^{2+} dependientes del voltaje de los túbulos transversos, también conocidos como receptores de dihidropiridina (DHP-R) por su afinidad a esta sustancia y canales de liberación de Ca^{2+} del SR, llamados también receptores para la rianodina (RY-R) debido a que la fijación de este alcaloide induce la apertura del canal. La despolarización del sarcolema estimula los receptores DHP-R y posiblemente por una interacción física los RY-R son activados provocando la liberación de Ca^{2+} intracelular. Cuando la onda de despolarización alcanza a los túbulos T, se abren los receptores DHP-R permitiendo la entrada de Ca^{2+} hacia el sarcoplasma y generando una interacción con RY-R que produce la liberación de Ca^{2+} desde las cisternas terminales del RS. En el músculo esquelético de mamífero, el RYR es un homotetrámero con subunidades de 5037 aminoácidos, que presenta dos sitios de enlace para la rianodina, uno de alta y otro de baja afinidad, que al parecer están localizados entre el aminoácido 4475 (arginina) y el grupo carboxilo terminal (Callaway, C 1994).

La fijación de rianodina y la liberación de Ca^{2+} inducida por ella, pueden ser modificadas por factores físicos tales como la osmolalidad y resultan superiores como resultado de la aplicación de cafeína (Owawa, Y., 1994).

El dantrolene y el rojo de rutenio, considerados clásicamente como inhibidores de la liberación de Ca^{2+} se fijan a los RYR y bloquean el enlace de la rianodina (Olivares, 1993). Algunos aniones como el perclorato, tiocianato, yoduro y nitrato potencian la contracción muscular al estimular la liberación de Ca^{2+} del RS, se ha planteado que durante el ejercicio la acumulación en el músculo de otro anión, el fosfato, podría actuar como un regulador endógeno de la liberación de Ca^{2+} ya que experimentalmente ha demostrado que incrementa la afinidad del receptor a la rianodina y aumenta la actividad del canal de Ca^{2+} del RS (Fruen, B.R., 1994).

Han sido señaladas variaciones en el número de receptores para rianodina asociadas a la edad del animal, que podrían ayudar a explicar la mayor dependencia del Ca^{2+} extracelular en algunas etapas de desarrollo (Zdedric S.A., et al., 1994) y las diferencias en el mecanismo de acople excitación-contracción entre animales inmaduros y adultos (Kyselovic, J., 1994).

Comparando fracciones de membrana de túbulos-T y sarcolema de cerdos Pietrain sensibles al Síndrome de Estrés Porcino y cerdos Yorkshire normales se encontraron que no había diferencia en varias de las características estudiadas; que incluían rendimiento de membrana, contenido de lípidos y proteínas, niveles máximos de ATPasa-($\text{Na}^+ + \text{K}^+$), (Ervasti et al., 1989; Mickelson et al.,

1987). En la actividad de la adenilciclase y la sensibilidad de los sistemas de membranas a la estimulación por beta-agonistas (isoproterenol) tampoco presentaron diferencias entre camadas normales y sensibles al Síndrome de Estrés Porcino (PSS) (Mickelson et al., 1987). La posibilidad de la existencia de pequeñas diferencias en la cadena de distribución de ácidos grasos, los fosfolípidos de la membrana, no debe ser excluida (Seewald et al., 1991). Aunque, varios aspectos en la superficie membranal referente a la regulación de calcio fueron normales, tanto en animales normales y sensibles al PSS, hubo una diferencia significativa entre los dos grupos, respecto a la actividad de transporte de Ca^{2+} .

Son requeridas concentraciones de halotano diez veces mayores a las clínicas para inhibir la actividad de la ATPasa (Gronert et al., 1979; Louis et al., 1992). Numerosos estudios han documentado que la actividad de los canales liberadores de calcio del RS es anormal en el PSS y la MH en humanos. Dependiendo del tipo de preparación o técnica utilizada los defectos en los canales de liberación de calcio en el PSS son observados como un incremento en la tasa de liberación de Ca^{2+} inducida por una variedad de agentes, v. gr., Ca^{2+} , cafeína, ATP, halotano (Kim et al., 1984; Mickelson et al., 1988; Mickelson et al., 1989), bajos umbrales de calcio provocan inducción en la liberación de Ca^{2+} (Nelson, 1983; Ohnishi et al., 1983), alterando la cinética de la actividad del canal en la bicapa lipídica (Fill et al., 1990) y alterando las propiedades cinéticas asociadas con el ligamiento de rianodina (Ervasti et al., 1991; Mickelson et al., 1988).

Evidencias para el defecto en el canal liberador de calcio en el PSS, también provienen de estudios que demuestran que el músculo en PSS y MH tiene una alta sensibilidad a la contracción inducida por cafeína y halotano. El sitio de acción de la cafeína ha sido identificado como el receptor de rianodina (Rousseau et al., 1988), y concentraciones clínicas de halotano activan la liberación de calcio del RS a través del receptor rianodina (Beeler & Gable, 1985; Louis et al., 1992), esto podría ser explicado, a través del mecanismo de liberación de calcio en el PSS el cual permite una gran tasa de liberación de Ca^{2+} o tener gran sensibilidad a los efectos de estos agentes.

Reticulo sarcoplásmico aislado predominantemente de músculo de contracción lenta (*vastus intermedius*) de cerdos normales y sensibles al PSS, tienen las mismas diferencias en ligamiento de rianodina como en RS de músculo de contracción rápida (Evarsti et al., 1991).

Reticulo sarcoplásmico aislado de cerdos que poseen una sola copia del gen de PSS muestran propiedades de liberación de Ca^{2+} y ligamiento a rianodina las cuales son intermedias entre animales homocigotos PSS y cerdos homocigotos normales (Mickelson et al., 1989), además indica la probable identidad de PSS y los genes del canal liberador de calcio/receptor de rianodina. Esto fue apoyado por la localización del gen receptor de rianodina en el cromosoma 6, dentro del grupo de ligamiento del gen para PSS (Harbitz et al., 1990). Comparaciones en la secuencia de μ DNA del

receptor rianodina en cerdos Pietran y Yorkshire demostraron un cambio de base en el nucleótido (C1843 a T1843), dando como resultado la mutación de Arg615 (normal) a Cys615 (PSS) (Fujii et al., 1991).

La mutación de Arg615 por Cys615 da como resultado alteraciones estructurales así como funcionales en el receptor rianodina en el PSS. El alelo receptor de rianodina no sólo causa alteración en la actividad en el canal de Ca^{2+} , también, resulta alterada la sensibilidad de esta proteína a la digestión por tripsina (Mickelson y Louis, 1992).

Los elevados gradientes de calcio que existen entre los sistemas membranales del músculo esquelético y el sarcoplasma son el resultado del ATP o de los transportadores energía-dependiente de calcio. Así, en el músculo postmortem, se ha hipotetizado que cuando las concentraciones de ATP descienden, las concentraciones de Ca^{2+} en el sarcoplasma podrían aumentar; Esto podría resultar en un escape de Ca^{2+} a través de los canales, disminuyendo la actividad de la bomba de calcio o un trastorno general en la estructura de la membrana debido a la actividad de la fosfolipasa y proteasa. Otros factores a considerar, cuando se evalúa sí, el calcio sarcoplásmico se eleva en el proceso postmortem del músculo son los efectos de la temperatura, fosfatos y pH en la actividad tanto de la bomba de calcio ATP-dependiente así como canales de calcio (Mickelson y Louis, 1992).

Para una actividad óptima de la bomba de calcio del RS, ATPasa y transporte de Ca^{2+} se requieren valores de pH entre 6.8 - 7.4, sin embargo, la bomba de Ca^{2+} mantiene la habilidad de transportar Ca^{2+} a valores más bajos de pH (Fassold y Hasselbach, 1986). El fosfato, el cual aumenta en estado postmortem, solo podría servir para estimular o mantener los depósitos de Ca^{2+} en el SR (Newbold y Tume, 1981). La tasa de liberación de Ca^{2+} en RS decrece a pH bajo (Louis et al., 1992), y es posible que disminuya el pH sarcoplásmico, actuando para inhibir la liberación de Ca^{2+} del RS, que podría ser un factor en la fatiga muscular.

Metabolismo Postmortem y Calidad de la Carne

Existen tres causas de cambios postmortem en la estructura de los filamentos musculares: disminución del pH, desnaturalización proteica y ligamiento de puntos de unión durante el rigor mortis (Offer y Knight, 1988). Durante los procesos postmortales, seguidos al sacrificio, el pH disminuye de valores aproximados de 7 a valores finales aproximados de 5.5 (Bendall, 1973). Esta disminución cambia las cargas entre las miofibrillas y por lo tanto el espacio entre ellas. El punto isoeléctrico para las proteínas estructurales es de 4.7 para la actina y 5.4 para miosina (significa 5-5.1 para el complejo acto-miosina). En este espacio de pH, la capacidad de retención de agua está al mínimo, así como la carga eléctrica, concediendo un menor espacio entre los miofilamentos. Con pH a niveles altos o bajos, se incrementa la capacidad de retención de agua, como consecuencia

de las cargas positivas o negativas y de la repulsión de los miofilamentos (Fig. 4) (Wismer-Pedersen, 1988).

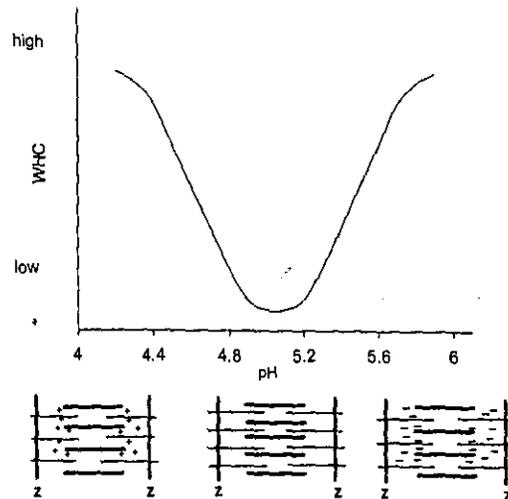


Fig. 4. Representación esquemática de las uniones entre pH final, estructura miofibrilar y capacidad de retención de agua. Tomado de; Enfält, 1996. Tesis doctoral, Universidad de Ciencias Agrícolas, Uppsala, Suecia.

Si el pH desciende a valores bajos mientras la canal aún está caliente, las proteínas se desnaturalizan, lo cual hace que los miofilamentos se encojan aún más, incluyendo grandes pérdidas de agua de la carne, si la comparamos con carne normal (Honikel y Kim, 1986). Esta es una característica de carne pálida, suave y exudativa, la cual es más clara en color que la carne normal (Martin et al., 1975). El origen y la causa de la carne PSE es tanto genético como ambiental. Los animales portadores al gen del halotano, un gen recesivo mayor, son susceptibles al estrés, especialmente los homocigóticos (nn). Los animales susceptibles al estrés, al ser sacrificados, tienen un incremento en el metabolismo glucogenolítico muscular y gran desnaturalización proteica, dando un pH muscular bajo, incluso al comienzo del proceso postmortal. Los animales portadores del gen producen más canales con PSE, comparados con aquellos libres del gen (Lundstrom et al., 1989). Pero cerdos que no portan el gen del halotano pueden desarrollar carne PSE, como consecuencia de efectos ambientales, como aumento en el estrés, cambios en la temperatura ambiente o un periodo corto de reposo en rastro (Malmfors, 1982). Si la temperatura ambiental se mantiene alta durante el proceso postmortem, esto puede causar el llamado calentamiento que provoca PSE (Offer y Knight, 1988; von Seth et al., 1991).

Características de la Fibra Muscular y su Relación con Parámetros de Calidad de la Carne

Técnicas histoquímicas de tinción pueden ser utilizadas para describir las complejas características del músculo y para identificar diferentes tipos de fibras. Tinciones para ATPasa son usadas para distinguir entre fibras tipo I de lenta contracción y fibras tipo II de rápida contracción. Estas últimas

además pueden ser subgrupadas en fibras tipo II A, II B y II C (Brooke & Kaiser, 1970). Diferentes sistemas de clasificación basados tanto en tinciones histoquímicas únicas o en combinación, frecuentemente son utilizadas para identificar las fibras. La tinción de ATPasa está relacionada con las propiedades contráctiles de la fibra e identifica fibras tipo I, II A, II B y II C (Szentkuti et al., 1981; Karlsson et al., 1992). Cuando las fibras se clasifican como rojas, intermedias o blancas, esto generalmente se basa en tinciones de NADH-tetrazolium reductasa o succinato deshidrogenasa (SDH) los cuales se relacionan con perfiles metabólicos de la fibra (Rede et al., 1986).

Existen marcadas diferencias en la composición del tipo de fibras, áreas de distribución y perfiles metabólicos entre músculos de cerdos (Monin et al., 1987; Jensen et al., 1988). el músculo *Longissimus dorsi* presenta una gran proporción de fibras tipo II B (80-90%), mientras el *M. vastus intermedius* tiene una gran proporción de fibras tipo I (70-80%). Las partes profundas de los músculos presentan mayor proporción de fibras tipo I y una mayor capacidad oxidativa que las partes superficiales. Los perfiles metabólicos pueden diferir en el *M. gluteus* y *M. longissimus* en diferentes razas de cerdos (Hampshire, Yorkshire, Landrace Sueco) los cuales, sin embargo, tienen composiciones similares en el tipo de fibra (Essén-Gustavsson y Fjelkner-Modig, 1985).

Comparado con cerdos domésticos, la capacidad oxidativa y el radio de las fibras tipo II A/II B son mayores en cerdos silvestres (Solomon y West, 1985). La capacidad oxidativa entre las diferentes fibras, especialmente entre fibras tipo I y tipo II B, es mayor en cerdos silvestres y cruzamientos (cerdos silvestres x Landrace Sueco x Duroc x Hampshire) comparada con cerdos domésticos. El tipo de composición y capilaridad de la fibra son similares en cerdos domésticos estrés susceptibles y estrés resistentes, pero la superficie de las fibras mostraron ser largas y menos capilarizadas en las últimas (Essén-Gustavsson et al., 1992).

Se dice que el número de fibras en el músculo se determina al nacimiento y por lo tanto, el crecimiento del músculo está relacionado al incremento en longitud y grosor del área de las fibras. Basados en tinciones histoquímicas para ATPasa y fosforilasa la diferenciación de las fibras en tipos ocurre en el músculo durante los primeros dos días de vida (Szentkuti y Cassens, 1978). Las fibras aumentan en tamaño a medida que avanza la edad tanto en cerdos domésticos y silvestres, pero en cerdos adultos parece ser que se estabiliza (Salomon et al., 1983; Klosowska et al., 1985).

A peso de sacrificio existe predominancia de fibras largas tipo II B en el *M. longissimus dorsi* de cerdos domésticos y la densidad en capilaridad será muy baja (Essén-Gustavsson, 1986). La actividad enzimática medida con muestras musculares de los mismos individuos confirma disminución en la capacidad oxidativa relacionada con la edad y un incremento en la capacidad glucolítica del músculo (Essén-Gustavsson et al., 1988).

La inclusión en la dieta de beta-adrenérgicos como salbutamol, para el crecimiento de cerdos causa reducción en el área de las fibras tipo II A y un incremento en las fibras tipo II B del *M. longissimus dorsi* (Oksbjerg et al., 1990). Esto indicaría que una conversión de fibras tipo II A a tipo II B podría haber ocurrido.

Existe un incremento en el tamaño de la fibra de todos los tipos de fibras, pero no hay cambios en su tipo de composición mediante la administración de somatotropina porcina para crecimiento en cerdos (Solomon et al., 1990).

El patrón de depleción del glucógeno ha sido estudiado en el *M. longissimus dorsi* y en el *M. biceps femoris* en cerdos sensitivos al halotano durante la exposición a la anestesia con halotano (Essén-Lindholm, 1981). Una marcada glucogenólisis sucede en estos músculos y se prolonga más en fibras tipo II B que en las de tipo I y II A. También, se ha visto en cerdos con el genotipo halotano positivo (nn), los cuales tienen bajo contenido de glucógeno y dos veces menos glucógeno al sacrificio en las fibras tipo II A y II B en el músculo *M. longissimus dorsi* comparados con cerdos de genotipo halotano negativos (NN). Inmediatamente después del sacrificio, se ha observado una marcada reducción de glucógeno en el músculo *longissimus dorsi* en cerdos libres del gen halotano (Essén-Gustavsson, 1992; Karlsson et al., 1992).

Durante el ejercicio y condiciones de estrés, existe un aumento en las catecolaminas que activa la glucogenólisis rápida, observada en cerdos estrés susceptibles, se dice estar relacionada con anomalías del canal de calcio del RS (receptor rianodina). Este defecto en el receptor se ha encontrado tanto en fibras musculares de contracción lenta como de contracción rápida (Ervasti et al., 1991).

Haciendo un lado la composición del tipo de fibra, los rasgos de calidad de la carne también difieren entre músculos (Monin et al., 1987; Karlsson et al., 1992). Cuando se compara el *M. longissimus dorsi* con el *M. biceps femoris*, el primero presenta una pequeña proporción de fibras tipo I y una gran proporción de fibras tipo II B, así como, una pequeña capacidad oxidativa y similar capacidad glucolítica. El contenido de glucógeno es similar en los dos músculos, pero en el *M. longissimus dorsi*, el pH final es bajo y la calidad tecnológica de la carne es pobre, comparada con el *M. biceps femoris*.

Si se presenta muy reducido el glucógeno en fibras musculares al momento del sacrificio, especialmente en fibras tipo II B, la calidad tecnológica de la carne podría ser influida. En cerdos libres del gen halotano, la proporción en la reducción en fibras tipo II B en el *M. longissimus dorsi* fue correlacionado positivamente con pH final, pH al desangrado y correlacionado negativamente a pérdida de agua por goteo y valores de reflectancia (Karlsson et al., 1992). Cuando el 30% de las

fibras tipo II B estaban reducidas de glucógeno, los músculos mostraron tendencia a presentar carne DFD (oscuro, firme y seco), como la carne tener un pH final alto, capacidad de retención de agua alta y bajos valores de reflectancia (Lundström et al., 1989). Al momento del sacrificio, los cerdos genotipo nn presentan gran disminución de glucógeno en fibras tipo II B, aunque todos los cerdos fueron transportados y manejados de manera similar. En este caso, la proporción en la disminución de fibras tipo II B fue correlacionado negativamente con pH al desangrado y correlacionado positivamente con pérdida por goteo y valores de reflectancia. La respuesta metabólica en cerdos genotipo nn estuvo relacionada no sólo a situaciones de estrés antes del sacrificio, sino también, al hecho que estos cerdos tienen grandes superficies de fibras y baja capilarización del músculo (Essén-Gustavsson et al., 1992).

La calidad final de la carne ha sido diagnosticada a través de la reducción de los patrones de glucógeno, analizada de muestras de *M. longissimus dorsi* tomadas dos horas después del sacrificio (Severini et al., 1991). Las muestras musculares tenían un pH inicial alto y numerosas fibras PAS-positivas, que producían carne con buena calidad final. Muestras musculares que tenían grandes proporciones de fibras PAS-negativas se esperaba obtener carne DFD con pH inicial alto o carne PSE con pH inicial bajo. La clasificación de las muestras musculares a las 24 horas postmortem estuvo de acuerdo con la predicción hecha dos horas después de sacrificio, basada en pH inicial y tinción intensiva para glucógeno. La calidad de la carne, se relaciona con los patrones de depleción del glucógeno y respuesta metabólica al sacrificio (Essén-Gustavsson., 1992).

Comparaciones entre razas también indican que el tamaño y el perfil metabólico entre las fibras musculares podría resultar importante para diferentes parámetros de calidad de la carne. Muestras repetidas de músculos de los mismos animales (Landrace) de diferentes edades (70-220 días) mostraron que cerdos que desarrollan carne PSE tienen cerca del 10% mayor superficie de fibras que cerdos que desarrollan carne normal (Wegner & Ender, 1990). Como consecuencia de la selección (tres generaciones) para diámetros grandes o pequeños en fibras del *M. longissimus dorsi*, la frecuencia para halotano-positivo disminuye en cerdos con diámetros pequeños y se incrementa en cerdos con diámetros mayores (Wicke et al., 1991). Numerosos estudios indican que el tamaño de las fibras podría ser de importancia para la calidad de la carne. La más rápida disminución en el pH, la reducción en ligamiento de agua y la brillantez en el color de la carne en razas altamente seleccionadas como Landrace Sueco y Large White, se dice estar relacionada en parte a la gran proporción de fibras blancas (no oxidativas) en estas razas, comparadas con razas como las de cerdos silvestres y Black Slavonic (Rede et al., 1986). Con un incremento en el diámetro de la fibra en el *M. longissimus dorsi*, una disminución en la puntuación fue encontrada en panel de degustación para suavidad (Carpenter et al., 1963). Cerdos que fueron criados en jaulas con un régimen restrictivo de movimiento tuvieron grandes superficies de fibras y menor suavidad

en carne comparados con cerdos que se les permitió un grado moderado de movimiento en su manejo diario (Petrov & Tomov, 1985).

La grasa intramuscular, también es un factor que puede ser de importancia en la calidad de la carne. En pruebas sensoriales, el tipo de grasa en carne obtuvo alta puntuación en suavidad, la cual pudo haberse debido al gran contenido de grasa (Rede et al, 1986). Carne de cerdos híbridos (50% chinos), ha sido considerada ser más blanda, jugosa y sabrosa que la carne de cerdos de razas europeas puras (Touraille et al., 1989). Razas puras de cerdos chinos han recibido altas puntuaciones en pruebas sensoriales comparados con razas Landrace y Duroc (Susuki et al., 1991). Los cerdos en ambos estudios con alta puntuación sensorial, tuvieron más grasa intramuscular que los otros cerdos. El contenido de lípidos intramusculares varío un poco, con respecto al tipo de metabolismo del músculo (Leseigneur-Meyneir y Gandemer, 1991). Sin embargo, la grasa intramuscular representa los lípidos que están almacenados tanto en superficie intracelular e intercelular, como entre los fascículos musculares. Altos contenidos de triglicéridos en las fibras musculares pueden ser factor de importancia para la calidad de la carne. En cerdos Yorkshire, la suavidad de la carne fue inferior comparado con Landrace Sueco y Hampshire. Estos cerdos presentaron músculos con alta capacidad oxidativa y baja capacidad glucolítica, así como alto contenido de triglicéridos comparados con los músculos de cerdos Yorkshire (Essén-Gustavsson y Fjelkner-Modig, 1985). Valoraciones positivas para propiedades sensoriales, especialmente suavidad, podrían estar relacionadas a la capacidad oxidativa y al contenido de grasa de la fibra muscular.

Esta bien establecido que el gen del halotano en cerdos tiene una gran influencia tanto en rasgos de calidad de la canal como de la carne. Algunos estudios han mostrado pequeñas diferencias en la tasa de crecimiento entre cerdos NN y Nn (Sather et al 1991b; Pommier et al., 1992). Sin embargo, se ha reportado (Leuscher et al., 1979; Leach et al., 1996) que los cerdos portadores (Nn) crecían con mayor rapidez que los cerdos negativos al gen (NN). En contraste (Jensen y Barton-Gade (1985), y Sánchez (2000), observaron diferencias significativas a favor de cerdos negativos (NN). Comparaciones que involucran a los tres genotipos sugieren, que cerdos positivos (nn) presentan canales más cortas, con mayor área de ojo de chuleta y medidas semejantes comparados contra los otros dos genotipos; mientras los portadores (Nn) tienden a ser intermedios para estos rasgos (Jones et al., 1988; Simpson y Webb, 1989). Otros estudios, mostraron que las hembras tuvieron lomos más grandes, con menor grasa dorsal y mayor área de ojo de chuleta que los machos (Fortin, 1980; Webel, 1994; Leach et al., 1996). El rendimiento en cortes primarios mostró una ligera tendencia que favorece a cerdos portadores (Nn) con respecto a cerdos negativos (NN), comportamiento similar se observó con respecto al área de ojo de chuleta (Sánchez, 2000).

Para mediciones de calidad de la carne, algunos estudios han encontrado valores de pH bajos a los 45 min postmortem en cerdos portadores comparados con cerdos negativos (NN) (Sather et al., 1991a; Murray y Jones, 1992). Mediciones subjetivas de color, firmeza y marmoleo en el *M. longissimus lumborum* fueron más bajas en portadores, que en carne de cerdos negativos (NN); Leach et al., (1996), reportó resultados que sugieren una alta incidencia de PSE en portadores, que se confirmó examinando la distribución de las mediciones de calidad de la carne para las dos poblaciones. Por ejemplo, la incidencia de pH a los 45 min a valores debajo de 6.0, un punto que frecuentemente es usado para determinar PSE, fue de 13.3% para portadores (Nn) y de 1.6% para negativos (NN). Similarmente, la incidencia en el rango de color de 1 (músculo pálido) fue de 20% y 0% respectivamente y los valores de incidencia de pérdida por goteo (arriba del 6% del peso perdido) fue de 38.6% y 14.5% en cerdos portadores y negativos, respectivamente.

Debido a la presencia del músculo pálido, suave y exudativo y carne oscura, firme y seca se han reportado pérdidas de hasta cien millones de dólares anuales en los Estados Unidos, debido a la disminución en los rendimientos por procesado con carne de estas características (Mitchell, 1982). Con estos antecedentes, cabe señalar que nuevas técnicas en el campo de la biología molecular permitirán a los genetistas en cerdos monitorear sus programas de cruzamiento a nivel DNA. Genes que afectan rasgos económicos importantes podrán ser identificados a través de aislamiento de DNA. Existen dos acercamientos básicos cuando se usan marcadores de selección asistida (MAS) para generar reservas genéticas superiores. Los (MAS) pueden basarse en la identificación de mutaciones genéticas o en loci de rasgos cualitativos (QTL). Pruebas basadas en la identificación de mutaciones permitirán a los criadores de cerdos dar seguimiento a rasgos genéticos independientes dentro de una familia; la detección temprana ahorrará tiempo y disminuirá costos por estancia en corrales y también identificará animales portadores de genes ocultos, los cuales posteriormente afectarían la descendencia o rasgos de calidad de la carne. Estas pruebas serán especialmente útiles para identificar mutaciones que pueden evidentemente cambiar las cualidades fisiológicas últimas del animal, a pesar de su antecedente ambiental o de raza.

Desde que la mayoría de los rasgos fisiológicos como tamaño de la camada y tasa de crecimiento son influenciados por el medio ambiente y efectos aditivos de genes distintos, los criadores no pueden depender únicamente de escasas pruebas genéticas para predecir con precisión las cualidades fisiológicas últimas que tendrá un animal adulto al momento del nacimiento (Meadus, 2000).

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar características de calidad de la canal y carne de cerdos para abasto, portadores y negativos del gen del halotano, sacrificados en condiciones comerciales convencionales.

Objetivos Particulares

1. Identificar, mediante técnicas de biología molecular, el genotipo para el locus del halotano en cerdos comerciales.
2. Comparar parámetros de calidad de la canal como; peso, largo, rendimiento, grasa dorsal, área de ojo de la chuleta, rendimiento en cortes primarios y porcentaje de grasa subcutánea entre cerdos negativos y portadores del gen del halotano.
3. Comparar características tecnológicas de calidad de la carne, v. gr., pH color, marmoleo y retención de agua, de cerdos negativos y portadores al gen del halotano.
4. Medir la correlación entre parámetros de calidad de la canal.

MATERIAL Y METODOS

El presente trabajo se desarrolló en las instalaciones del Rancho Cofradía de la Universidad de Guadalajara ubicado en el km. 7.5 de la carretera a San Isidro Mazatepec, municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, con una latitud 20° 28' longitud oeste 103° 27' y una altura sobre el nivel del mar de 1575 m. La temperatura media anual oscila entre 20°C y 22°C, la dirección de los vientos es variable y la precipitación pluvial media anual es de 900 mm. El clima se considera semiseco y semihúmedo de acuerdo a la clasificación Köppen de climas del mundo.

Animales

Los cerdos (43) procedieron de la piara del Rancho Cofradía, de los cuales 22 fueron hembras y 21 machos castrados. Estos fueron seleccionados de un lote de 166 animales para la engorda. Su genotipo racial proviene de una línea materna Yorkshire/Landrace y una línea paterna de machos terminales comerciales.

Condiciones de Manejo

Los cerdos fueron alojados en instalaciones convencionales y sometidos a manejo comercial normal. Durante el estudio los cerdos permanecieron en condiciones medioambientales no controladas y se desarrollaron en corrales con piso de rejilla con espacio de 1.2 m²/ cerdo. Su alimentación fue *ad libitum* con dietas a base de sorgo y soya (Anexos a-b). Los animales se mantuvieron en estas condiciones hasta ser destinados al sacrificio. Terminada su fase de engorda los cerdos fueron pesados y enviados por la tarde al rastro del Rancho Cofradía, donde permanecieron en reposo por 16 horas antes de ser sacrificados. Se retiró su alimentación y únicamente tuvieron acceso al agua. El promedio de animales sacrificados por día fue de tres.

Sacrificio y Mediciones de la Canal

El sacrificio de los cerdos se llevó a cabo utilizando procedimientos comerciales, posterior a la evisceración, fueron tomados los pesos de las canales calientes. Las mediciones fueron hechas con cinta métrica incluyendo: longitud de la canal (desde el borde anterior de la sínfisis púbica hasta el borde anterior de la primera costilla); las mediciones para grasa dorsal se obtuvieron del tercio externo sobre el músculo *longissimus dorsi* a nivel de la 10ma. costilla; para obtener la medición del

área de ojo de la chuleta (a nivel de 10ma. costilla sobre *M. longissimus dorsi*) se utilizó una plantilla cuadrículada de puntos.

Para la obtención de los cortes primarios, se tomó el lado izquierdo de la canal, el cual fue pesado y diseccionado (Walstra & Merkus, 1996). Los cortes primarios obtenidos (pierna, lomo, espalda, panza y filete) fueron así pesados; la grasa subcutánea y piel fueron removidas de los cortes y fueron pesadas por separado para registrar los valores de cortes primarios sin grasa y grasa subcutánea.

Mediciones de Calidad de la Carne

Las valoraciones de calidad de la carne fueron tomadas utilizando el lado izquierdo de la canal, el pH fue evaluado a los 45 minutos postmortem a nivel de 10ma. costilla en el músculo *longissimus dorsi* empleando para ello un potenciómetro para carnes PK₂₁ NWK BINAR (Alemania). Para mediciones de retención de agua, se hicieron cortes de 2 cm de grosor aproximadamente del músculo *longissimus dorsi* a nivel de 10ma. costilla, los que inicialmente se pesaron y almacenaron por 96 horas a una temperatura de 4°C por 96 horas, para posteriormente tomar el peso final (Enfält, 1997). Valores subjetivos fueron empleados para medición de color utilizando una escala de cinco colores (NPPC, 1991).

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Análisis de datos (modelos estadísticos)

En el presente estudio cada tratamiento (τ_i) se compone de: un efecto de sexo y un efecto genético, por lo que se puede decir que para cada tratamiento (τ_i) se tiene: $\tau_i = A_i + B_i$; (A_i , sexo y B_i genotipo). Considerando que el efecto del sexo sobre los parámetros de calidad de la canal y de la carne se tiene aceptablemente identificado (entre otras investigaciones la realizada por Sánchez, C. D., 2000), en este estudio se dio especial énfasis a detectar diferencias entre los grupos de animales portadores (Nn) y no portadores del gen (NN). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, en el que se consideró como unidad experimental a un cerdo. Teniéndose cuatro grupos que corresponden a cada uno de los tratamientos de acuerdo al Cuadro 3.

Cuadro 3. Tratamientos y unidades experimentales en el diseño experimental

Tratamiento	Hembras no portadoras	Hembras portadoras	Machos no portadores	Machos portadores
Unidades experimentales	11	11	11	10

Para lograr una mayor sensibilidad en las comparaciones de los parámetros se aplicó el método de covarianza lineal simple, para evitar que la variación en la edad al sacrificio pudieran influir en el resto de los parámetros analizados.

Modelo lineal de covarianza simple: (Martínez, 1988)

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta(x_i - x_j) + e_{ij}$$

Donde:

y_{ij} ; observación de cada uno de los parámetros de calidad, tratamiento "i", repetición "j"

μ ; media general

τ_i ; tratamiento "i"

β ; coeficiente de regresión

$(x_i - x_j)$; efecto de la covariable (edad y peso de la canal) "x" en el tratamiento "i"

e_{ij} ; error aleatorio asociado al tratamiento "i", repetición "j"

Las covariables utilizadas fueron edad al sacrificio y peso de la canal ajustado. Se eligió el diseño completamente al azar para maximizar los grados de libertad del error y alcanzar una mayor sensibilidad en el análisis.

Las comparaciones entre las medias se realizaron multiplicando el valor de $T_{\alpha/2}$ por el error de estimación de una diferencia de medias, calculado por la expresión:

$$Y_i - Y_j = \sqrt{\tau^2 \left[\frac{2}{r} \right] + \frac{(x_i - x_j)^2}{Exx}}$$

Donde:

Y_i ; Y_j . Son medias de dos tratamientos

τ^2 ; Es el cuadrado medio del error ajustado

r ; Es el número de repeticiones de los tratamientos

X_i ; X_j ; Son las medias de la covariable para los tratamientos en cuestión

Exx ; Es la suma de cuadrados de la covariable sin ajustar

El análisis de los parámetros de pH y retención de agua se realizó mediante un diseño completamente al azar cuyo modelo lineal es el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + e_{ij}$$

Donde:

y_{ij} ; observación de cada uno de los parámetros de calidad, tratamiento "i", repetición "j"

μ ; media general

τ_i ; tratamiento "i"

e_{ij} ; error aleatorio asociado al tratamiento "i", repetición "j".

Este diseño se aplicó directamente para los valores de pH y retención de agua, mediante la transformación de arco seno (Box et al 1978).

Para establecer la posible correlación entre los diferentes valores de los parámetros que definen calidad de la canal se optó por aplicar un modelo de correlaciones lineales simples; donde para cada par de variables X_i , X_j fueron correlacionadas con la formula (Martínez, 1988):

$$r = \frac{\sum X_i X_j - \frac{\sum X_i \sum X_j}{n}}{\sqrt{\left(\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n} \right) \left(\sum X_j^2 - \frac{(\sum X_j)^2}{n} \right)}}$$

Los valores fueron ajustados a 173 días, de igual manera que para los análisis de varianza y covarianza.

El color de la carne se midió en una escala (subjetiva) cualitativa tomando los valores propuestos por la NPPC, (1991), estos datos fueron agrupados en dos categorías: color normal y color pálido. La comparación se realizó mediante una tabla de contingencia 2X2, para comparar al grupo de animales negativos (NN) contra el grupo de animales portadores (Nn).

Aislamiento de DNA Genómico para Análisis por PCR

El DNA genómico fue obtenido a partir de muestras de sangre completa siguiendo protocolos estándares. La muestra de sangre (5 ml) se tomó en tubos vacutainer conteniendo EDTA, posteriormente en el laboratorio 100 µl de sangre fueron tratados con 900 µl de buffer A (sacarosa, 0.32 M; Tris HCl, 10 mM; Mg Cl₂, 5 mM; Triton X - 100, 1 %), hasta lograr un botón celular blanco. A continuación se incubó la muestra por una hora a 50°C en una solución de Proteinasa K (8 mg/ml) en buffer D (KCl, 50mM; Tris HCl, 10 mM; MgCl₂, 2.5mM; NP-40, 0.455 Tween 20, 0.45%). Se inactivó la enzima incubando la muestra a 90°C durante 10 minutos (Sánchez, 2000).

Análisis por PCR y Polimorfismo de Fragmentos de Restricción

De acuerdo a los datos de secuencia del DNA para el gen del halotano (O'Brien, 1993), se seleccionaron dos iniciadores (RYRF: 5'-GTG CTG GAT GTC CTG TGT TCC CT- 3'. RYRR: 5'-CTG GTG ACA TAG TTG ATG AGG TTTG- 3') para seguir un protocolo estándar (Brem.et al., 1993), donde 100ng de DNA fueron amplificados en una reacción de 100 µl, conteniendo 100 pmol de cada iniciador, 200µM de dNTPs, y 2.5 U de taq polimerasa.

Los ciclos de amplificación se realizaron en un termociclador (Master-Gradient, Eppendorf; Alemania), con 30 ciclos de desnaturalización a 94°C, alineamiento a 69°C y polimerización a 72°C por 60 segundos, respectivamente.

El producto de amplificación de una longitud de 134 pb, después de ser digerido por la enzima HhaI, permitió identificar los tres genotipos posibles para el locus hal. Cerdos estrés susceptibles (nn) que han perdido el sitio de corte de la enzima en ambos alelos presentan una banda de DNA en geles de agarosa al 2% teñidos con bromuro de etidio; mientras que cerdos heterocigotos (Nn) presentan tres bandas (134pb, 84pb y 50pb), los individuos estrés resistentes (NN) muestran dos bandas, 84pb y 50pb (Sánchez, 2000).

RESULTADOS

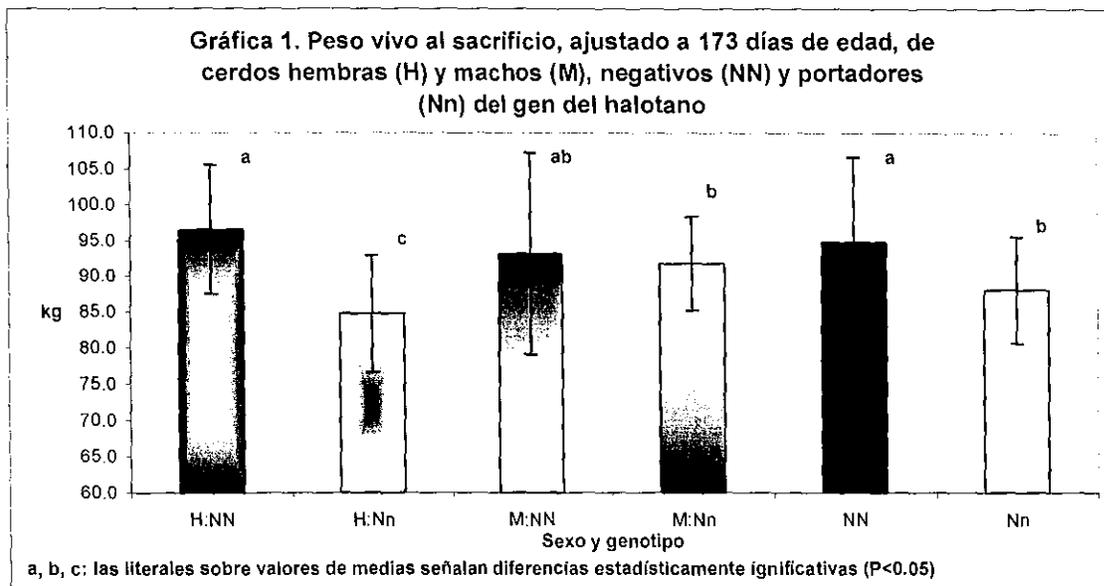
La técnica de PCR permitió distinguir cerdos homocigóticos dominantes o negativos para el gen del halotano (NN), y cerdos heterocigóticos o portadores del gen (Nn). Estos se clasificaron según el sexo y genotipo en cuatro grupos de 11 cerdos cada uno, excepto en el grupo de los cerdos machos heterocigóticos donde sólo se estudiaron diez animales.

Los valores para el parámetro peso vivo, ajustado a 173 días, mostraron diferencias estadísticamente significativa ($P < 0.05$) entre grupos con respecto al genotipo y sexo de los animales. Las hembras negativas (NN) lograron un peso vivo promedio de 96.553 kg, siendo superiores al grupo de hembras portadoras (Nn), quienes tuvieron un peso vivo promedio de 84.765 kg, y al grupo de machos portadores, quienes llegaron a un peso vivo promedio de 91.774 kg (Cuadro 4). Los machos negativos (NN) tuvieron un peso vivo promedio de 93.162 kg, siendo significativamente diferente al valor de 84.765 kg, correspondiente al grupo de cerdos hembras portadoras (Nn). Cuando se considera el total de cerdos para cada genotipo indistintamente del sexo, también hubo diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) si se comparan animales negativos (NN) contra portadores (Nn), un promedio de peso vivo ajustado de 94.857 v.s. 88.103 kg, respectivamente. Una diferencia para este promedio se observó entre machos negativos (NN) contra portadores (Nn), 93.162 v.s. 91.774 kg, respectivamente, sin embargo, ésta no fue estadísticamente significativa. Mas aun, obsérvese que la desviación estándar y el coeficiente de variación fueron notablemente mayores en el grupo machos homocigóticos que machos heterocigóticos, 14.079 y 15.112, contra 6.602 y 7.193, respectivamente (Cuadro 4 y Gráfica 1).

Cuadro 4. Peso vivo al sacrificio, ajustado a 173 días de edad, de cerdos negativos (NN) y portadores (Nn) del gen del halotano

Grupo	Media (kg)	Desviación estándar	Error de la media	Coefficiente de variación	n
Hembras NN	96.553 ^a	9.021	1.700	9.343	11
Hembras Nn	84.765 ^c	8.147	1.700	9.612	11
Machos NN	93.162 ^{ab}	14.079	1.700	15.112	11
Machos Nn	91.774 ^b	6.602	1.783	7.193	10
Conjunto NN	94.857 ^a	11.824	1.202	12.465	22
Conjunto Nn	88.103 ^b	7.451	1.230	8.458	21

a, b, c: las literales sobre valores de medias señalan diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$)

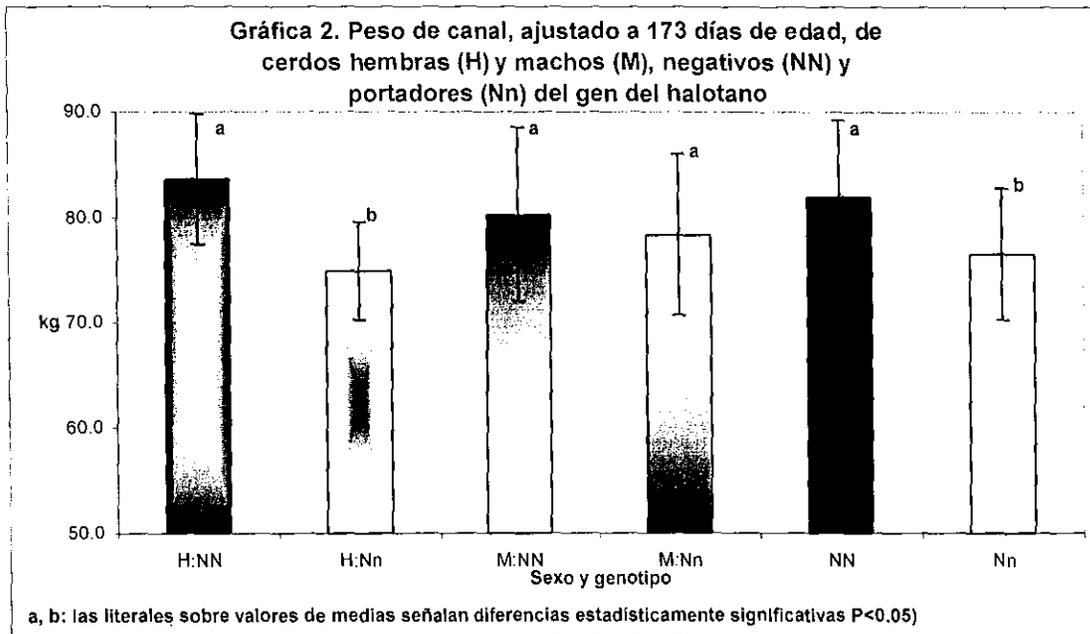


Para el parámetro peso de la canal se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre cerdos hembras negativas para el gen del halotano (NN) y hembras portadoras (Nn), donde los valores promedio fueron de 83.648 y 74.914 kg, respectivamente. También el valor promedio (78.351 kg) del grupo de animales machos portadores (Nn) fue inferior a aquel de hembras negativas (NN), no siendo esta diferencia significativa. Consistente con estas observaciones, el peso promedio (80.269 kg) de la canal fue superior para machos homocigóticos que su contraparte de machos heterocigóticos (78.351 kg) pero sin llegar a ser esta diferencia estadísticamente significativa (Cuadro 5 y Gráfica 2). En este caso, el total de animales homocigóticos mostraron un promedio de la canal de 81.959 kg, siendo estadísticamente diferente ($P < 0.05$) al valor promedio de 76.550 kg que tuvieron el conjunto de cerdos heterocigotos para el gen del halotano.

Cuadro 5. Peso de la canal, ajustado a 173 días de edad, de cerdos negativos (NN) y portadores (Nn) del gen del halotano

Grupo	Media (kg)	Desviación estándar	Error de la media	Coefficiente de variación	n
Hembras NN	83.648 ^a	6.166	1.977	7.371	11
Hembras Nn	74.914 ^b	4.665	1.977	6.227	11
Machos NN	80.269 ^a	8.269	1.977	10.301	11
Machos Nn	78.351 ^a	7.661	2.074	9.778	10
Conjunto NN	81.959 ^a	7.294	1.398	8.899	22
Conjunto Nn	76.550 ^b	6.273	1.431	8.195	21

a, b: las literales sobre valores de medias señalan diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$)

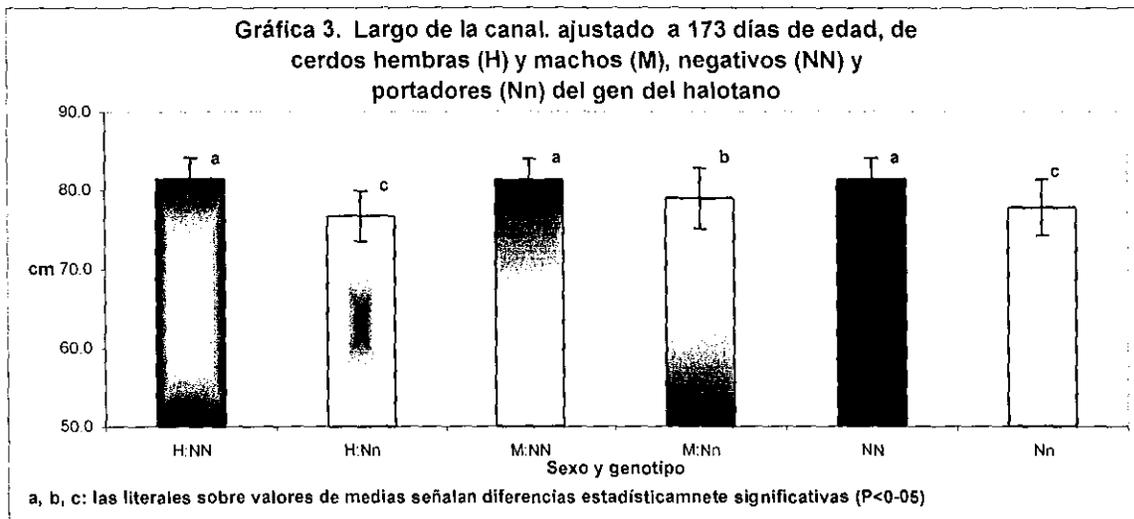


Cuando se compararon los valores promedio de longitud (cm) de la canal se observan diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre grupos de cerdos negativos (NN) y portadores (Nn) del gen, así se aprecia (Cuadro 6) que las hembras homocigóticas tuvieron en promedio canales de 81.446 cm, mientras que su contraparte, hembras heterocigóticas (Nn), mostraron un promedio de 76.653 cm de largo de la canal. Este mismo nivel de diferencia significativa ($P < 0.05$) se obtiene cuando se contrastan los valores promedio de longitud de la canal para cerdos machos negativos (NN) y cerdos machos portadores (Nn), donde los primeros tuvieron una media de 81.255 cm y los otros de 78.910 cm. Mas aun, el grupo de animales hembras negativas (NN) resultó superior (81.446 cm) que los machos portadores (Nn), siendo la diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$). Cuando se consideran los genotipos, indistintamente del sexo de los animales, se encuentra una diferencia significativa ($P < 0.05$) para este parámetro, siendo superior la media (81.351 cm) para cerdos homocigóticos que la media (77.728 cm) de los cerdos heterocigóticos (Cuadro 6 y Gráfica 3).

Cuadro 6. Largo de la canal, ajustado a 173 días de edad, de cerdos negativos (NN) y portadores (Nn) del gen del halotano

Grupo	Media (cm)	Desviación estándar	Error de la media	Coefficiente de variación	n
Hembras NN	81.446 ^a	2.667	0.924	3.275	11
Hembras Nn	76.653 ^c	3.213	0.924	4.191	11
Machos NN	81.255 ^a	2.703	0.924	3.326	11
Machos Nn	78.910 ^b	3.859	0.969	4.890	10
Conjunto NN	81.351 ^a	2.685	0.654	3.300	22
Conjunto Nn	77.728 ^b	3.535	0.669	4.548	21

a, b, c: las literales sobre valores de medias señalan diferencias estadísticamente significativas (P<0.05)

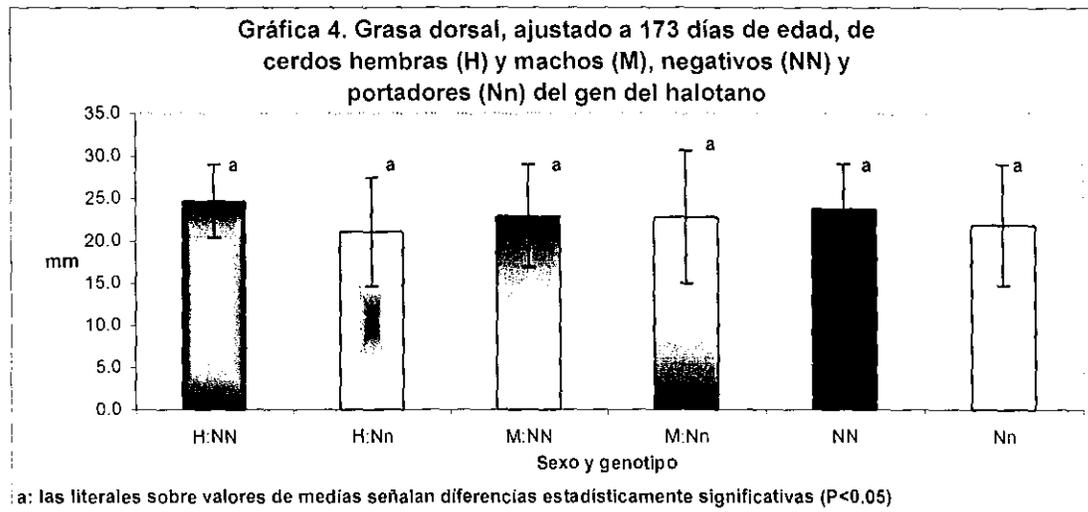


Los valores promedio para el parámetro grasa dorsal expresada en milímetros, se presentan en el Cuadro 7. Aquí se aprecian diferencias no significativas entre grupos, considerando tanto el sexo de los animales como su estatus para el gen del halotano. No obstante, los valores de esta característica son ligeramente superiores para los genotipos homocigotos (NN), que para los genotipos heterocigotos (Nn). De esta manera, en el total de cerdos homocigóticos se encontró un valor de 23.793 mm, comparándolo con 21.884 mm que correspondió a el total de cerdos heterocigóticos (Gráfica 4).

Cuadro 7. Grasa dorsal, ajustada a 173 días de edad, de cerdos negativos (NN) y portadores (Nn) del gen del halotano

Grupo	Media (mm)	Desviación estándar	Error de la media	Coefficiente de variación	n
Hembras NN	24.666 ^a	4.321	1.863	17.519	11
Hembras Nn	21.047 ^a	6.424	1.863	30.523	11
Machos NN	22.920 ^a	6.051	1.863	26.402	11
Machos Nn	22.803 ^a	7.829	1.954	34.332	10
Conjunto NN	23.793 ^a	5.258	1.317	22.099	22
Conjunto Nn	21.884 ^a	7.128	1.348	32.571	21

a: las literales sobre valores de medias señalan diferencias estadísticamente significativas (P<0.05)



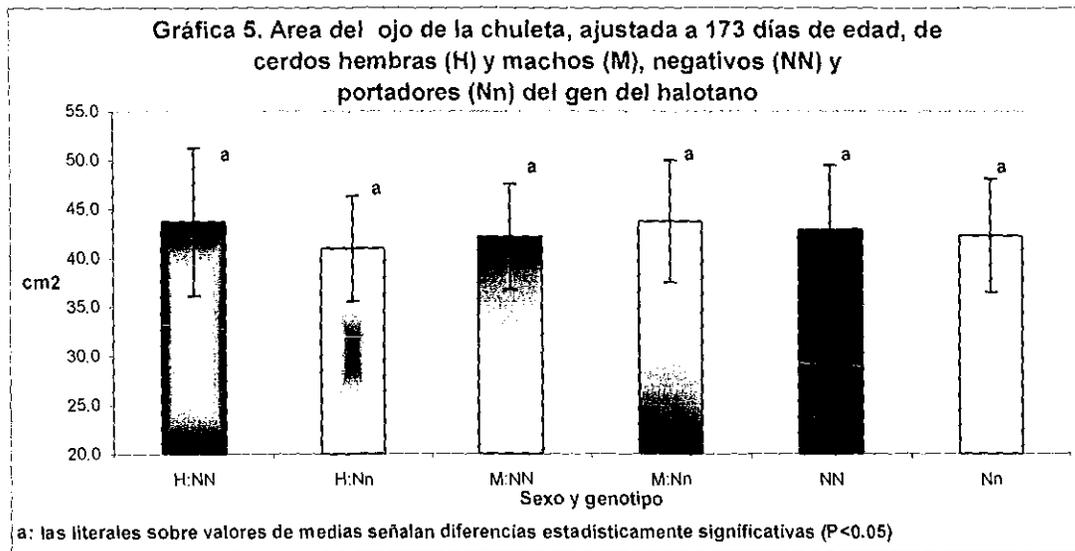
De manera similar, no se observaron diferencias significativas para los valores promedio de la medida área ojo de la chuleta (cm²) entre los grupos de análisis. El valor promedio de 43.693 cm² correspondiente al grupo de hembras homocigóticas fue superior al de 40.959 cm² que tuvieron las hembras heterocigóticas para el gen halotano. Lo contrario, se observa al comparar el grupo machos negativos (NN) contra machos portadores (Nn), donde se encontraron medidas promedio de 42.166 y 43.747 cm² para cada grupo, respectivamente, en consecuencia fueron superiores los animales portadores (Nn). Por otra parte, las hembras negativas (NN) fueron ligeramente superiores en esta medida (43.693 cm²), que los cerdos machos negativos (NN), los cuales tuvieron en promedio un área del ojo de la chuleta de 42.166 cm². En contraste con esta

observación las hembras portadoras (Nn) tuvieron valores inferiores (40.959 cm²), que el grupo de machos portadores (43.747 cm²) para esta característica. Sin embargo, se encontró una mínima diferencia entre los promedios de esta característica cuando se consideran los grupos del conjunto de animales solamente por su genotipo; los cerdos homocigóticos tuvieron en promedio 42.930 cm², mientras que los cerdos heterocigóticos muestran una área promedio de 42.287 cm² (Cuadro 8 y Gráfica 5).

Cuadro 8. Área del ojo de la chuleta, ajustada a 173 días de edad, de cerdos negativos (NN) y portadores (Nn) del gen del halotano

Grupo	Media (cm ²)	Desviación estándar	Error de la media	Coefficiente de variación	n
Hembras NN	43.693 ^a	7.569	1.893	17.324	11
Hembras Nn	40.959 ^a	5.376	1.893	13.125	11
Machos NN	42.166 ^a	5.380	1.893	12.759	11
Machos Nn	43.747 ^a	6.243	1.986	14.272	10
Conjunto NN	42.930 ^a	6.567	1.339	15.296	22
Conjunto Nn	42.287 ^a	5.805	1.370	13.728	21

a: las literales sobre valores de medias señalan diferencias estadísticamente significativas (P<0.05)



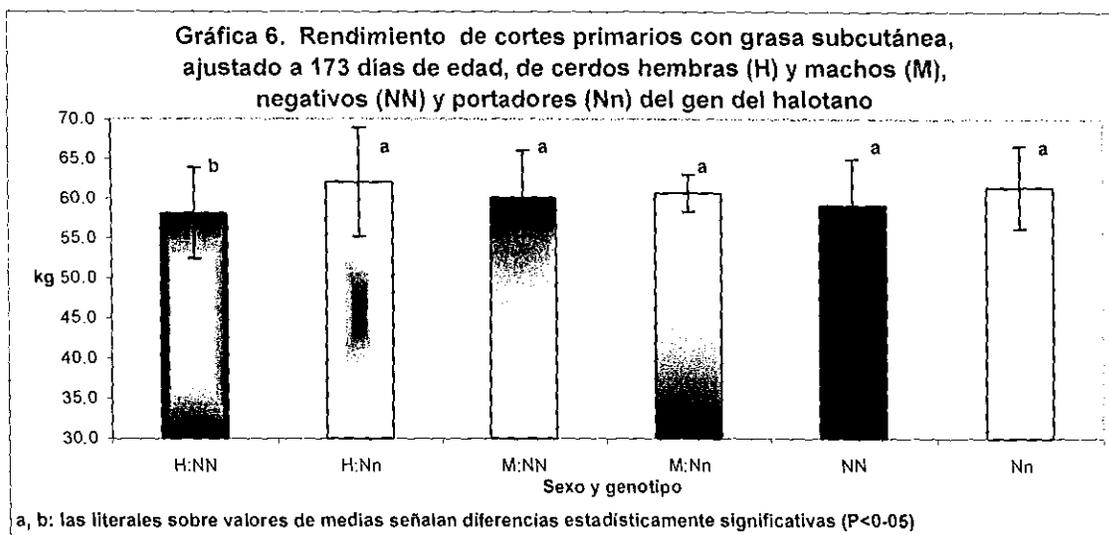
En el Cuadro 9 y Gráfica 6, se presentan los promedios calculados para el peso total (expresados en por ciento), incluyendo grasa subcutánea, de los cortes primarios de la canal. Se observa un efecto positivo del gen del halotano para este parámetro, cuando se observa una diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$) entre los valores obtenidos por hembras negativas (NN) contra los de hembras portadoras (Nn), donde las primeras alcanzan un peso porcentual de 58.139 y las otras de 62.070. Consecuente con esta observación, los machos negativos (NN) tuvieron en promedio 60.087 de peso en cortes primarios, cuando el valor logrado por los machos portadores (Nn) fue de 60.675, aunque esta diferencia no fue significativa. Tampoco fue significativa la ventaja que se aprecia en el valor (61.406) del conjunto de animales portadores (Nn) para el gen del halotano, sobre el valor (59.113) que se obtuvo para el conjunto de animales negativos (NN). Mas aun, nótese que la menor desviación estándar (2.339) y coeficiente de variación (3.855) para este parámetro correspondió al grupo de machos portadores (Nn).

Cuadro 9. Rendimiento de cortes primarios con grasa subcutánea, ajustado a 173 días de edad, de cerdos negativos (NN) y portadores (Nn) del gen del halotano

Grupo	Media (%)	Desviación estándar	Error de la media	Coefficiente de variación	n
Hembras NN	58.139 ^b	5.756	1.459	9.900	11
Hembras Nn	62.070 ^a	6.869	1.459	11.067	11
Machos NN	60.087 ^a	5.974	1.459	9.942	11
Machos Nn	60.675 ^a	2.339	1.530	3.855	10
Conjunto NN	59.113 ^a	5.866	1.031	9.923	22
Conjunto Nn	61.406 ^a	5.227	1.056	8.512	21

a, b: las literales sobre valores de medias señalan diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$)

En contraste con las observaciones del parámetro peso promedio de cortes primarios con grasa subcutánea (Cuadro 9), en el Cuadro 10 y Gráfica 7 se aprecia una ventaja significativa ($P < 0.05$) del valor promedio para el peso de cortes primarios sin grasa subcutánea, entre los grupos de animales hembras negativas (NN) contra hembras portadoras (Nn), aquí fue inferior el valor de las hembras homocigóticas (39.039) que el de las hembras heterocigóticas (41.706). También hubo una diferencia pero no a favor del grupo machos homocigóticos, cuando se comparan los valores de 38.824 contra 41.218 correspondiente al grupo de machos heterocigotos, siendo esta diferencia significativa ($P < 0.05$). El conjunto de animales para cada genotipo muestra un valor inferior en los pesos promedio de cortes primarios sin grasa subcutánea, para el conjunto de cerdos con el genotipo homocigótico (NN), que el total de animales heterocigóticos (Nn), 38.932 contra 41.473, respectivamente, siendo también esta diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$).

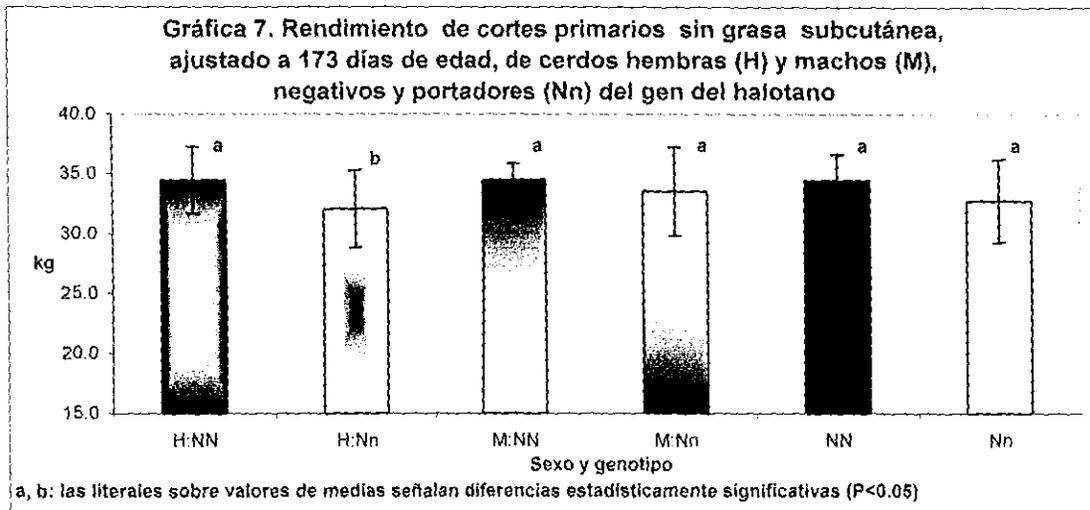


Por otra parte, las medidas de grasa subcutánea después del peso de cortes primarios, muestra que los animales negativos (NN) tuvieron mayor producción (20.181) que el total de cerdos portadores (Nn), quienes en promedio llegaron a producir 19.457 de dicho tejido (Cuadro 11 y Gráfica 8). Cuando se considera el sexo de los animales, se observó que las hembras negativas para el gen del halotano son ligeramente inferiores para este parámetro que las hembras portadoras (Nn), 19.100 contra 20.364, respectivamente. Mientras que los machos negativos (NN) produjeron más cantidad de grasa (21.263) que los machos portadores (Nn), los cuales en promedio lograron 19.457, no siendo esta diferencia estadísticamente significativa.

Cuadro 10. Rendimiento de cortes primarios sin grasa subcutánea, ajustado a 173 días de edad, de cerdos negativos (NN) y portadores (Nn) del gen del halotano

Grupo	Media (%)	Desviación estándar	Error de la media	Coefficiente de variación	n
Hembras NN	39.039 ^b	4.423	1.348	11.330	11
Hembras Nn	41.706 ^a	6.219	1.348	14.913	11
Machos NN	38.824 ^b	4.544	1.348	11.704	11
Machos Nn	41.218 ^a	3.187	1.414	7.733	10
Conjunto NN	38.932 ^b	4.484	0.953	11.517	22
Conjunto Nn	41.473 ^a	5.010	0.976	12.080	21

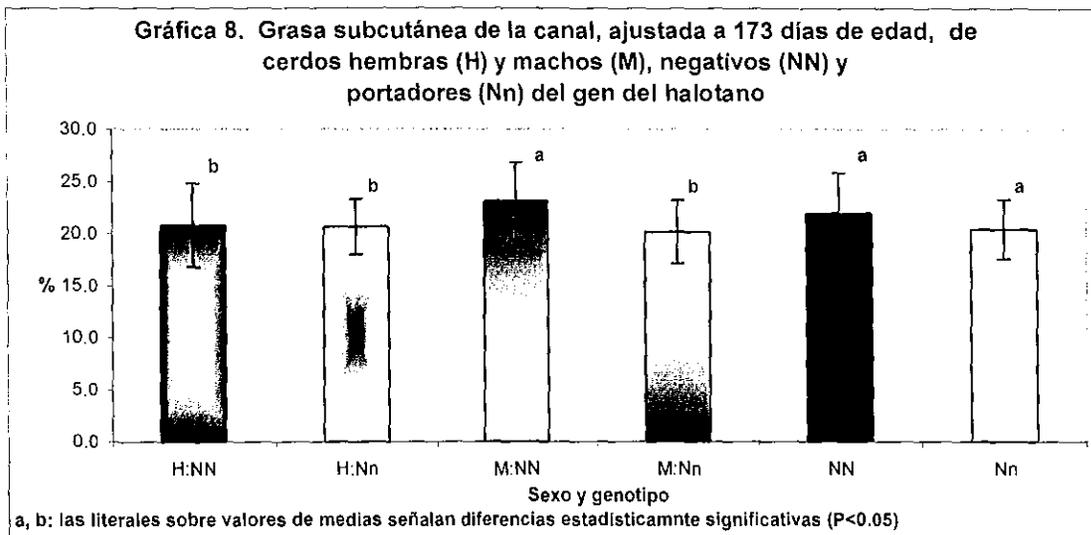
a, b: las literales sobre valores de medias señalan diferencias estadísticamente significativas (P<0.05)



Cuadro 11. Porcentaje de grasa subcutánea de cortes primarios, ajustado a 173 días de edad, de cerdos negativos (NN) y portadores (Nn) del gen del halotano

Grupo	Media (%)	Desviación estándar	Error de la media	Coefficiente de variación	n
Hembras NN	19.100 ^a	4.042	0.938	21.164	11
Hembras Nn	20.364 ^a	2.727	0.938	13.390	11
Machos NN	21.263 ^a	2.916	0.938	13.715	11
Machos Nn	19.457 ^a	3.206	0.984	16.479	10
Conjunto NN	20.181 ^a	3.525	0.664	17.464	22
Conjunto Nn	19.932 ^a	2.965	0.679	14.875	21

a: las literales sobre valores de medias señalan diferencias estadísticamente significativas (P<0.05)

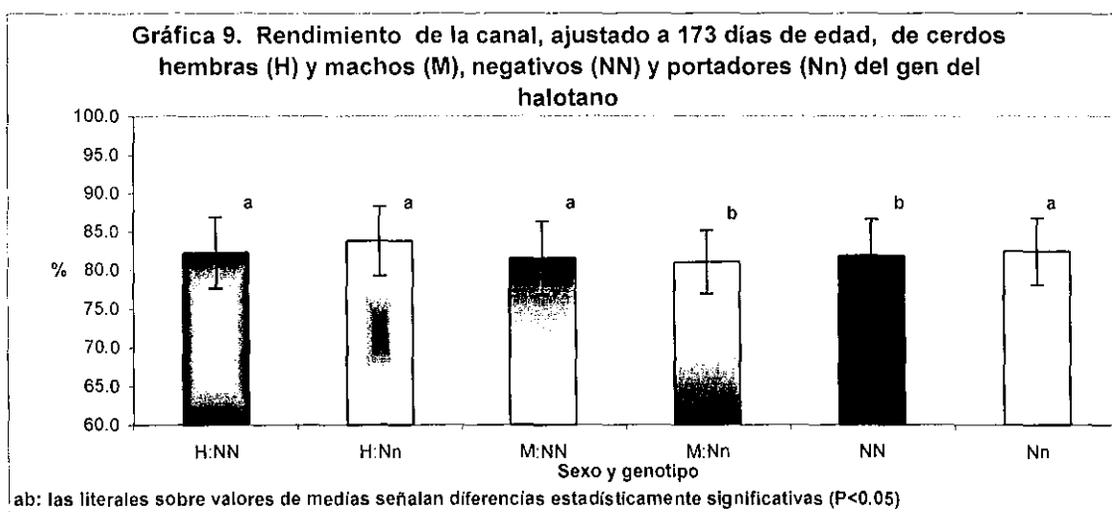


En el Cuadro 12 se presentan los valores de rendimiento de la canal de acuerdo al sexo y genotipo de los animales, donde se nota una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre los rendimientos que alcanzan en conjunto animales negativos (NN), comparando con el conjunto de animales portadores (Nn) del gen del halotano, 81.887% contra 82.449%, respectivamente. Esta superioridad del genotipo heterocigoto también se observa al comparar el rendimiento promedio de hembras negativas (NN) contra hembras portadoras (Nn), siendo estos de 82.228% y 83.776%, respectivamente, aunque esta diferencia no fue estadísticamente significativa. Contrario a esta observación, fue el hecho de encontrarse un rendimiento del 81.545% en animales machos negativos (NN), mientras que el grupo de machos portadores (Nn) logra un valor promedio de 80.990%, siendo esta diferencia estadísticamente significativa ($P < 0.05$). Sin embargo, cuando se comparó el rendimiento (81.545%) de los animales machos negativos (NN) contra el rendimiento (83.776%) de hembras portadoras (Nn) no fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 12 y Gráfica 9).

Cuadro 12. Rendimiento de la canal, ajustado a 173 días de edad, de cerdos negativos (NN) y portadores (Nn) del gen del halotano

Grupo	Media (%)	Desviación estándar	Error de la media	Coefficiente de variación	n
Hembras NN	82.228 ^a	4.648	1.323	5.653	11
Hembras Nn	83.776 ^a	4.540	1.323	5.419	11
Machos NN	81.545 ^a	4.793	1.323	5.877	11
Machos Nn	80.990 ^b	4.118	1.388	5.085	10
Conjunto NN	81.887 ^b	4.721	0.936	5.765	22
Conjunto Nn	82.449 ^a	4.344	0.958	5.269	21

a, b: las literales sobre valores de medias señalan diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$)

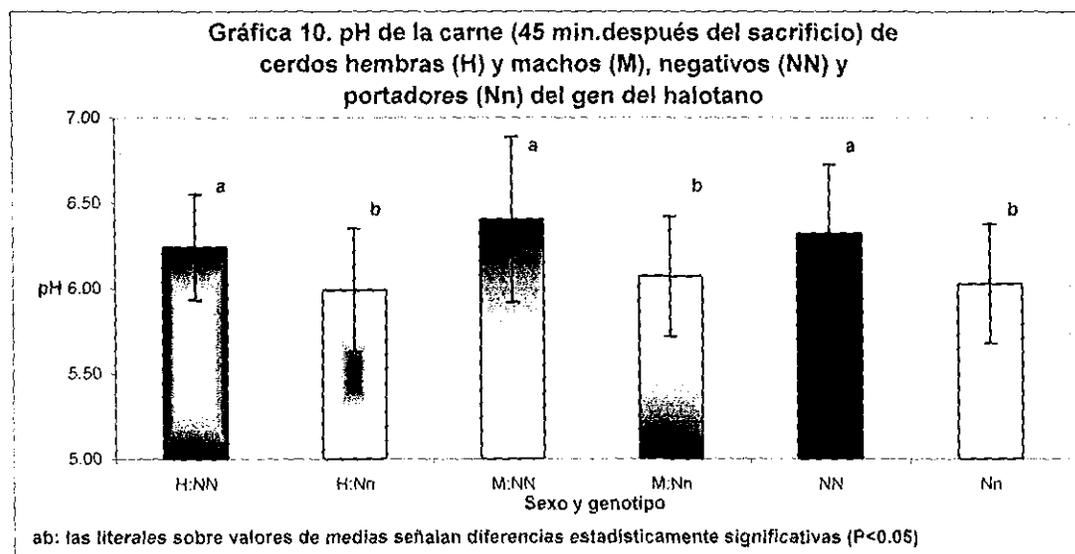


Con respecto a las características tecnológicas de la carne estudiadas, se observó un claro efecto negativo del gen del halotano sobre el grado de pH (Cuadro 13 y Gráfica 10). La media para este indicador de calidad de la carne fue de 6.243 en el grupo de hembras negativas (NN), que resultó estadísticamente diferente ($P < 0.05$) al pH de 5.990 correspondiente al grupo de hembras portadoras del gen (Nn). De manera similar se observó una diferencia significativa ($P < 0.05$) al comparar los valores promedio de pH entre los grupos de animales machos negativos (NN) y machos portadores (Nn) del gen del halotano, pH 6.404 y pH 6.071 para cada grupo, respectivamente. Consistentemente se observa una diferencia significativa ($P < 0.05$) al contrastar las medias de pH para el total de animales homocigotos (pH 6.323) contra el conjunto de animales heterocigotos (pH 6.029).

Cuadro 13. pH de la carne de cerdos negativos (NN) y portadores (Nn) del gen del halotano

Grupo	Media	Desviación estándar	Error de la media	Coefficiente de variación	n
Hembras NN	6.243 ^a	0.310	0.028	4.958	11
Hembras Nn	5.990 ^b	0.361	0.033	6.019	11
Machos NN	6.404 ^a	0.484	0.044	7.561	11
Machos Nn	6.071 ^b	0.351	0.035	5.782	10
Conjunto NN	6.323 ^a	0.405	0.018	6.405	22
Conjunto Nn	6.029 ^b	0.350	0.017	5.797	21

a, b: las literales sobre valores de medias señalan diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$)

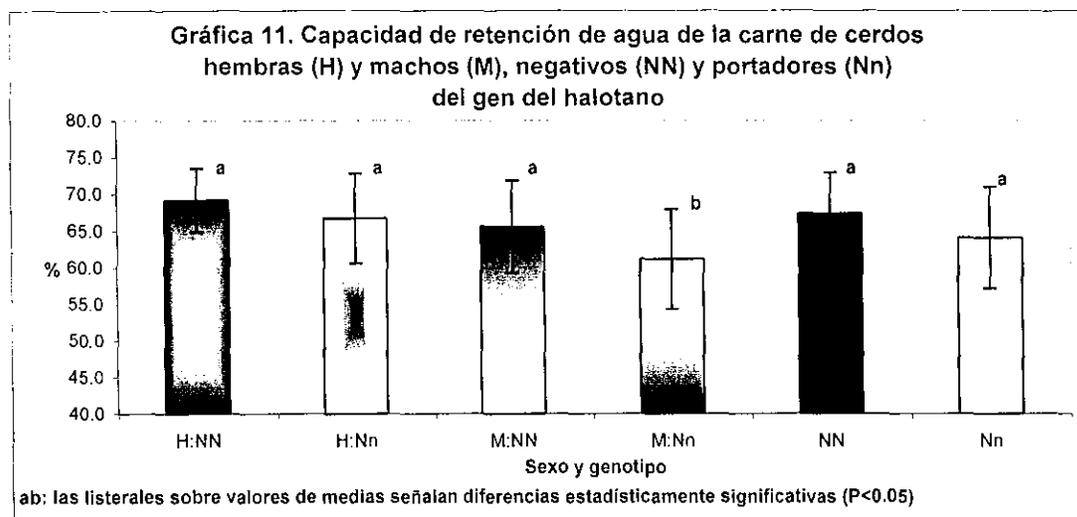


Las diferencias entre grupos para el índice capacidad de retención de agua se presentan en el Cuadro 14 y Gráfica 11. Para esta característica tecnológica de la carne, solamente se observó una diferencia significativa ($P < 0.05$) entre la media (65.542%) correspondiente al grupo machos negativos (NN) y el valor (61.142%) que mostró el grupo machos portadores (Nn). Esta disminución en la capacidad de retener agua por la carne de animales heterocigotos, también se notó en el caso de hembras (66.698%) ya que su contraparte, hembras negativas (NN) mostraron una media de 69.129% para dicho índice, sin embargo, esta diferencia no fue significativa. El conjunto de cerdos negativos (NN) mostró una media de 67.356%, mientras que el índice de retención de agua de la carne en el total de animales portadores (Nn) resultó en un 64.052%, siendo esta diferencia no significativa.

Cuadro 14. Capacidad de retención de agua de carne de cerdos negativos (NN) y portadores (Nn) del gen del halotano

Grupo	Media (%)	Desviación estándar	Error de la media	Coefficiente de variación	n
Hembras NN	69.169 ^a	4.339	0.394	6.273	11
Hembras Nn	66.698 ^a	6.101	0.555	9.147	11
Machos NN	65.542 ^a	6.272	0.570	9.569	11
Machos Nn	61.142 ^b	6.783	0.678	11.094	10
Conjunto NN	67.356 ^a	5.581	0.254	8.285	22
Conjunto Nn	64.052 ^a	6.885	0.328	10.749	21

a, b: las literales sobre valores de medias señalan diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$)

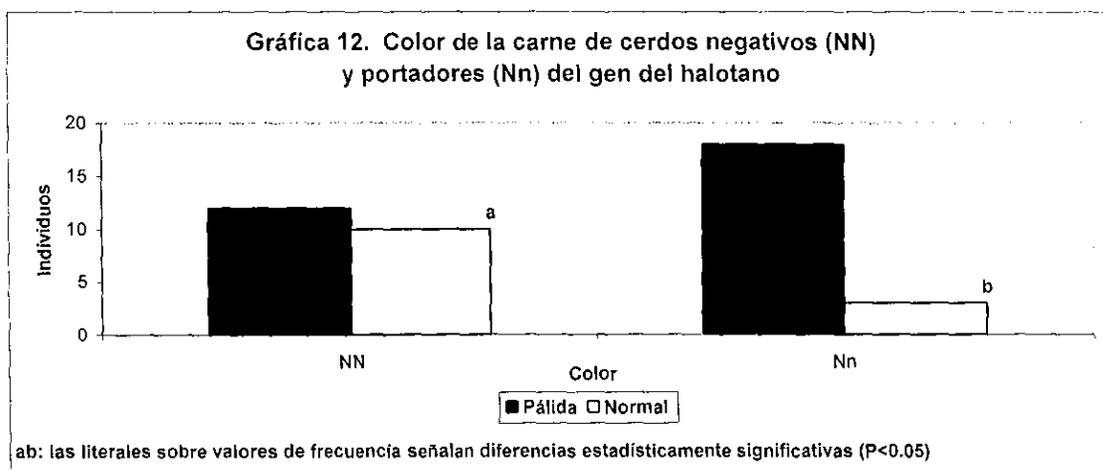


Por otra parte, para el análisis de resultados obtenidos en la clasificación subjetiva de la carne de acuerdo a su color, se consideraron dos categorías; la presentación de carne color normal (rojo-rosácea), y carne deficiente en color (pálida). Las frecuencias de estas clases de color según los genotipos de los animales (negativos, NN : portadores, Nn) se compararon a través de una tabla de contingencia (Box, et. al., 1978), Los resultados se presentan en el cuadro 15 y la gráfica 12. Se encontró una clara tendencia a presentarse carne pálida asociada al genotipo heterocigótico (Nn) para el gen del halotano, siendo este efecto estadísticamente significativo ($P < 0.05$). De esta manera, se podría afirmar que el 85.71% de los cerdos portadores (Nn) manifestó efectos de la expresión (penetrancia) del gen.

Cuadro 15. Frecuencias del color de la carne de cerdos negativos (NN) y portadores (Nn) del gen del halotano

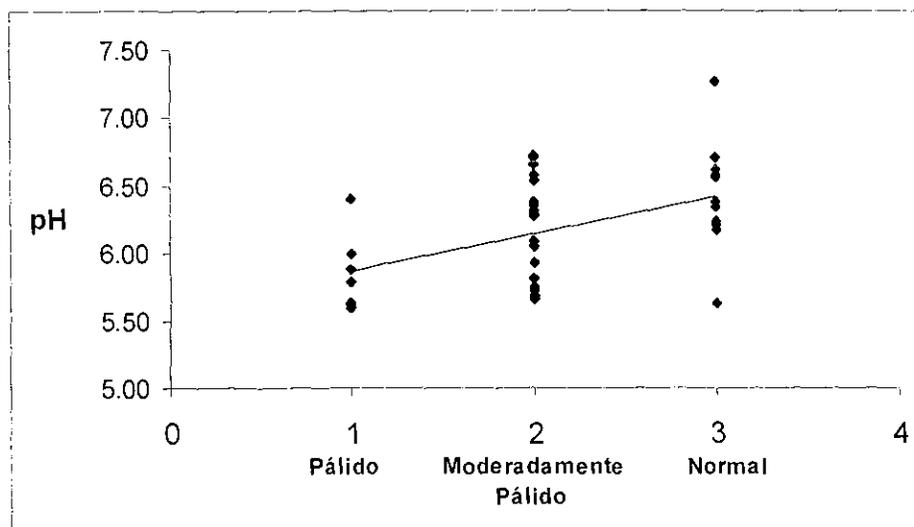
Grupo	Pálida	Normal	Proporción de carne normal	Desviación estándar	Error de la proporción	n
Conjunto NN	12	10	0.4545 ^a	0.498	0.10616	22
Conjunto Nn	18	3	0.1428 ^b	0.350	0.07635	21

a, b: las literales sobre valores de frecuencia señalan diferencias estadísticamente significativas (P<0.05)



El efecto negativo del gen del halotano sobre el color de la carne, también se apreció indirectamente (Gráfica 13), al relacionar el grado de acidez (pH) con la graduación de color; a valores menores de pH correspondió un descenso en la pigmentación de la carne ($r = 0.4595$; $P < 0.05$). Dicho de otra manera, la carne ácida tendió a ser moderadamente pálida o francamente pálida.

Gráfica 13. Correlación entre grado de acidez (pH) y color de la carne de cerdo



Con respecto al análisis de correlación entre las diferentes características y/o parámetros de calidad de la canal estudiados, se presentan en los cuadros 16 y 17 los valores (r) que tuvieron significancia estadística ($P < 0.05$), la matriz completa de correlación se puede ver en el anexo D. Una alta correlación se observó entre los valores de peso vivo del animal y peso de la canal ($r = 0.8159$), así como para el largo de la canal ($r = 0.6415$). Como era de esperarse existió también, una correlación significativa de la característica peso de la canal con: rendimiento de canal ($r = 0.5881$), largo de canal ($r = 0.5025$), grasa dorsal ($r = 0.4151$), el porcentaje de cortes primarios con grasa ($r = 0.6066$) y sin grasa ($r = 0.3872$), y además una alta correlación ($r = 0.5677$) con el corte denominado espalda (Cuadro 16). El parámetro rendimiento de la canal mostró una obvia correlación con los rendimientos en cortes primarios, con grasa ($r = 0.5770$) y sin grasa ($r = 0.3567$), asimismo, con los valores de grasa dorsal ($r = 0.3060$). Las mediciones de largo de la canal se correlacionaron significativamente ($r = 0.4357$) con las correspondientes al corte de espalda. Mientras que los valores de grasa dorsal se correlacionaron tanto con el área del ojo de la chuleta ($r = -0.3627$), como con el porcentaje de cortes primarios sin grasa ($r = -0.5569$). También, el área del ojo de la chuleta se correlacionó ($r = 0.3741$) con el rendimiento en cortes primarios sin grasa, y adicionalmente se correlacionó ($r = 0.3050$) con las mediciones del corte definido como espalda. Una alta correlación ($r = 0.5771$) se encontró entre el parámetro porciento de cortes primarios con grasa y porciento de cortes primarios sin grasa (Cuadro 16).

Cuadro 16. Valores significativos de correlación (r)* entre parámetros de calidad de la canal de cerdos para abasto

Parámetros	Edad	Peso vivo	Peso ajustado	Peso de la canal	Rendimiento de la canal	Largo de la canal	Grasa dorsal	Area ojo de la chuleta	Cortes primarios c/grasa (%)
Peso ajustado	-0.7349	0.7030							
Peso de la canal		0.8159	0.6959						
Rendimiento de la canal	-0.3396			0.5881					
Largo canal		0.6415	0.4723	0.5025					
Grasa dorsal		0.3019	0.3364	0.4151	0.3060				
Area ojo de la chuleta							-0.3627		
Cortes primarios con grasa (%)				0.6066	0.5770				
Cortes primarios sin grasa (%)				0.3872	0.3567		-0.5569	0.3741	0.5771
Espalda	-0.3518	0.4806	0.5765	0.5677	0.3385	0.4357		0.3050	

* los valores en el cuadro son estadísticamente significativos ($P < 0.05$), para más información ver anexo.

Por otra parte, una obvia correlación significativa se observó para el parámetro peso vivo cuando se consideraron las medidas individuales de cada corte primario, a excepción del corte primario pierna sin grasa (Cuadro 17). De manera similar, el peso de la canal se correlacionó significativamente con todos los cortes primarios individuales, pero no con los cortes pierna sin grasa y lomo sin grasa. Asimismo, el largo de la canal se correlacionó con todos los cortes

primarios individuales, siendo excepción el corte pierna sin grasa. El parámetro de peso ajustado se correlacionó significativamente con los siguientes cortes primarios: pierna ($r = 0.3545$), panza ($r = 0.4417$), espalda ($r = 0.5765$), lomo ($r = 0.4287$), panza sin grasa ($r = 0.4601$) y espalda sin grasa ($r = 0.3459$). Una esperada correlación se observó entre la grasa dorsal y el porcentaje de grasa subcutánea ($r = 0.4559$), así como para el corte denominado panza ($r = 0.4301$). Pero la grasa dorsal también mostró correlación significativa con los cortes individuales de lomo ($r = 0.4126$) y pierna sin grasa ($r = -0.4034$)

Cuadro 17. Valores significativos de correlación (r)* entre mediciones y/o parámetros de calidad de la canal de cerdos para abasto

Parámetro	Peso vivo	Peso ajustado	Peso de la canal	Rendimiento de la canal	Largo de la canal	Grasa dorsal	Area ojo de la chuleta	Cortes primarios c/grasa (%)	Cortes primarios s/grasa (%)
Grasa subcutánea (%)						0.4559		0.5425	-0.3730
Pierna	0.5737	0.3545	0.5570		0.3368		0.3733	0.4120	
Panza	0.4863	0.4417	0.5785	0.3121	0.3086	0.4301			
Espalda	0.4806	0.5765	0.5677	0.3385	0.4357		0.3050		
Lomo	0.7747	0.4287	0.6421		0.4039	0.4126			
Filete	0.4419		0.3604		0.5021		0.3979		
Pierna sin grasa						-0.4034	0.4904	0.3955	0.6496
Panza sin grasa	0.4902	0.4601	0.4975		0.3157				0.3108
Espalda sin grasa	0.3131	0.3459	0.3312		0.4019		0.3781		0.4087
Lomo sin grasa	0.5351				0.4110			0.3091	0.5113
Parámetro	% grasa subcutánea	Pierna	Panza	Espalda	Lomo	Filete	Pierna sin grasa	Panza sin grasa	Espalda sin grasa
Grasa subcutánea (%)									
Pierna									
Panza	0.3628	0.4206							
Espalda		0.4246	0.3307						
Lomo	0.3329	0.5124	0.5016	0.3016					
Filete		0.5303							
Pierna sin grasa		0.7658				0.6180			
Panza sin grasa		0.4418	0.6653	0.3734		0.3172	0.4407		
Espalda sin grasa		0.4089		0.6760		0.3930	0.5999		
Lomo sin grasa		0.4105			0.6092	0.4254	0.4717		0.3515

* los valores en el cuadro son estadísticamente significativos ($P < 0.05$), para más información ver anexo

Para el área del ojo de la chuleta correspondieron cinco valores de correlación significativos con los siguientes cortes primarios de la canal: pierna ($r = 0.3733$), espalda ($r = 0.3050$), filete ($r = 0.3979$), pierna sin grasa ($r = 0.4904$) y con espalda sin grasa ($r = 0.3781$). El porcentaje de cortes primarios con grasa mostró correlación ($r = 0.5425$) con el porcentaje de grasa subcutánea, el corte de pierna ($r = 0.4120$), pierna sin grasa ($r = 0.3955$) y lomo sin grasa ($r = 0.3091$). Así también, el

porcentaje de cortes primarios sin grasa se correlacionó ($r = -0.3730$) con el porcentaje de grasa subcutánea, los cortes pierna sin grasa ($r = 0.6496$), panaza sin grasa ($r = 0.3108$), espalda sin grasa ($r = 0.4087$) y lomo sin grasa ($r = 0.5113$). Mientras que el porcentaje de grasa subcutánea obtuvo correlación significativa con el corte de panza ($r = 0.3628$) y lomo ($r = 0.3329$).

La pierna como corte primario esencial de la canal en cerdos, mostró altos valores de correlación, cuando se correlacionó a las medidas individuales para el resto de los cortes primarios (Cuadro 17). Resaltan sus valores de correlación con el corte de filete ($r = 0.5303$) y de lomo ($r = 0.5124$), seguido de su correlación con el corte panza sin grasa ($r = 0.4418$), espalda ($r = 0.4246$), panza ($r = 0.4206$), espalda sin grasa ($r = 0.4089$) y lomo sin grasa ($r = 0.4105$). Es obvia la mayor correlación ($r = 0.7658$) observada entre este corte (pierna) y el mismo una vez retirada la grasa subcutánea. El corte de la panza se correlacionó con el corte de lomo ($r = 0.5016$) y espalda ($r = 0.3307$), así como con su valor después de retirarle la grasa ($r = 0.6653$). De manera similar el corte de espalda con grasa y espalda sin grasa se correlacionaron significativamente ($r = 0.6760$), aunque la espalda también se correlacionó con el corte de panza sin grasa ($r = 0.3734$) y de lomo ($r = 0.3016$). Por otra parte, el corte de lomo, solamente mostró correlación con su propio valor pero sin grasa ($r = 0.6092$).

Para el corte primario llamado filete, se encontraron cuatro correlaciones significativas; con el corte de la pierna sin grasa ($r = 0.6080$), el del lomo sin grasa ($r = 0.4254$), la espalda sin grasa ($r = 0.3930$) y el de la panza sin grasa ($r = 0.3172$). El corte de la pierna sin grasa subcutánea se correlacionó con el corte sin grasa de la espalda ($r = 0.5999$), lomo sin grasa ($r = 0.4717$) y panza sin grasa ($r = 0.4407$). Mientras que el corte de la panza sin grasa subcutánea, solamente se correlacionó a el corte sin grasa subcutánea de la espalda ($r = 0.4313$) También, el corte sin grasa subcutánea de la espalda, solamente mostró correlación con el corte sin grasa subcutánea del lomo ($r = 0.3515$).

DISCUSION

En la industria de la carne se tiene la necesidad de abastecerse de un producto primario (carne) de calidad homogénea. El primer criterio que debe homogenizarse entonces es el peso de las canales y de sus piezas. Tal como otros criterios de calidad de la canal, el rendimiento al sacrificio presenta altos valores (>0.40) de heredabilidad (Smith y Ross, 1965). En estudios realizados por Oliver et al., (1993) demuestran un efecto de la raza y el cruzamiento sobre el rendimiento de la canal, siendo de mejores rendimiento los cruzamientos entre razas Duroc X Large White (81%) y Landrace X Large White (80.4%).

En general no se observa una diferencia significativa entre sexos en el rendimiento de la canal en la especie porcina (Diestre et al., 1993). Sin embargo, se ha argumentado que el sexo ejerce un marcado efecto en la composición corporal. Los machos enteros tienen una menor adiposidad y un mayor contenido muscular que las hembras y que los machos castrados (Squires et al., 1993). El porcentaje de carne magra de la canal el cual se estima a partir de medidas de espesor de grasa sobre el lomo y la profundidad de este músculo, siendo considerablemente heredable (<0.52), se usan como criterios para clasificar canales porcinas, lo que ha conducido en disponer actualmente de líneas genéticas, que dan canales menos engrasadas y con mayor índice de rendimiento. En un estudio con cerdos de raza pura se observó un menor engrasamiento dorsal y mayor profundidad de lomo en las líneas Pietrain (12.6mm y 61.8mm, respectivamente) y Landrace Belga (15.2mm y 62mm, respectivamente) que representa un mayor porcentaje de magrez (59.2% para Pietrain y 55.3% para Landrace Belga). La línea Landrace presentó un porcentaje de magrez intermedio (49.8%) y las líneas Duroc (46.9%) y Large White (48.2%) son las más engrasadas (Oliver et al., 1993).

En lo referente a características de la canal, en el presente estudio, se observó que cerdos heterocigotos presentan mayor rendimiento ($P<0.05$) que cerdos negativos, este efecto del gen del halotano, ha sido observado en estudios previos (Zhang, et al., 1992; Leach, et al., 1996) que mostraron diferencias significativas importantes para esta característica. Los animales portadores del gen presentaron canales más cortas ($P<0.05$). Para este rasgo podría también mencionarse que no hubo efecto de sexo sobre diferencias entre hembras y machos negativos, sin embargo, hembras portadoras presentaron menor longitud de canal ($P<0.05$) que machos del mismo genotipo; lo cual es consistente con otros reportes (Leach, et al., 1996; Fortin, 1980). Estudios efectuados por Cisneros, et al. (1996), tampoco reportaron diferencias en este rasgo debidas a efectos del genotipo y sexo de los cerdos. En el presente estudio, para valores de grasa dorsal existió tendencia limitada favorablemente para canales de animales portadores; comparaciones que involucran los tres genotipos sugieren que animales positivos presentan canales más cortas, con mayor área de ojo de chuleta, pero con similar grasa dorsal, comparadas con los otros dos

genotipos (NN; Nn), mientras que animales portadores tienden a ser intermedios para valores de longitud de la canal y mediciones de área del ojo de chuleta (Jones, et al., 1988; Simpson y Webb, 1989).

Únicamente para cerdas hembras negativas existieron diferencias significativas ($P < 0.05$), en lo referente al parámetro rendimiento en cortes primarios con grasa. Sin embargo, animales heterocigotos (Nn) tuvieron mejores porcentajes en cortes primarios sin grasa ($P < 0.05$). Resultados similares se reportan por Leach et al., (1996); en contraste, Cisneros et al., (1996) reportó pequeñas diferencias entre sexos y genotipos, con referencia al peso y porcentaje de cortes primarios desgrasados.

Los rasgos tecnológicos son de gran importancia en la producción de carne fresca y también en carnes destinadas a procesamiento, así la carne con alta capacidad de retención de agua y color aceptable es la preferida. Estos rasgos son influenciados por el pH, si los valores de pH son cercanos al punto isoeléctrico del complejo acto-miosina habrá espacios intersticiales pequeños entre los miofilamentos, generando valores altos de reflectancia y carne con baja capacidad para retener agua (Offer et al., 1989). Mediciones musculares de pH a una hora y 24 horas después de sacrificio (pH_1 y pH_2 , respectivamente) pueden ser usadas como indicadores de calidad de la carne (Sellier, 1988). En la práctica valores bajos de pH_1 pueden ser utilizados para identificar carne PSE; mientras que valores altos de pH_2 se usan para identificar carne oscura firme y seca (Scheper, 1979). Sin embargo, Malmforms et al., (1980) y Lundstrom (1975), no incluyeron pH muscular en los criterios de selección de mejoramiento genético de calidad y cantidad de la carne, ello obedece a factores de heredabilidad baja para pH muscular de 0.20 (Cameron, 1990). Cabe agregar que numerosos estudios han encontrado en cerdos portadores valores bajos de pH a los 45 minutos posmortem en el *M. longissimus* comparados con animales negativos (Jensen y Barton-Gade, 1985; Sather et al., 1991b; Murray y Jones, 1992; Leach et al., 1996). En contraste Klont et al., (1993, 1994) no encontraron diferencias significativas entre cerdos portadores y negativos. En el presente estudio se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) entre genotipos en relación al pH de la carne a los 45 minutos, esto independientemente del sexo del animal.

La alta incidencia de carne pálida, suave y exudativa en cerdos portadores observada en este estudio comparada con cerdos negativos, es consistente con las observaciones efectuadas por Leach et al., (1996), en la cual se observaron diferencias significativas entre genotipos para características de pH a los 45 min, pH a las 24 horas, color, porcentaje de pérdida por goteo; sin embargo, no reportó diferencias significativas entre sexos para las características mencionadas. Sather et al., (1991a) reportaron interacción para calidad de la carne entre genotipo halotano por peso al sacrificio; animales portadores presentaron calidad de la carne semejante a animales negativos a pesos de sacrificio livianos (80 kg), pero fue más semejante a cerdos positivos con

pesos altos (130 kg) al sacrificio (Leach et al., 1996). En la misma perspectiva, Cisneros (1996), reportó que cerdos pesados (127 kg) pueden ser más propensos a desarrollar la condición PSE. El desarrollo de PSE normalmente está asociado con un rápido descenso en el pH muscular inmediatamente después del sacrificio. Por otro lado la presentación de PSE temperatura-dependiente también podría presentarse con una elevada temperatura muscular (Cisneros, 1996). Webb, et al., (1986) encontraron que la condición del gen parece ser enormemente aditiva para calidad de la carne y susceptibilidad al estrés, dando al heterocigoto (Nn) tiene ventaja sobre el homocigoto normal (NN). Si consideramos la proporción (54.54%) de carne PSE en animales negativos (NN), podría argumentarse que al menos el 31.17% de la carne con características PSE en el grupo de animales portadores (Nn) se debió a la presencia del gen, no obstante, la penetrancia actual del gen en dicho grupo fue del 85.71%.

Como se esperaba, el peso vivo al sacrificio tuvo correlación favorable con incremento de cortes primarios individuales, así como con el largo de la canal y grasa dorsal. Similar tendencia se apreció en la correlación entre peso de la canal y cortes primarios con grasa y cortes primarios sin grasa y cortes primarios individuales; lo que puede explicarse debido a las formas de selección, las cuales han contribuido a desarrollar razas de rápido crecimiento y con altos rendimientos en cortes.

La alta correlación entre largo de canal, espalda, lomo y filete demuestran la tendencia a desarrollar líneas genéticas las cuales involucren calidad expresada en aumento del tamaño y distribución individual de músculos comercialmente valiosos (Enfält, 1997).

Un rasgo importante para valores de selección ha sido la demanda de los consumidores de carne magra, donde los productores han jugado su parte al disminuir la grasa dorsal hasta por 0.5 mm por año durante los últimos diez años en países como Inglaterra (Gracey, 1999). En el presente estudio, la grasa dorsal mostró ligera correlación negativa con área de ojo de chuleta, cortes primarios sin grasa, así como pierna sin grasa, lo que sostiene el uso de líneas de cerdos especializadas con énfasis en la producción de tejido muscular magro, ya que en los tiempos actuales la clasificación de canales de cerdo está ampliamente sostenida en la disminución de grasa dorsal, pero esto podría ser inadecuado para valoraciones de calidad de la carne (Gracey, 1999). Existen antagonismos genéticos entre algunos rasgos de calidad de la carne y composición de la canal, por lo que la selección para carne magra ha sido asociada con la reducción en la calidad de la carne (Kempster et al., 1986). Existen pocos parámetros genéticos para rasgos de calidad de la carne, en general sólo la heredabilidad de la reflectancia a la luz del músculo, pH muscular y contenido de grasa intramuscular se han estimado. Similarmente, existen pocas estimaciones de correlaciones genéticas entre rasgos de la canal y rasgos de calidad de la carne (Cameron et al., 1990).

En lo relativo a la correlación que existió entre el corte llamado pierna y demás cortes primarios demuestra la tendencia que existe en seleccionar líneas comerciales que satisfagan rasgos de calidad de la canal donde prevalecen los hábitos de consumo sobre piezas de la canal ya aceptadas por el consumidor, el jamón (pierna) ha sido la pieza preponderante usada como rasgo mejorado de producción en el cerdo (Cisneros, et al., 1990).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente estudio indican que prevalecieron ligeras diferencias en lo referente a calidad de la canal favorables a animales portadores (Nn), sin embargo, con respecto a calidad de la carne existieron contrastes significativos ($P < 0.05$) que favorecieron a los animales negativos; lo que se infiere como efectos del genotipo para las dos principales características de rasgos de calidad consideradas.

La técnica de PCR para la identificación de las variables alélicas en el locus Hal, resultó ser altamente confiable para la clasificación de animales portadores (Nn) y negativos (NN).

Los parámetros de calidad de la canal, rendimiento en cortes primarios, magrez y longitud de la canal, fueron ligeramente afectados por el genotipo para el gen del halotano, ya que las canales de cerdos heterocigotos mostraron una tendencia a tener mejores parámetros, no así para el peso que resultó ser mejor en canales de animales negativos al gen del halotano.

La calidad tecnológica de la carne se observó claramente afectada por el genotipo halotano, al resultar en este estudio un porcentaje muy elevado de carne con características pálida, suave y exudativa para cerdos heterocigotos (Nn).

Existe una alta correlación entre los diferentes parámetros que definen la calidad de la canal, lo cual se cree debido a los programas de selección genética en la producción porcícola al privilegiar rasgos de alto rendimiento.

BIBLOGRAFIA

1. Adams, B. A., Tanabe, T., Mikami, A., Numa, S. and Beam, K. G. (1990). Intramembrane charges movement in dysgenic skeletal muscle by injection of dihydropyridine receptor cDNAs. *Nature* 346, 569-572.
2. Barton-Gade, P. (1987). Meat and fat quality in boars, castrates, and gilts. *Livest. Prod. Sci.* 16:187.
3. Beeler, T. and Gable, K. (1985). Effect of halothane on Ca^{2+} -induced Ca^{2+} release from sarcoplasmic reticulum vesicles isolated from rat skeletal muscle, *Biochim. Biophys. Acta* 821, 142-152.
4. Bendall, J. R., (1973). Postmortem changes in muscle. In: *The structure and Function of Muscle* (ed. G. H. Bourne), 2nd ed., 244-309. New York and London: Academic Press.
5. Box, G. E. P., Hunter, W. G., Hunter, J. S. (1978). *Statistics for experimenters*. New York. Ed. John Wiley & Sons. 100-203.
6. Brandl, C. J., Green, N. M., Korezak, B. And MacLennan, D. H. (1986). Two Ca^{2+} ATPase genes: homologies and mechanistic implications of deduced amino acid sequences. *Cell* 44, 597-607.
7. Brooke, M.H. and Kaiser, K.K. (1970). Muscle fiber types: How many and what kind? *Arch. Neurol.* 23, 369-79.
8. Callaway, C. (1994). Localization of the high and low affinity 3H-Ryanodine binding sites on the skeletal muscle Ca^{++} release channel. *J. Biol. Chem.* 269 (2): 15876-15884.
9. Cameron, N.D. (1990). Genetic and phenotypic parameters for carcass traits, meat and eating quality traits in pigs. *Livestock Prod. Science.* 26:119-135.
10. Carpenter, Z.L., Kauffmann, R.G., Bray,R.W., Briskey, E,J, and Weckel, K.G. (1963). Factors influencing quality in pork. A. Histological observations. *J. Food Sci.* 28, 467-71.
11. Catterall, W. A. (1991). Functional subunit structure of voltage-gated calcium channels. *Science* 253, 1499-500.
12. Cisneros, F., M. Ellis, F.K. McKeith, J. McCaw, and Fernando. (1996). Influence of slaughter weight on growth and carcass characteristics, commercial cutting and curing yields, and meat quality of barrows and gilts from two genotypes. *J. Anim. Sci.* 74:925.
13. Cundiff, L.V. (1987). *Proc. Beef Improvement Fed. Annu. Conv.* pp 37-49.
14. Davies, W., Harbitz, I., Fries, R., Stranzinger, G., Hauge, JG. (1988). Porcine malignant hyperthermia carrier detection and chromosomal assignment using a linked probe. *Animal Genetics*, 19(3):203-12.
15. Diestre, A., Garcia-Macias, J.A., Oliver, M.A., Miguel, A., Esteve, E., Añonso, P., Muñoz, A., Gispert, M. (1993). The effect of slaughter weight and crossbred on pig carcass and meat quality traits. *Proc. of 39th ICMST. Calgary. Canada.*
16. Eikelenboom, G. and Minkema, D. (1974). Prediction of pale, soft, exudative muscle with a non-lethal test for halothane-induced porcine malignant hyperthermia syndrome. *Netherlands J. Vet. Sci.* 99, 421-426.
17. Enfalt Ann-Charlotte (1997). *Pig Meat Quality. Doctoral Thesis Swedish University of Agricultural Sciences.* 9-31
18. Ervasti J.M., Strand M.A., Hanson T.P., Mickelson J.R. and Louis C.F. (1991). Ryanodine receptor in different malignant hyperthermia susceptible porcine muscles. *Am. J. Physiol.* 260, C58-C66.
19. Ervasti, J. M., Claessens, M. T., Mickelson, J. R and Louis, C. F. (1989). Altered transverse tubule dihydropyridine receptor binding in malignant hyperthermia. *J. Biol. Chem.* 264, 2711-2717.
20. Essén, B., and Lindholm, A. (1981). Muscle fiber types and glycogen depletion pattern in halothane-sensitive pigs. In: *Froysten, Slinde, E. and Standal, N. (eds). Porcine Stress and Meat Quality - causes and possible solutions to the problems. Agricultural Food Research Society, As, Norway.* pp. 42-52.
21. Essén, B., Lindholm, A and Persson, S. (1980). The effect of exercise and anabolic steroids on enzyme activities and fiber composition in skeletal muscle of pigs. *Proceedings of the Fifth meeting of the Academic Society for Large Animal Veterinary Medicine, Glasgow, Scotland.*

22. Essén-Gustavsson, B. (1986). Activity- and inactivity-related muscle adaptation in the animal kingdom. In: Saltin, B. (de.), *Biochemistry of Exercise IV. Intl. Series on Sport Medicine. Vol. 16. Human Kinetics Publishers, Campaigne, Illinois*.pp. 435-43.
23. Essén-Gustavsson, B. and Fjelkner-Modig, S. (1985). Skeletal muscle characteristics in different breeds of pigs in relation to sensory properties of meat. *Meat. Sci.* 13, 33-47.
24. Essén-Gustavsson, B., Karlstrom, K. and Lundstrom, K. (1992). Muscle fiber characteristics and metabolic response at slaughter in pigs of different halothane genotypes and their relation to meat quality. *Meat Sci.* 31, pp. 1-11.
25. Essén-Gustavsson, B., Lundstrom, K., Larsson, G., Lindholm, A., Nordin, A-C., Hansson, Y and Tornberg, E. (1988). The Effect during Growth of Moderate Exercise on Muscle Metabolic Characteristics In Vivo and Relation to Quality and Sensory Properties. 34th International Congress of Meat Science and Technology Brisbane, Australia, pp. 27-30.
26. Fill, M., Coronado, R., Mickelson, J. R., Vilven, J., Ma, J., Jacobson, B. A. and Louis, C. F. (1990). Abnormal ryanodine receptor channels in malignant hyperthermia. *Biophys. J.* 50, 471-475.
27. Fortin, A. (1980). The effect of slaughter weight on the carcass characteristics of Yorkshire barrows and gilts. *Can. J. Anim. Sci.* 60:265.
28. Fosfold, E. and Hasselbach, W. (1986). The dependence on internal pH of Ca^{2+} fluxes across sarcoplasmic reticulum vesicular membranes. *Eur. J. Biochem.* 154, 7-14.
29. Fruen, B. R. (1994). Anions potentiate excitation-contraction coupling may mimic effects of phosphate on Ca^{++} release channel. *Am. J. Physiol* 266(6): 1729-1735.
30. Fujii, J., Otsu, K., Zorzato, F., de Leon, S., Khanna, V. K., Weiler, J. E., O'Brien, P. J., and MacLennan, D. H. (1991). Identification of a mutation in porcine Ryanodine receptor associated with malignant hyperthermia. *Science*, 253:448-451.
31. Gahne, B. And Petersson, H. (1988). Eliminera stresskanslighet 80-talet storsta avelsinsats. *Svinskotsel* 78, 18-19.
32. Gracey, J. (1999). *Meat Hygiene. W.B. Saunders, LTD.* 59-64.
33. Gronert, G. A., Heffron, J. J. A. and Taylor, S. R. (1979). Skeletal muscle sarcoplasmic reticulum in porcine malignant hyperthermia. *Eur. J. Pharmacol.* 58, 179-187.
34. Harbitz, I; Chowdhary, B; Thomsen, P; Davies, W; Kaufmann, U; Kran, S; Gustavsson, I; Chistensen, K. And Hauge, J. (1990). Assignment of the porcine calcium-release channel gene, a candidate for the malignant hyperthermia locus, to the 6p11-q21 segment of chromosome 6. *Genomics* 9, 243-248.
35. Hedrick, H.B., Aberle, E.D., Forrest, J.C., Judge, M.D. & Merkel, R.A. (1994). *Principles of meat science. 2nd ed. Iowa, USA: Kendall/Hunt Publishing Company.*
36. Honikel, K.O., Kim, C.-J. (1986). Causes of the development of PSE pork. *Fleischwirtschaft* 66, 349-353.
37. Jensen, M., Essén-Gustavsson, B and Hakkarainen, J. (1988). The effect of a diet with a high or low content of vitamin E on different skeletal muscles and myocardium in pigs. *J. Vet. Med.* A35, 487-97.
38. Jensen, P., and P.A. Barton-Gade. (1985). Performance and carcass characteristics of pigs with known genotypes for halothane susceptibility. In: *Stress susceptibility and meat quality in pigs. Proceedings of the Commission on Animal Management and Health and Commission of Pig Productuin. EAAP. publ. no. 33. p 80. Pudoc, Wageningen, The Netherlands.*
39. Jones, S.D.M., A.C. Murray, A.P. Sather and W.M. Robertson. (1988). Body proportions and carcass composition of pigs with known genotypes for stress susceptibility fasted for different periods of time prior to slaughter, *Can. J. Anim. Sci.* 68:139.
40. Karlsson, A., Essén-Gustavsson, B. and Lundstrom, K. (1992). Muscle Glycogen Depletion Pattern in Longissimus dorsi Muscle of Pigs Fed High- and Low-Protein Diet. 38th International Congress of Meat Science and Technology. Clermont Ferrad, France. 375-8.
41. Kempster, A.J. (1979). Effect of breed improvement on meat quality. *The Inst. of Meat Bull.* 103-12-20.
42. Kempster, A.J., Dilworth, A.W., Evans, D.G. and Fisher, K.D., (1986). The effects of fat thickness and sex on pig meat quality with special reference to the problems associated with overleanness. 1. Butcher and consumer panel results. *Anim. Prod.*, 43: 517-533.

43. Kim, D. H., Sreter, F. A., Ohnishi, S. T., Ryan, J. F., Roberts, J., Allen, P. D., Meszaros, L. G., Antoniu, B. And Ikemoto, N. (1984). Kinetic studies of Ca^{2+} release from sarcoplasmic reticulum of normal and malignant hyperthermia susceptible pig muscles. *Biochim. Biophys. Acta* 775, 320-327.
44. Klont, R. E., E. Lambooy, and J. G. van Logtestijn. (1994). Effect of dantrolene treatment on metabolism and meat quality of anesthetized pigs of different halothane genotypes. *J. Anim. Sci.* 72:2008.
45. Klont, R.E., E. Lambooy, and J.G. van Logtestijn. (1993). Effect of preslaughter anesthesia on muscle metabolism and meat quality of pigs of different halothane genotypes. *J. Anim. Sci.* 71:1477.
46. Klosowska, D. and Klosowski, B. (1985). Histological and histochemical investigation on heterogeneity of muscle in pigs. *Tag-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, (Berlin)* 236, 191-97.
47. Kyselovic. J. (1994). Temporal differences in the induction of dihydropyridine receptor subunits and ryanodine receptors during skeletal muscle development. *J. Bio. Chem.* 269(34): 21770-21777.
48. Langer, G. A. (1992). Calcium and heart: exchange at the tissue, cell, and organelle levels. *FASEB. J.* 6, 893-902.
49. Leach, LM., Ellis, M., Sutton, DS., McKeith, FK. and Wilson, ER. (1996) The growth performance, carcass characteristics, and meat quality of halothane carrier and negative pigs. *J. Anim. Sci.* 74:934-943.
50. Leseigneur-Meynier, A. and Gandemer, G. (1991). Lipid composition of pork muscle in relation to the metabolic type of fibers. *Meat Sci.* 29, 229-41.
51. Louis, C. F., Zualkernan, K., Roghair, T. and Mickelson, J. R. (1992). The effects of volatile anesthetics on calcium regulation by malignant hyperthermia susceptible sarcoplasmic reticulum. *Anaesthesiol.* 265: 1150-1155.
52. Luescher, U., A. Schnieder, and H. Jucker. (1979). Genetics of halothane-sensitivity and change of performance carcass and meat quality traits induced by selection against halothane-sensitivity. *Proc. 30th Annual Meeting of the EAAP, H arrogate. England.* MP2.11.
53. Lundstrom, K., (1975). Genetic parameters estimated on data from Swedish pig progeny testing with special emphasis on meat colour. *Swed. J. Agric. Res.*, 5:209-221.
54. Lundstrom, K., Essén-Gustavsson, B., Rundgren, M., Edfors-Lilja, I., Malmfors, G. (1989). Effect of halothane genotype on muscle metabolism at slaughter and its relationship with meat quality: A within litter comparison. *Meat Sci.* 25, 251-263.
55. Malmfors, B., Eriksson, J. and Lundstrom, K., (1980). Effects of including meat quality in a selection index for pigs. *Acta Agric. Scand.*, 30:405-417.
56. Malmfors, G. (1982). Studies on some factors affecting pig meat quality. *Proceedings 28th European Meeting of Meat Research Workers, Madrid, Spain*, 21-23.
57. Martin, A.H., Fredeen, H.T., L'Hirondelle, P.J. (1975). Muscle temperature, pH and rate of rigor development in relation to quality and quantity characteristics of pig carcasses. *Can. J. Anim. Sci.* 55, 527-532.
58. Martínez, G.A. (1988). *Diseños experimentales*. Ed. Trillas, México: 93-298.
59. Maruyama, K., Clarke, D. M., Fujii, J., Loo, T. W. And Mnan, D. H. (1989). Expression and mutation of Ca^{2+} ATPases of the sarcoplasmic reticulum. *Cell Motility Cytoskeleton* 14, 26-34.
60. Meadus, W.J. (2000). What's new in Swine molecular biology. *Agriculture and Agri-Food Canada, Lacombe Research Center, Lacombe Alberta T 4L 1W1.*
61. Mickelson, J. R., Gallant, E. M., Litterer, L. A., Johnson, K. M., Littreter, L. A., Jacobson, B. A. and Louis, C. F. (1989). Effects of the halothane sensitivity gene on sarcoplasmic reticulum function. *Am. J Physiol.* 257, C787-C794.
62. Mickelson, J. R., Gallant, E. M., Litteter, L. A., Johnoson, K. M., Rempel. W. E. and Louis, C. F. (1988). Abnormal sarcoplasmic reticulum ryanidine receptor in malignant hyperthermia. *J. Biol. Chem.* 263, 9310-9315.
63. Mickelson, J. R., Louis, C. F. (1992). Pork quality: Genetic and metabolic factors. *OECD.* 160-161.

64. Mickelson, J. R., Ross, J. A., Hyslop, R. J., Gallant, E. M. and Louis, C. F. (1987). Skeletal muscle sarcolemma in malignant hyperthermia: evidence for a defect in calcium regulation. *Biochim. Biophys. Acta* 897, 364-376.
65. Milan, D., Jeon, J., Looft, C., Amarger, V., Robic, A., Thelander, M., Rogel-Gaillard, C., Paul, S., Iannuccelli, N., Rask, L., Ronne, H., Lundström, K., Reinsch, N., Gellin, J., Kalm, E., Le Roy, P., Chardon, P. and Andersson L. A mutation in PRKAG3 associated with excess glycogen content in pig skeletal muscle (2000). *Science* 288: 1248-1251.
66. Mitchell, G., Heffron, A.J. (1982). Porcine stress syndromes. *Advances in food research*, 28:167-230.
67. Monin, G., Mejenes-Quijano, A., Talmant, A. and Sellier, P. (1987). Influence of breed and muscle metabolic type on muscle glycolytic potential and meat pH in pigs. *Meat Sci.* 20, 149-58.
68. Murray, A. C., and S.D.M. Jones. (1992). The effect of mixing, fasting and genotype on carcass shrinkage and pork quality. *Int. Congr. Meat Sci. Tech.* 38:205.
69. Nelson, T. E., (1983). Abnormality in calcium release from skeletal sarcoplasmic reticulum of pigs susceptible to malignant hyperthermia *J. Clin. Invest.* 72, 862-870.
70. Newbold, R. P., and Tume, R. K. (1981). Comparison of the effects of added orthophosphate on calcium uptake and release by bovine and rabbit muscle sarcoplasmic reticulum. *J. Food Sci.* 46, 1327-1332.
71. Nicoll, D. A., Longoni, S. and Philipson, K. D. (1990). Molecular cloning and functional expression of the cardiac sarcolemmal Na⁺-Ca²⁺ exchanger. *Science* 250, 562-565.
72. NPPC. (1991). Procedures to evaluate market hogs (3rd De.). National Pork Producers Council, Des Moines, IA.
73. O'Brien, P.J., Klip, A., Britt, B.A., Kalow, B.I. (1986). Malignant hyperthermia susceptibility: biochemical basis for pathogenesis and diagnosis. *Canadian Journal of Veterinary Research*, Jan, 54(1):83-92.
74. Offer, G., Knight, P., Jeacocke, R., Almond, R., Cousins, T., Eley, J., Parsons, N., Sharp, A., Starr, R. and Purslow, P. (1989). The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat products. *Food Microstructure* 8, 151-170.
75. Offer, G., Restall, D. and Trinick, J. (1984). Water-holding PENDING in the Chemistry of Meat (ed. A.J. Baily), 71-86. London: Royal Society of Chemistry.
76. Offer, G. and Knight, P. (1988) The structural basis of water-holding in meat. In: *Developments in Meat Science- 4* (ed. R. Lawrie), 63-172. London and New York: Elsevier Applied Science.
77. Ohnishi, T., Stuart, T., Gronert, G. (1983). Calcium-induced Ca⁺ release from sarcoplasmic reticulum of pigs susceptible to malignant hyperthermia. *FEBS letter* 161:103-107
78. Oksbjerg, N., Blackshaw, A., Henckel, P., Fernandez, J.A. and Agergaard, N. (1990). Alterations in protein accretion and histochemical characteristics of the M. longissimus dorsi in pigs caused by Salbutamol. *Acta Agric. Scand.* 40, 397-401.
79. Olivares, E. (1993). Properties of the ryanodine receptor present in the sarcoplasmic reticulum from lobster skeletal muscle. *Memb. Biochem.* 10 (4): 221-235.
80. Oliver, M.A., Gispert, M., Diestre, A. (1993). The effects of breed and halothane sensitivity on Pig Meat Quality. *Meat Science* 35:105-118.
81. Owawa, Y. (1994). Role of ryanodine receptors. *Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol.* 29 (4): 229-274.
82. Petrov, J. and Tomov, V. (1985). A study on skeletal muscle structure and meat tenderness of pigs raised at different regimens of movement. *Zhivotnovod. Nanki.* 22(1), 63-69.
83. Pommier, S.A., Houde, F., Rousseau, and Y. Savoie. (1992). The effect of the malignant hyperthermia genotype as determined by a restriction endonuclease assay on carcass characteristics of commercial crossbred pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 72:973.
84. Rede, R., Pribisch, V. and Rehelic, S. (1986). Untersuchungen über die Beschaffenheit von Schlachtierkörpern und Fleisch primitiver und hochselektierter Schweinerassen. *Fleischwirtsch.* 66(5), 898-907.
85. Rios, E. and Brum, G. (1987). Involvement of dihydropyridine receptors in excitation-contraction coupling in skeletal muscle. *Nature* 325, 717-720.

86. Rousseau, E., LaDine, J., Liu, Q. Y. And Meissner, G. (1988). Activation of the Ca²⁺ release channel of skeletal muscle sarcoplasmic reticulum by caffeine and related compounds. *Arch. Biochem. Biophys.* 267, 75-86.
87. Salomon, F-V., Gunther, M. und Gruschwitz, F. (1983). Zur Entwicklung von Fasertypenkomposition und Faserdurchmesser im M. longissimus des Hausschweines. *Anat. Anz., Jena* 154, 69-79.
88. Sanchez, C.D. (2000). Tesis de Maestria., Comportamiento Productivo de Líneas genéticas terminales de cerdos con especial referencia al gen del halotano. U de G. CUCBA.
89. Sanchez, J. and Stefani, E. (1978). Inward calcium current in twitch muscle fibers of the frog. *J. Physiol.* 283, 197-209.
90. Sather, A.P., A.C. Murray, S.M. Zawadski and P. Johnson. (1991b). The effect of the halothane gene on pork production and meat quality of pigs reared under commercial conditions. *Can. J. Anim. Sci.* 71:959.
91. Sather, A.P.S.D.M. Jones, A.K.W. Tong, and A.C. Murray. (1991a). Halothane genotype by weight interactions on pig meat quality. *Can. J. Anim. Sci.* 71:645.
92. Scheper, J., (1979). Influence of environmental and genetic factors on meat quality. *Acta Agric. Scand., Suppl.*, 21:20-31.
93. Seewald, M. J., Eichinger, H. M. and Iaizzo, P. A. (1991). Malignant hyperthermia: an altered phospholipid and fatty acid composition in muscle membranes. *Acta Anaesthesiol. Scand.* 35, 380-386.
94. Sellier, P. (1994). The Future Role of Molecular Genetics in the control of Meat Production and Meat Quality. *Meat Science.* 36: 29-44.
95. Sellier, P., (1988). Aspects génétiques des qualités technologiques et organoleptiques de la viande chez le porc. *J. Rech. Porcine France*, 20:227-242.
96. Severini, M., Trevisani, M. and Loschi, A.R. (1991). A Trial for Early prediction of PSE and DFD Pig Meat by Measuring pH and the percentage of PAS-positive Fibers. 37th International Congress of Meat Science and Technology, Kulmbach, Germany, pp. 485-8.
97. Simpson, S.P., and A. J. Webb. (1989). Growth and carcass performance of British Landrace pigs heterozygous at the halothane locus. *Anim. Prod.* 49:503.
98. Smith, C. and Bampton, P. R. (1977). Inheritance of reaction to halothane anaesthesia in pigs. *Genet. Res.* 29, 287-292.
99. Smith, C., Ross, G.J.S. (1965). Genetic parameters of british landrace bacon pigs. *Anim. Prod.* 7:291-301.
100. Solomon, M.B. and West, R.L. (1985). Profile of types in muscles from wild pigs native to the United States. *Meat Sci.* 13, 247-54.
101. Solomon, M.B., Campbell, R.G. and Steele, N.C. (1990). Effect of sex and exogenous porcine somatotropin on longissimus muscle fiber characteristics of growing pigs. *J. Anim. Sci.* 68, 1176-81.
102. Squires, E.J., O. Adeola, L.G. Young y R.R. Hacker. (1993). The growth hormones, B-adrenergic agents and intact males in production : A review. *Can. J. Anim. Sci.* 73:1.
103. Suzuki, A., Kojima, N., Ikeuchi, Y., Ikarashi, S., Moriyama, N., Ishizuka, T. and Tokushige, H. (1991). Carcass composition and meat quality of chinese pure breed and European x Chinese crossbred pigs. *Meat Sci.* 29, 31-41.
104. Szentkuti, L. und Cassens, R.G. (1978). Die Verteilung der Fasertypen Y, IIA und IIB im M. longissimus dorsi und M. semitendinosus von Schweinen verschiedenen Alters. *Dtsch. Tierarztl. Wschr.* 5, 23-7.
105. Szentkuti, L., Niemeyer, B. und Schlegel, O. (1981). Vergleichende Untersuchung von Muskelfasertypen mit der Myosin-ATPase-Reaktion im M. longissimus dorsi von Haus- und Wildschweinen. *Dtsch. tierarztl. Wschr.* 88, 407-11.
106. Touraille, C., Monin, G. and Legault, C. (1989). Eating quality of meat from European x Chinese crossbred pigs. *Meat Sci.* 25, 177-86.
107. Vögeli, P. Kuhne, R., Gerwig, C., Kaufmann, A., Wysshaar, M. and Stranzinger, G. (1988). Prediction of the halothane genotypes with the aid of the S, PHI, HAL,H, PO2, PGD haplotypes of parents and offspring in Swiss Landrace pigs. *Zuchungskunde* 60, 24-37.

108. von Seth, G., Tornberg, E., Moller, B.- M. (1991). The influence of constant rigor temperature and storage time on internal reflectance (FOP) in pork muscle. Proceedings 37th International Congress of Meat Science and Technology, Kulmbach, Germany, 481-484.
109. Walstra, P., Mercus, G.S.M. (1996). Procedure for assessment of the lean meat percentage as a consequence of the new EU, reference dissection method in pig carcass classification. 2-22.
110. Webb, A.J. Carden, A.E., Smith, C. and Imlah, P., (1982). Porcine stress syndrome in pig breeding. Proceedings of the 2nd World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Madrid, Vol. 5, pp. 588-608.
111. Webb, A.J. and Simpson SD (1986). Performance of british landrace pigs selected for high and low incidence of halothane sensitivity. 2. Growth and carcass traits. Anim Prod. 43:492.
112. Webel, D. (1994). Effect of betaine supplementation on growth performance, carcass characteristics, and nitrogen retention of finishing pigs. M.S. Thesis. Univ. of Urbana.
113. Wenger, J und Ender, K. (1990). Mikrostrukturelle Grundlagen des Wachstums von Muskel- und Fettgewebe und die Beziehung zu Fleischansatz und Fleischbeschaffenheit. Fleischwirtsch. 70(3), 337-40.
114. Wicke, M., von Lengerken, G., Fiedler, I., Altmann, M. and Ender, K. (1991). Einfluss der Selektion nach Merkmalen der Muskelstruktur des M. longissimus auf Belastungsempfindlichkeit und Fleischbeschaffenheit beim Schwein. Fleischwirtsch 71(4), 437-42.
115. Wismer-Pedersen, J. (1988). Kod som levnedsmiddel. Copenhagen: DSR Forlag Landbohojskolen.
116. Wood, J.D., Jones, R.C.D., Francombe, M.A. and Whelehan, O.P., (1986). The effects of fat thickness and sex on pig meat quality with special reference to the problems associated with overleanness. 2. Laboratory and trained taste panel results. Anim. Prod., 43: 535-544.
117. Zdedric, S. A. (1994). Development aspects of excitation-contraction coupling of rabbit bladeer smooth muscle. J. Urol. 151(2): 679-681.
118. Zhang, W., Kuhlers, D.L., Rempel, W.E. (1992). Halothane gene and Swine Performance. J. Anim. Sci. 70:1307-1313.

ANEXOS

ANEXO a

Composición de la ración de alimento para pruebas de comportamiento porcícola

	Crecimiento- Desarrollo	Finalización	
		Hembras	Machos
	Kg	kg	kg
Sorgo	711	720	812
Soya	218	215	138
Sebo	21	15	
Premezcla*	50	50	50
Total	1000	1000	1000

*GENPA (México TM)

ANEXO b

Análisis calculado en nutrientes de dietas utilizadas en las raciones de alimento para pruebas de comportamiento porcícola

Análisis Calculado *			
	Crecimiento- Desarrollo	Finalización Machos	Finalización Hembras
EM (mcal/kg)	3.25	3.2	3.2
Proteína cruda (%)	16.5	13.5	16.5
Grasa cruda (%)	4.5	4	3.9
Lisina (%)	0.86	0.6	0.81
Metionina (%)	0.28	0.23	0.24
Ca(%)	0.63	0.5	0.56
P (%)	0.57	0.45	0.49

* Calculado según requerimientos definidos por las tablas de la NRC (E. U.)
EM = Energía metabolizable; Ca = calcio; P = fósforo

ANEXO C

Análisis Estadísticos.

Peso vivo al sacrificio ajustado									
	Sumas de cuadrados y productos								
	G. Libertad	X*X	X*Y	Y*Y	G. Libertad	S. Cuadrados	C. Medios	F calculada	Ftablas (0.05)
Tratamientos	3	867.553277	1.981367135	435.3782849	3				
Error	39	6155.190909	-4034.490348	3852.031875	38	1207.578988	31.77839442		
Total	2	7022.744186	-4032.508981	4287.41016					
Trat+error	41	7022.744186	-4032.508981	4287.41016	40	1971.915212			
Trat. Ajustado					3	764.3362241	254.7787414	8.017357266	2.851741954

Peso ajustado de la canal									
	Sumas de cuadrados y productos								
	G. Libertad	X*X	X*Y	Y*Y	G. Libertad	S. Cuadrados	C. Medios	F calculada	F tablas (0.05)
Tratamientos	3	867.553277	-127.8128254	237.7447707	3				
Error	39	6155.190909	-3895.359421	4111.689622	38	1646.48176	43.32846738		
Total	2	7022.744186	-4023.172247	4349.434393					
Trat+error	41	7022.744186	-4023.172247	4349.434393	40	2044.649469			
Trat. Ajustado					3	398.1677085	132.7225695	3.063172494	2.851741954

Largo de la canal ajustado									
	Sumas de cuadrados y productos								
	G. Libertad	X*X	X*Y	Y*Y	G. Libertad	S. Cuadrados	C. Medios	F calculada	Ftablas (0.05)
Tratamientos	3	867.553277	281.2138478	129.0310254	3				
Error	39	6155.190909	-387.5045455	381.4340909	38	357.0384588	9.395748917		
Total	2	7022.744186	-106.2906977	510.4651163					
Trat+error	41	7022.744186	-106.2906977	510.4651163	40	508.8563844			
Trat. Ajustado					3	151.8179256	50.60597519	5.386050185	2.851741954

Grasa dorsal ajustada									
	Sumas de cuadrados y productos								
	G. Libertad	X*X	X*Y	Y*Y	G. Libertad	S. Cuadrados	C. Medios	F calculada	Ftablas (0.05)
Tratamientos	3	867.553277	51.74249471	51.92642706	3				
Error	39	6155.190909	-640.6727273	1517.236364	38	1450.550935	38.17239303		
Total	2	7022.744186	-588.9302326	1569.162791					
Trat+error	41	7022.744186	-588.9302326	1569.162791	40	1519.774858			
Trat. Ajustado					3	69.22392267	23.07464089	0.604485049	2.851741954

Ojo de la chuleta ajustada									
Sumas de cuadrados y productos									
	G. Libertad	X*X	X*Y	Y*Y	G. Libertad	S. Cuadrados	C. Medios	F calculada	Ftablas (0.05)
Tratamientos	3	867.553277	16.24118393	56.65266469	3				
Error	39	6155.190909	-150.3490909	1502.266182	38	1498.593696	39.43667622		
Total	2	7022.744186	-134.107907	1558.918847					
Trat+error	41	7022.744186	-134.107907	1558.918847	40	1556.357892			
Trat. Ajustado					3	57.76419532	19.25473177	0.488244285	2.851741954

Cortes primarios con grasa ajustados									
Sumas de cuadrados y productos									
	G. Libertad	X*X	X*Y	Y*Y	G. Libertad	S. Cuadrados	C. Medios	F calculada	Ftablas (0.05)
Tratamientos	3	237.7447707	-17.02995801	59.5243793	3				
Error	39	4111.689622	1147.019273	1209.195089	38	889.2163622	23.40043058		
Total	2	4349.434393	1129.989315	1268.719469					
Trat+error	41	4349.434393	1129.989315	1268.719469	40	975.1466185			
Trat. Ajustado					3	85.93025634	28.64341878	1.224055202	2.851741954

Cortes primarios sin grasa ajustados									
Sumas de cuadrados y productos									
	G. Libertad	X*X	X*Y	Y*Y	G. Libertad	S. Cuadrados	C. Medios	F calculada	Ftablas (0.05)
Tratamientos	3	237.7447707	41.91108877	78.29556158	3				
Error	39	4111.689622	703.8273907	880.3613834	38	759.8822029	19.99690008		
Total	2	4349.434393	745.7384794	958.6569449					
Trat+error	41	4349.434393	745.7384794	958.6569449	40	830.7952899			
Trat. Ajustado					3	70.91308703	23.63769568	1.182068	2.851741954

Grasa subcutanea de cortes primarios									
Sumas de cuadrados y productos									
	G. Libertad	X*X	X*Y	Y*Y	G. Libertad	S. Cuadrados	C. Medios	F calculada	Ftablas (0.05)
Tratamientos	3	237.7447707	-58.94104678	15.23295868	3				
Error	39	4111.689622	443.191882	415.3292443	38	367.5583612	9.672588454		
Total	2	4349.434393	384.2508352	430.562203					
Trat+error	41	4349.434393	384.2508352	430.562203	40	396.6155582			
Trat. Ajustado					3	29.05719699	9.685732329	1.001358879	2.851741954

Rendimiento de la canal ajustado									
	Sumas de cuadrados y productos								
	G. Libertad	X*X	X*Y	Y*Y	G. Libertad	S. Cuadrados	C. Medios	F calculada	Ftablas (0.05)
Tratamientos	3	867.553277	-175.1630483	74.43276958	3				
Error	39	6155.190909	-668.4120666	804.4384307	38	731.8534049	19.25930013		
Total	2	7022.744186	-843.5751148	878.8712003					
Trat+error	41	7022.744186	-843.5751148	878.8712003	40	777.5405871			
Trat. Ajustado					3	45.68718219	15.22906073	0.790738014	2.851741954

ANEXO D

Matriz de correlación.

Parámetro	Edad	Peso vivo	Peso ajustado	Canal	Rendimiento	Largo de canal	Grasa dorsal	Area ojo de chuleta	% cortes primarios con grasa	% cortes primarios sin grasa
Edad	1.0000									
Peso vivo	-0.0348	1.0000								
Peso ajustado.	-0.7349	0.7030	1.0000							
Canal	-0.1958	0.8159	0.6959	1.0000						
Rendimiento	-0.3396	0.0179	0.2598	0.5881	1.0000					
Largo canal	-0.0561	0.6415	0.4723	0.5025	-0.0227	1.0000				
Grasa dorsal	-0.1774	0.3019	0.3364	0.4151	0.3060	-0.0050	1.0000			
Ojo chuleta	-0.0405	0.1613	0.1359	0.0250	-0.1572	0.2157	-0.3627	1.0000		
% cortes p. grasa	0.2139	-0.0175	-0.1711	0.6066	0.5770	0.0116	-0.1030	0.1992	1.0000	
% cortes p. sin grasa	0.0008	-0.0282	-0.0273	0.3872	0.3567	-0.0059	-0.5569	0.3741	0.5771	1.0000
% grasa subc.	0.2421	0.0092	-0.1663	-0.0086	-0.0565	0.0193	0.4559	-0.1585	0.5425	-0.3730
Pierna	0.0410	0.5737	0.3545	0.5570	0.1198	0.3368	0.0365	0.3733	0.4120	0.2500
Panza	-0.1529	0.4863	0.4417	0.5785	0.3121	0.3086	0.4301	-0.0667	0.2244	-0.1048
Espalda	-0.3518	0.4806	0.5765	0.5677	0.3385	0.4357	0.1805	0.3050	0.1179	0.0150
Lomo	0.1354	0.7747	0.4287	0.6421	0.0236	0.4039	0.4126	-0.0945	0.2740	-0.0211
Chico	0.1542	0.4419	0.1887	0.3604	-0.0038	0.5021	-0.1355	0.3979	0.1467	0.2639
Pierna d	-0.0022	0.2748	0.1801	0.2269	-0.0164	0.2365	-0.4034	0.4904	0.3955	0.6496
Panza d	-0.1785	0.4902	0.4601	0.4975	0.1679	0.3157	0.1135	0.0794	0.1208	0.3108
Espalda d	-0.1913	0.3131	0.3459	0.3312	0.1469	0.4019	-0.2963	0.3781	0.1742	0.4087
Lomo d	0.2229	0.5351	0.1967	0.2589	-0.2987	0.4110	-0.2313	0.2577	0.3091	0.5113

Parámetro	% grasa subcutánea	Pierna	Panza	Espalda	Lomo	Chico	Pierna d sin grasa	Panza d sin grasa	Espalda sin grasa	Lomo sin grasa
% grasa subc.	1.0000									
Pierna	0.2109	1.0000								
Panza	0.3628	0.4206	1.0000							
Espalda	0.1186	0.4246	0.3307	1.0000						
Lomo	0.3329	0.5124	0.5016	0.3016	1.0000					
Chico	-0.1048	0.5303	0.1992	0.2772	0.2555	1.0000				
Pierna sin grasa	-0.2188	0.7658	0.1448	0.2728	0.1772	0.6180	1.0000			
Panza sin grasa	-0.1825	0.4418	0.6653	0.3734	0.2980	0.3172	0.4407	1.0000		
Espalda sin grasa	-0.2224	0.4089	0.1677	0.6760	0.1317	0.3930	0.5999	0.4313	1.0000	
Lomo sin grasa	-0.1748	0.4105	-0.0017	0.2151	0.6092	0.4254	0.4717	0.2475	0.3515	1.0000