

INCIDENCIA DE LOS GENES HALOTANO Y RENDIMIENTO NAPOLE Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DE LA CARNE DE CERDO

Incidence of Halothane and Rendement Napole genes and their effect on quality of pork

JA Martínez-Quintana, AD Alarcón-Rojo , JA Ortega-Gutiérrez, H Janacua-Vidales

(JAMQ) (ADAR) (JAOG) Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada km 1. Chihuahua, 31031 Chihuahua, México. aalarcon@uach.mx. (HJV) Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua.

Artículo recibido: 20 de septiembre de 2005, **aceptado:** 20 de abril de 2006

RESUMEN. Los genes Rendimiento Napole (RN) y Halotano (Hal) tienen un efecto negativo en la calidad de la carne de porcinos ya que están asociados con carne de pH y rendimiento bajos. En este estudio se evaluó la incidencia de los genotipos del gen RN y del gen Hal en 212 cerdos así como el efecto de ambos genes sobre la calidad fisicoquímica de la carne fresca. Los cerdos fueron seleccionados al azar de la línea de sacrificio en otoño de 2005; tenían edades y pesos diferentes y no eran de una línea genética específica. La genotipificación se realizó por PCR-RFLP's a partir de sangre. A los 45 min *post mortem* se midió el pH₄₅ en el músculo *semimembranosus*; y el pH₂₄, la pérdida de agua por goteo y el color (L*, a*, b*) a las 24 h *post mortem*. Para el análisis estadístico del efecto del genotipo sobre las características evaluadas, se ajustó un modelo de efectos fijos (genotipo y mes de muestreo) y efectos aleatorios (efecto animal). La incidencia de los genotipos del gen RN fue: 4.72 % de RN⁻/rn*, 6.13 % para RN⁻/rn⁺, 2.36 % para rn*/rn*, 39.62 % para rn⁺/rn* y 47.17 % para rn⁺/rn⁺. La incidencia del gen Hal fue 92.42 % de NN, 7.11 % de Nn y 0.47 % de nn. La carne que portaba el alelo RN⁻ presentó un pH final más bajo y mayor pérdida por goteo que la carne de animales libres de este alelo sin un efecto marcado en el color. La carne de animales Nn presentó un pH₄₅ menor que la carne de los animales libres de la mutación (NN). Se concluyó que existe una incidencia importante de cerdos con el alelo RN⁻ que está relacionado con carne ácida; además, que la presencia del gen Hal está asociado con la incidencia de carne pálida, suave y exudativa.

Palabras clave: Gen rendimiento Napole, gen Halotano, validez de carne, PCR-RFLP's, porcinos.

ABSTRACT. The Rendement Napole (RN) and Halothane (Hal) genes have a detrimental effect on pork quality as they are associated with meat of low pH and low yield. The incidence of the genotype of the Hal and RN genes was evaluated in this study in 212 pigs, as well as the effect of both genes on the physicochemical quality of the fresh meat. Pigs were randomly selected from the slaughter line in Autumn of 2005, with different ages and weights and of no specific genetic line. Genotypification was done by PCR-RFLP's in blood samples. pH₄₅ was measured in the *semimembranosus* muscle 45 min *post mortem*, and the pH₂₄, drip loss, and the colour (L*, a*, b*) were determined 24 h *post mortem*. For the statistical analysis of the effect of the genotype on the evaluated characteristics, a model of fixed effects (genotype and month of sampling) and random effects (animal effect) was adjusted. The incidence of the genotypes of the RN gene was: 4.72 % of RN⁻/rn*, 6.13 % for RN⁻/rn⁺, 2.36 % for rn*/rn*, 39.62 % for rn⁺/rn* and 47.17 % for rn⁺/rn⁺. The incidence of the Hal gene was 92.42 % of NN, 7.11 % of Nn and 0.47 % of nn. The meat with the RN⁻ allele carriers had a lower final pH and a greater drip loss than the RN⁻ allele-free meat, with no marked effect on the colour. The meat of Nn animals had a lower pH₄₅ than the meat of animals free of this mutation (NN). It was concluded that there is an important incidence of pigs with the RN⁻ allele that are related to acid meat. In addition, the Hal gene is associated with the incidence of pale, soft and exudative meat.

Key words: Rendement napole gene, halothane gene, meat quality, PCR-RFLP's, pigs.

INTRODUCCIÓN

Dos mutaciones en el genoma del cerdo afec-

tan la calidad de la carne: el gen Rendimiento Napole (RN) y el gen Halotano (Hal) (Naveau 1986; Oliver *et al.* 1993). El gen Hal, es conocido como el

gen de susceptibilidad al síndrome del estrés porcino y origina la carne pálida, suave y exudativa (Topel et al. 1967). Esta susceptibilidad ha sido asociada a una mutación en la posición 1843 de la secuencia de ADN del gen receptor para la rianodina (Ryr 1) del cerdo donde se presenta una sustitución de una citosina por una timina. Esta sustitución, provoca un defecto al cambiar una arginina por una cisteína en la posición 615 de la proteína receptora de la Ryr 1 que funciona como canal de calcio en el retículo sarcoplásmico (Fuji et al. 1991; Houde & Pommier 1993). El gen Ryr 1 es autosómico recesivo de penetrancia incompleta, tiene el alelo dominante N y el alelo recesivo n (Fuji et al. 1991). En el caso de la carne Hal positiva (Nn y nn), el pH a los 45 min *post mortem* es menor, y llega a ser hasta de 5.5. Esto se debe a un incremento en el metabolismo causado por el estrés, lo que da lugar a una disminución muy rápida del pH (Pommier et al. 1998; Maddock et al. 2002; Van Oeckel & Warnants 2003). Como consecuencia, la carne presenta una baja capacidad de retención de agua y un color más pálido (Hamilton et al. 2000; Maddock et al. 2002; Van Oeckel & Warnants 2003). Además, en la granja existen pérdidas por muertes súbitas de los animales homocigotos recesivos y positivos al gen.

El gen RN (Naveau 1986) ha sido asociado con la acidez de la carne de cerdo y fue llamado Rendimiento Napole debido a que provoca una disminución en el rendimiento tecnológico de la carne (Fernández & Monin 1994). Este gen se ubica en el cromosoma 15 del cerdo (Milan et al. 1995) y es una mutación en el gen PRKAG3 el cual codifica para la subunidad gama de la proteína cinasa activada por AMP (AMPK γ 3). Esta mutación se debe a una sustitución de una arginina (R) por una glutamina (Q) en la posición número 200 de la secuencia de dicha proteína (R200Q) y sólo se ha detectado en cerdos con algún componente de la raza Hampshire (Milan et al. 2000). Un año más tarde del descubrimiento de la mutación R200Q, se registró un nuevo alelo para el gen PRKAG3, donde existe una sustitución de valina (V) por una isoleucina (I) generándose la mutación I199V y se ha encontrado en cerdos de diferentes razas (Ciobanu et al. 2001). Con estas dos mutaciones se obtienen tres alelos para el gen RN: RN⁻ (199V/200Q), rn⁺ (199V/200R) y rn* (199I/200R) (Josell et al. 2003; Gunilla et al.

2004). Los animales portadores del alelo RN⁻ comparados con los animales normales tienen un nivel de glucógeno muscular superior al 70% (Estrade et al. 1993), 7% menos de proteína y un pH final de la carne más bajo que en los animales no portadores de dicho alelo (Monin et al. 1987).

Los dos genes son causa de grandes pérdidas económicas en la industria porcina nacional debido al bajo rendimiento en la carne procesada (Fernandez & Monin 1994; Maddock et al. 2002). Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar la incidencia del gen Halotano y el gen Rendimiento Napole en el rastro municipal de la ciudad de Chihuahua, México, y el efecto que estas mutaciones tienen sobre las características de calidad en la carne fresca de cerdo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Doscientos doce animales fueron sacrificados en el rastro municipal de la ciudad de Chihuahua. Los animales fueron seleccionados al azar en el periodo de septiembre a diciembre de 2004, tenían edades y pesos diferentes y no provenían de una línea genética específica. La prueba de ADN se realizó en sangre, mientras que las características fisicoquímicas de la carne se determinaron en el músculo *semimembranosus*. Después de la genotipificación de los animales se formaron los siguientes grupos experimentales: RN⁻/rn⁺, RN⁻/rn*, rn⁺/rn⁺, rn⁺/rn*, rn*/rn* para el gen RN; y NN y Nn para el gen Hal. Debido a que no se encontraron animales RN⁻/RN⁻ y sólo se identificó un animal con el genotipo nn, éstos no fueron incluidos en el análisis. Todos los animales con el alelo RN⁻, rn⁺ y rn* usados en el análisis fueron libres de Halotano (genotipo NN), así como también los animales Nn fueron libres del alelo RN⁻ y rn*. La sangre de los cerdos fue obtenida por punción de la vena yugular en tubos vacutainer (4 ml K₂ EDTA), transportadas a 4 °C y almacenadas a -20 °C hasta su posterior uso en la extracción de ADN genómico. Cada animal fue identificado con el propósito de rastrear la canal y posteriormente realizar las mediciones fisicoquímicas de la carne a los 45 min y a las 24 h *post mortem*.

Genotipificación

La extracción de ADN genómico se realizó

por lisis alcalina (Rudbeck & Dissing 1998) y el producto se almacenó a temperatura de refrigeración hasta su posterior uso en PCR. La genotipificación se llevó a cabo por la técnica PCR-RFLPs. Para la amplificación por PCR del gen RN se usó un volumen final de 25 μ l, 5 de taq-polimerasa (AccuPrime™ Taq DNA polymerase system; Invitrogen), buffer de PCR, iniciadores (*primers*): NAP-F '-GGAACGATTACCCTCAACT-' y NAP-R '-AGCTCTGCTTCTTGCTGTCC-' y 10 μ l de ADN. El análisis de PCR se realizó en un termociclador (AMPLITRON II Termolyne) siguiendo las siguientes condiciones de reacción: 95 °C por 4 min seguido por 35 ciclos de 95 °C por 30 s, 62 °C por 30 s, 68 °C por 30 s y una extensión final a 72 °C por 7 min. El producto de PCR obtenido fue de 114 pares de bases en el cual estaban incluidos los codones 199 y 200 del gen PRKAG-3 y se analizó por electroforesis en gel de agarosa al 2% teñido con bromuro de etidio, usando como referencia un marcador de peso molecular (50 bp DNA ladder Invitrogen). El gel se observó en un transluminador (Speedlight platinum). Para las restricciones enzimáticas se usaron dos enzimas de restricción: 4 U de BsrB I (Biolabsinc.) para encontrar la mutación R200Q y 3 U de BsaH I (Biolabsinc.) para la mutación V199I. Cada restricción se realizó con un volumen de 10 μ l de producto de PCR y se incubó en baño maría a 37 °C por 14 h incluyendo un control positivo para verificar la actividad de la enzima. El producto de la restricción se corrió por electroforesis en gel de agarosa al 4% teñido con bromuro de etidio y como referencia se empleó el marcador de peso molecular antes citado.

Para la amplificación por PCR del gen Hal, se utilizaron los iniciadores (*primers*) RYRF '-GTGCTGGATGTCCTGTGTTCCCT-' y RYRR '-CTGGTGACATAGTTGATGAGGTTTG-' (Sánchez-Chipres 2000) y 10 μ l de ADN genómico. La PCR se realizó siguiendo las siguientes condiciones de reacción: 95 °C por 4 min seguido por 37 ciclos de 95 °C por 30 s, 67 °C por 30 s y una extensión final a 72 °C por 7 min. El producto de PCR obtenido fue un fragmento de 134 pares de bases en el cual se incluía el nucleótido 1843 del gen Ryr 1 y se verificó de la misma manera que el del gen RN. Para la restricción enzimática se emplearon 5 U de la enzima Hha I (Invitrogen). Cada restricción

se realizó con un volumen de 20 μ l de producto de PCR y se incubó en baño maría a 37 °C por 14 h, incluyendo un control positivo para verificar la actividad de la enzima.

Mediciones fisicoquímicas

Todas las mediciones fueron hechas en el músculo *semimembranosus*. El pH fue medido a los 45 min (pH₄₅) y a las 24 h (pH₂₄) *post mortem* usando un potenciómetro con electrodo metálico de punción Modelo 101 (Sentron Integrated Sensor® Technology, USA). La pérdida por goteo (PG) se obtuvo a las 24 h *post mortem* (Honikel & Kim 1986) en muestras de aproximadamente 3 g de carne suspendida dentro de un recipiente de plástico y almacenada a 3 °C por 48 h. La medición del color se llevó a cabo en una superficie recién cortada y oxigenada del mismo músculo a las 24 h *post mortem* (Garrido *et al.* 1994), determinándose los valores de L* (luminosidad), a* (intensidad de color rojo) y b* (intensidad de color amarillo) con un espectrofotómetro modelo CM-2002 (Minolta Camera Company, Osaka, Japón).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados con el paquete estadístico SAS (Anónimo 1985). El cálculo de la incidencia de los diferentes genotipos en ambos genes se realizó con el procedimiento PROC FREQ y para evaluar el efecto del genotipo sobre las características evaluadas se usó un PROC MIXED. El modelo incluido se ajustó como efectos fijos el genotipo y el mes de muestreo, y el efecto animal como efecto aleatorio.

RESULTADOS

Incidencia del gen Rendimiento Napole

Con respecto al gen Rendimiento Napole, de los 212 animales genotipificados (Tabla 1) no se encontró ninguno con el genotipo RN⁻/RN⁻ que es el que presenta la mutación R200Q en ambas cadenas de ADN pero no tiene la mutación V199I. Sin embargo, hubo animales con una sola copia del alelo RN⁻, teniendo así 10 animales con el genotipo RN⁻/rn^{*} y 13 animales con el genotipo RN⁻/rn⁺. El genotipo más frecuente fue el rn⁺/rn⁺ que corresponde a los animales libres de

las dos mutaciones con 100 animales y el menos frecuente fue el rn^*/rn^* .

Tabla 1. Frecuencia de genotipos para el gen RN y HAL en cerdos sacrificados en el matadero de Chihuahua, México.

Table 1. Genotype frequency for RN and HAL gene in pigs killed in the slaughterhouse of Chihuahua, Mexico.

GEN	Genotipo	Frecuencia	%
RN	RN^-/RN^-	0	0
	RN^-/rn^*	10	4.72
	RN^-/rn^+	13	6.13
	rn^*/rn^*	5	2.36
	rn^+/rn^*	84	39.62
	rn^+/rn^+	100	47.1
	Total	212	100
Hal	NN	195	92.42
	Nn	15	7.11
	nn	1	0.47
	Total	211	100

Incidencia del gen Halotano

Para el gen Halotano se genotipificaron 211 animales (Tabla 1); de los cuales, la mayoría (92.42 %) se encontró en estado homocigoto normal (NN), 7.11 % fue portador de la mutación (Nn) y sólo un animal resultó tener el homocigoto mutante (nn).

Frecuencia de la interacción entre el gen RN y Hal

Todos los animales que portaban el alelo RN^- eran animales normales (NN) con respecto al gen Hal (Tabla 2); sin embargo, en los grupos libres del alelo RN^- había animales normales (NN) y portadores (Nn). El único caso de genotipo homocigoto mutante (nn) del gen Hal perteneció al genotipo rn^+/rn^* del gen Rendimiento Napole.

Efecto del gen RN sobre características fisicoquímicas de la carne

Las medias de los cuadrados mínimos para las diferentes variables fisicoquímicas se presentan en la Tabla 3. Para el pH_{45} no existió diferencia ($p > 0.05$) entre los cinco genotipos RN evaluados con valores en un rango de 6.28 a 6.41. En el pH_{24} se observó una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto al genotipo donde RN^-/rn^* y RN^-/rn^+ fueron similares entre sí ($p \geq 0.05$) con medias de 5.19 y 5.21, respectivamente pero menores ($p \leq 0.05$) que rn^+/rn^* o rn^+/rn^+ con valores de 5.38 y 5.40 res-

pectivamente y que rn^*/rn^* ($p \leq 0.05$) con valor de 5.75 siendo este último el que presentó el valor más alto. Los genotipos con el alelo RN^- presentaron un pH_{24} menor que aquellos que no portaban dicho alelo con una diferencia de 0.19 a 0.55. El genotipo rn^*/rn^* fue el que presentó la media con el valor más alto de pH_{24} ; sin embargo, hay que señalar que sólo se evaluaron cuatro animales de este genotipo.

Tabla 2. Frecuencia de la interacción entre los genotipos del gen RN y gen HAL en cerdos (*Número de animales. **Porcentaje).

Table 2. Interaction frequency between the genotypes of RN and HAL genes in pigs (*Number of animals. **Percentage).

Rendimiento Napole	NN	Nn	Nn	Total
RN^-/RN^-	0*	0	0	0
	(0)**	(0)	(0)	(0)
RN^-/rn^*	10	0	0	10
	(4.78)	(0)	(0)	(4.78)
RN^-/rn^+	13	0	0	13
	(6.229)	(0)	(0)	(6.22)
rn^*/rn^*	4	1	0	5
	(1.91)	(0.48)	(0)	(2.39)
rn^+/rn^*	75	6	1	82
	(35.89)	(2.87)	(0.48)	(39.23)
rn^+/rn^+	91	8	0	99
	(43.549)	(3.83)	(0)	(47.37)
Total	193	15	1	209
	(92.34)	(7.18)	(0.48)	(100)

La pérdida por goteo (PG) de las canales de los cerdos portadores del alelo RN^-/rn^+ y RN^-/rn^* fue mayor ($p \leq 0.05$) que en los animales rn^+/rn^+ y rn^+/rn^* . Para la variable L^* (luminosidad) el único genotipo que se comportó diferente ($p \leq 0.05$) con un valor menor de L^* fue rn^*/rn^* , los otros cuatro genotipos no mostraron diferencia ($p \leq 0.05$). En la tendencia al color rojo de la carne (a^*) no se presentó diferencia ($p \geq 0.05$) entre los genotipos; sin embargo, el genotipo RN^-/rn^* presentó una media de 21.72, la cual resultó ser menor ($p \leq 0.05$) a los otros genotipos. Entre genotipos se presentaron diferencias ($p \leq 0.05$) para el valor de b^* , ya que resultó el valor mínimo para rn^*/rn^* .

Efecto del gen Halotano sobre características fisicoquímicas de la carne

Entre genotipos del gen Hal para pH_{45} , la carne con genotipo Nn resultó significativamente

menor ($p < 0.05$) (Tabla 3). Para las variables de pH_{24} , L^* , a^* , b^* y PG entre los genotipos Nn y NN no se estimaron diferencias ($p > 0.05$).

DISCUSIÓN

Incidencia del gen Rendimiento Napole

La incidencia del alelo RN^- es similar a la registrada en un estudio previo realizado en la misma área en la cual se realizó este trabajo (Lara-Rendón *et al.* datos no publicados), con la única diferencia de que los autores encontraron 1.31 % de animales con genotipo RN^-/RN^- mientras que en el presente no se encontró ninguno (Tabla 2). El genotipo rn^*/rn^* (RI/RI) también fue el menos encontrado en diferentes cruzas de las razas de cerdos Landrace y Hampshire (Gunilla *et al.* 2004), por lo que es probable que sea uno de los genotipos menos incidentes. Esto posiblemente se debe a que es una mutación de baja frecuencia la cual tiene la mutación V199I en ambas cadenas de ADN pero está libre de la mutación R200Q.

Los resultados de la incidencia del gen Halotano obtenidos en este trabajo son similares a lo detectado en rastros del centro de México (Alonso & Ulloa, datos no publicados). Sin embargo, la incidencia es inferior a la observada previamente en rastros del estado de Chihuahua donde se encontró 43.14 % del genotipo Nn y 1.31 % del genotipo nn (Gamboa-Alvarado *et al.* 2003). Asimismo, en rastros del estado de Sinaloa se registró una frecuencia mayor de ambas mutaciones, las cuales fueron del 36.5 % para el genotipo Nn y 1.09 % para el genotipo nn (Gamboa-Alvarado, datos no publicados). Esta diferencia puede atribuirse a la heterogénea procedencia de los cerdos que son sacrificados en el rastro de Chihuahua, lo cual se refleja en una incidencia variable de los genotipos de este gen. Pero además, es evidente que en este rastro llegan animales con una baja frecuencia del genotipo homocigótico causante del síndrome de estrés porcino (nn), lo cual podría indicar que ese gen está siendo erradicado del pie de cría que llega a este estado.

Frecuencia de la interacción entre el gen RN y Hal

La incidencia de interacción de genotipos para ambos genes no ha sido registrada, pero en cruzas

dirigidas sí se han obtenido animales que porten el alelo RN^- y el alelo n (Hamilton *et al.* 2000).

Efecto del gen RN sobre las características fisicoquímicas de la carne

Un estudio previo señaló que en cerdos con el gen RN^- , el pH final de la canal era más bajo que el pH de los cerdos normales (Monin & Séller 1985). Los resultados de este estudio concuerdan con lo citado por Josell *et al.* (2003) y por Gunilla *et al.* (2004), quienes tampoco estimaron diferencias significativas en el pH_{45} entre los genotipos. La similitud entre los valores de pH_{45} puede ser explicada por que todos los animales recibieron el mismo manejo antes y durante el sacrificio, además de que no presentaban la mutación del gen Hal causante del síndrome del estrés porcino que provoca bajo pH_{45} en la carne.

Los animales que portan el alelo RN^- son aquellos que presentan la mutación R200Q, que se refiere al cambio del aminoácido arginina por glutamina en la subunidad reguladora de la proteína AMPK (Milan *et al.* 2000). Esta proteína normal activada inhibe la síntesis de glucógeno y estimula la degradación del mismo (Hardie *et al.* 1998). Es ampliamente conocido que a mayor cantidad de glucógeno muscular en el momento del sacrificio, menor es el pH final de la carne aunque ésta relación no es lineal (Przybylsky *et al.* 1998). La disminución en el pH_{24} de la carne de animales portadores del alelo RN^- encontrada en el presente estudio corrobora que la mutación R200Q causa un incremento del glucógeno muscular. Esto se refleja en un pH final de la carne más bajo. Josell *et al.* (2003) y Gunilla *et al.* (2004) mencionaron resultados similares a los obtenidos en este trabajo.

La capacidad de retención de agua de la carne disminuye en la medida que se tiene valores de pH bajos. Esto se debe a que la mayoría de las proteínas miofibrilares alcanzan su punto isoeléctrico y pierden la capacidad de ligar agua (Honikel & Kim 1986; Honikel *et al.* 1986). La PG de las canales de este estudio concordó con la registrada previamente por otros autores (Bertram *et al.* 2000; Moeller *et al.* 2003) quienes observaron una mayor pérdida de agua por goteo en la carne RN^- comparada con la carne libre del alelo RN^- . La mayor PG obtenida en la carne de animales RN^- puede deberse a que esta

Tabla 3. Medias de cuadrados mínimos (\pm ee) por genotipos del gen RN y HAL para las características fisicoquímicas del *M. semimembranosus* de cerdo (*N=Número de animales, **pH₄₅=pH a los 45 min *post mortem*; pH₂₄=pH a las 24 h *post mortem*; L*=luminosidad, a*=intensidad al color rojo, b*=intensidad al color amarillo, PG=pérdida de agua por goteo, y N=número de canales. ^{abc}Medias con diferentes literales en el mismo renglón y gen (RN y Hal) son diferentes ($p \leq 0.05$).

Table 3. Minimum square means (\pm se) for genotypes of RN and HAL gene for physicochemical characteristics of pig *M. semimembranosus* (*N=Number of animals, **pH₄₅=pH at 45 min *post mortem*; pH₂₄=pH at 24 h *post mortem*; L*=luminosity, a*=intensity of red color, b*=intensity of yellow color, PG=drip loss, y N=Number of carcasses. ^{abc}Means with different literal in the same row and gene (RN y Hal) are different ($p \leq 0.05$).

N* Características**	Genotipo						
	RN ⁻ /rn* 9	RN ⁻ /rn ⁺ 11	rn [*] /rn* 4	rn ⁺ /rn* 71	rn ⁺ /rn ⁺ 81	Nn 13	NN 81
pH ₄₅	6.28 \pm 0.09	6.35 \pm 0.08	6.41 \pm 0.13	6.31 \pm 0.04	6.30 \pm 0.03	6.13 \pm 0.07 ^a	6.30 \pm 0.03 ^b
pH ₂₄	5.21 \pm 0.07 ^a	5.19 \pm 0.06 ^a	5.75 \pm 0.10 ^c	5.38 \pm 0.03 ^b	5.40 \pm 0.02 ^b	5.42 \pm 0.06	5.39 \pm 0.03
L*	29.4 \pm 2.7 ^a	27.8 \pm 2.4 ^a	18.0 \pm 4.0 ^b	26.4 \pm 1.1 ^a	24.6 \pm 1.0 ^{ab}	28.8 \pm 2.6	24.6 \pm 1.2
a*	21.7 \pm 1.4 ^b	25.4 \pm 1.2 ^a	25.7 \pm 2.0 ^a	25.0 \pm 0.4 ^a	24.7 \pm 0.5 ^a	22.5 \pm 1.2	24.8 \pm 0.6
b*	26.9 \pm 1.8 ^{ab}	28.80 \pm 1.7 ^{ab}	19.7 \pm 2.7 ^c	25.7 \pm 0.7 ^{ab}	24.2 \pm 0.7 ^{ac}	24.5 \pm 1.7	24.3 \pm 0.7
PG (%)	4.71 \pm 0.36 ^a	4.92 \pm 0.32 ^a	4.31 \pm 0.52 ^{ab}	3.66 \pm 0.14 ^b	3.78 \pm 0.13 ^b	3.75 \pm 0.26	3.46 \pm 0.12

carne presentó un pH final más bajo comparada con la carne de los animales con otros genotipos.

Conforme la PG aumenta se espera que exista una mayor luminosidad en la carne debido al reflejo de la luz. Sin embargo, van Laack (1996) observó que no existía una relación como tal, entre la capacidad de retención de agua y el color de la carne, por lo que sería erróneo calificar como pálida una carne que tenga alta PG. Algunos autores han encontrado diferencias significativas en valores de luminosidad. Sus resultados han registrado una mayor luminosidad en la carne RN⁻ en comparación con la carne normal (Hamilton *et al.* 2000; Meadus & MacInnis 2000). Sin embargo, otros autores han obtenido resultados similares a los de este trabajo, en los cuales no hubo diferencia en el valor de L* (Miller *et al.* 2000; Hullberg & Lundstrom 2004).

Con respecto a los valores de intensidad al color rojo (a*), la carencia de diferencias significativas entre los genotipos estudiados coincide con lo citado por Hamilton *et al.* (2000), Meadus & MacInnis (2000), Miller *et al.* (2000), aunque se han estimado valores de a* mayores (Hullberg & Lundstrom 2004) en genotipos RN⁻/rn⁺. La intensidad al color amarillo (b*) fue similar a lo observado previamente (Hamilton *et al.* 2000; Meadus & MacInnis 2000; Hullberg & Lundstrom 2004), donde se indicaron valores de b* superiores en la carne procedente de animales RN⁻ comparados con los

de la carne de animales libres de dicho alelo. Estos resultados indican una mayor tendencia al color amarillo en la carne de animales portadores de la mutación R200Q.

Efecto del gen Halotano sobre características fisicoquímicas de la carne

Los animales que poseen el alelo n son más susceptibles a sufrir estrés en el momento del sacrificio. La presencia del alelo n del gen Halotano resulta en un defecto en el canal liberador de Ca⁺⁺ del retículo sarcoplásmico (Mickelson *et al.* 1989) donde un intercambio del aminoácido arginina por el de cisteína en la posición 615 de la proteína receptor rianodina es el responsable de este defecto (Fuji *et al.* 1991). La liberación de Ca⁺⁺ al doble de lo normal causa un aumento en el metabolismo del músculo y provoca una acumulación de ácido láctico, lo cual se manifiesta en un pH menor de la carne (Mickelson *et al.* 1989). Oliver *et al.* (1993), Leach *et al.* (1996) y Oliveira-Vargas *et al.* (2002) han obtenido un pH₄₅ menor en animales con genotipo Nn en comparación con los animales NN, similar a lo observado en el presente trabajo. Por otro lado, se midieron (Maddock *et al.* 2002) valores de pH₄₅ de 6.1 y de 6 para animales NN y Nn, respectivamente. Von Lengerken *et al.* (2002) señaló una diferencia en el pH₄₅ entre los animales NN comparados con Nn, así como una diferencia entre animales Nn

comparados con los que tienen las dos copias de la mutación (nn). Estos últimos presentaron el pH₄₅ más bajo de todos los animales evaluados. Los valores de pH₂₄ de este trabajo fueron similares a los obtenidos por otros autores (Lundstrom *et al.* 1989; Oliveira-Vargas *et al.* 2002), quienes no encontraron diferencias al comparar los tres genotipos resultantes del gen Hal. El valor de luminosidad (L*), al igual que lo citado previamente (Maddock *et al.* 2002), no presentó diferencia entre los genotipos Nn y NN. Sin embargo otros autores (Oliver *et al.* 1993; Hamilton *et al.* 2000) sí encontraron diferencias con valores de luminosidad más altos para los animales Nn comparados con los animales normales (NN). La carne fue más pálida en los primeros.

Con respecto a los resultados obtenidos en la pérdida por goteo, estos son similares a los registrados por Garrido *et al.* (1994), quienes señalaron pérdidas de agua superiores en la carne de animales portadores del alelo n.

La incidencia del alelo RN⁻ del gen Rendi-

miento Napole y del alelo n del gen Halotano afecta la calidad de la carne. Una sola copia del alelo dominante RN⁻ en los cerdos es suficiente para afectar negativamente la calidad final de la carne, ya que es una carne más ácida que la normal y con una capacidad de retención de agua baja lo que se refleja en un alto porcentaje de pérdida de agua en forma de goteo. Los animales portadores de una sola copia del alelo recesivo n del gen Halotano producen carne con pH a los 45 min *post mortem* más bajo que la carne de animales normales; sin embargo, el pH₂₄, el color y la pérdida por goteo no fueron significativamente afectados.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó con la colaboración del rastro TIF N° 366 de la ciudad de Chihuahua, México y con financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través del proyecto 31693B.

LITERATURA CITADA

- Anónimo (1985) Users Guide: Statistics (versión 5 ed.). Cary NC, USA: SAS Inst. Inc. 1985.
- Bertram HC, Petersen SJ, Andersen HJ (2000) Relationship between RN⁻ genotype and drip loss in meat from Danish pigs. *Meat Sci.* 56: 49-55.
- Ciobanu D, Bastiaansen J, Malek M, Helm J, Wollard J, Plastow G, Rothschild M (2001) Evidence for new alleles for the protein kinase adenosine monophosphate-activated3-subunit gene associated with low glycogen content in pig skeletal muscle and improved meat quality. *Genetics* 159: 1151-1162.
- Estrade M, Vignon X, Monin G (1993) Glycogen hyperaccumulation in white muscle fibres of RN⁻ carriers pig, a biochemical and ultrastructural study. *Comp. Biochem. Physiol.* 104B(2): 321-326.
- Fernández X, Monin G (1994) A major gene affecting pork quality: The RN gene. *Meat Focus Int.* 3(8): 332-334.
- Fuji J, Otsu K, Zorsato F, de Leon S, Khanna VK, Weiler JE, O'Brien PJ, MacLennan DH (1991) Identification of a mutation in porcine ryanodine receptor associated with malignant hyperthermia. *Science* 253: 448-451.
- Gamboa-Alvarado JG, Alarcón-Rojo AD, Burrola-Barraza E, Rodríguez-Almeida FA Ríos-Ramírez JG (2003) Resultados preliminares de la incidencia del gen Halotano en cerdos al sacrificio en la zona noroeste de Chihuahua, México. *Memorias del XXXI Reunión Anual de la AMPA.* Phoenix, AZ. E.U. 99-104.
- Garrido MD, Bañón S, Pedauye J, Laencina J (1994) Objective meat quality measurements of ham: a practical classification method on the slaughterline. *Meat Sci.* 37: 421-429.
- Gunilla L, Enfalt A, Seth GV, Josell A, Hedebo-Velander I, Andersen HJ, Braunschweig M, Anderson L, Lundstrom K (2004) A second mutant allele (V199I) at the PRKAG3 (RN) locus – I. Effect on technological meat quality of pork loin. *Meat Sci.* 66: 609-619.
- Hamilton DN, Elis M, Miller KD, McKeith FK, Parrett DF (2000) The effect of the Halothane and Rendement Napole genes on carcass and meat quality characteristics of pigs. *J. Anim. Sci.* 78: 2862-2867.
- Hardie DG, Carling D, Carlson M (1998) The AMP-activated/SNF1 protein kinase subfamily: metabolic sensors of the eukaryotic cell? *Annu. Rev. Biochem.* 67: 821-855.

- Honikel KO, Kim CJ (1986) Causes of the development of PSE pork. *Fleischwirtsch* 66: 349-353.
- Honikel KO, Kim CJ, Hamm R, Roncales P (1986) Sarcomere shortening of prerigor muscle and its influence on drip loss. *Meat Sci.* 16: 267-282.
- Houde A, Pommier SA (1993) Use of polymerase chain reaction technology to detect a mutation associated with malignant hyperthermia in different pig tissues. *Meat Sci.* 33: 349-358.
- Hullberg A, Lundstrom K (2004) The effects of RN genotype and tumbling on processing yield in cured-smoked pork loins. *Meat Sci.* 67: 409-419.
- Josell A, Enfalt AN, Seth GV, Lindahl G, Velander IH, Andersson L, Lundstrom K (2003) The influence of RN genotype, including the new V199I allele, on the eating quality of pork loin. *Meat Sci.* 65: 1341-1351.
- Leach LM, Elis M, Sutton DS, McKeith FK, Wilson ER (1996) The growth performance, carcass characteristics, and meat quality of Halothane carrier and negative pigs. *J. Anim. Sci.* 74: 934-943.
- Lundstrom K, Essen-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.
- Maddock RJ, Bidner BS, Carr SN, McKeith FK, Berg EP, Savell JW (2002) Creatine monohydrate supplementation and the quality of fresh pork in normal and Halothane carrier pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 997-1004.
- Meadus WJ, MacInnis R (2000) Testing for the RN⁻ gene in retail pork chops. *Meat Sci.* 54: 231-237.
- Mickelson JR, Gallant EM, Rempel WE, Johnson KM, Litterer LA, Jacobson BA, Louis CF (1989) Effects of the halothane sensitivity gene on sarcoplasmic reticulum function. *Am. J. Physiol.* 2(5): C781-C794.
- Milan D, Le Roy P, Woloszin N, Caritez JC, Elsen JM, Sellier P, Gellin J (1995) The RN locus for meat quality maps to pig chromosome 15. *Genet. Sel. Evol.* 27: 195-199.
- Milan D, Jeon JT, Looft C, Amarger V, Robic A, Thelander M, Rogel-Gaillard C, Paul S, Lannuccelli N, Rask L, Ronne H, Lundstrom K, Reinsch N, Gellin J, Kalm E, Leroy P, Chardon P, Andersson L (2000) A mutation in PRKAG3 associated with excess glycogen content in pig skeletal muscle. *Science* 288: 1248-1251.
- Miller KD, Ellis M, McKeith FK, Bidner BS, Meisinger DJ (2000) Frequency of the rendement napole RN⁻ allele in a population of American Hampshire pigs. *J. Anim. Sci.* 78: 1811-1815.
- Moeller SJ, Baas TJ, Leeds TD, Emnett RS, Irvin KM (2003) Rendement Napole gene effects and a comparison of glycolytic potential and ADN genotyping for classification of Rendement Napole status in Hampshire-sired pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 402-410.
- Monin G, Mejenes-Quijano A, Talmant A, Sellier P (1987) Influence of breed and muscle metabolic type on muscle glycolytic potential and meat pH in pigs. *Meat Sci.* 20: 149-158.
- Monin G, Sellier P (1985) Pork of low technological quality with a normal rate of muscle pH fall in the immediate *post mortem* period: The case of the Hampshire breed. *Meat Sci.* 13: 49-63.
- Naveau J (1986) Contribution à l'étude du déterminisme génétique de la qualité de la viande porcine. Héritabilité du rendement technologique Napole. *J. Rech. Porcine en France.* 18: 265-276.
- Oliveira-Vargas-Culau P, López J, Rubensam JM, Félix-Lopes RF, Nicolalewsky S (2002) Influencia do gene Halotano sobre a qualidade da carne suína. *R. Bras. Zootec.* 31(2) supl: 964-961.
- Oliver MA, Gispert M, Diestre A (1993) The effects of breed and Halothane sensitivity on pig meat quality. *Meat Sci.* 35: 105-118.
- Pommier SA, Pomar C, Godbout D (1998) Effect of the Halothane genotype and stress on animal performance, carcass composition and meat quality of crossbred pigs. *Can J. Anim. Sci.* 78: 257-264.
- Przybylsky W, Kocwin-Podsiadla M, Kaczorek S, Krzeczio E (1998) The relationship between glycolytic potential of porcine muscles and ultimate pH and processing yield of meat. *Polish J. Food and Nutrition Sci.* 7/48(1): 83-88.
- Rudbeck L, Dissing J (1998) Rapid, simple alkaline extraction of human genomic DNA from whole blood buccal epithelial cells, semen and forensic stains for PCR. *BioTechniques* 25: 588-592.

- Sánchez-Chipres DR (2000) Comportamiento productivo de líneas genéticas terminales de cerdos con especial referencia al gen del halotano. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara. Guadalajara. 100 pp.
- Sayre, RN, Briskey EJ Hoekstra WG (1963) Comparison of muscle characteristics and *post-mortem* glycolysis in three breeds of swine. J. Anim. Sci. 22: 1012-1020.
- Topel DG, Merkel RA, Wismer-Pedersen J (1967) Relationship of plasma 17-hidroxicorticosteroid levels to some physical and biochemical properties of porcine muscle. J. Anim. Sci. 26: 311-315.
- Van Laack R (1996) The relationship between color and water-holding-capacity of pork: the case of RSE. Meat Focus International 5(12): 438-439.
- Van Laack R, Solomon MB, Warner R, Kauffman RG (1996) A comparison of procedures for measurements of pigment concentration in pork. J. Muscle Foods 7: 149-163.
- Van Oeckel MJ (2003) Warnants N. Variation of the sensory quality within the M. longissimus thoracis et lumborum of PSE and normal pork. Meat Sci. 63: 293-299.
- Von Lengerken G, Maak S, Wicke M (2002) Muscle metabolism and meat quality of pigs and poultry. J. Veterinarija ir Zootechnika 20(42): 82-86.

