



## Variables asociadas con la presentación de carne PSE (Pálida, Suave, Exudativa) en canales de cerdo<sup>¶</sup>

**Revista**  
Colombiana de  
Ciencias  
Pecuarias

*Variables associated PSE (Pale, Soft, Exudative) to meat in porcine carcasses*

Wilson E Castrillón<sup>1\*</sup>, Zoot, MS; Jorge A Fernández<sup>2</sup>, MV, MS; Luis F Restrepo<sup>1</sup>, Estad, Esp.

<sup>1</sup> Grupo de investigación GRICA, Escuela de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

<sup>2</sup> Grupo de investigación CENTAURO, Escuela de Medicina veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.  
wilcastr@gmail.com

(Recibido: 13 diciembre, 2005; aceptado: 9 agosto, 2007)

### Resumen

*La presencia de la condición PSE (pálida, suave, exudativa) en canales porcinas causa altas pérdidas económicas a la industria cárnica y según estudios presenta asociación con muchas variables. Para analizarlas se muestrearon 474 canales de cerdos comerciales y se les midió el pH (pHmetro IQ 200 Scientific Instruments<sup>®</sup>, con sonda de silicio tipo ISFET<sup>®</sup>) a 45 minutos (pH<sub>45</sub>) y a 24 horas post-sacrificio en el músculo semimembranoso. Las variables analizadas fueron genética, sexo, alimento, tiempo de ayuno, peso vivo; duración del transporte, densidad, temperatura y humedad relativa durante el transporte; tipo de camión, tiempo de reposo, grasa dorsal, rendimiento en canal y mermas. En el análisis estadístico se aplicó la técnica de componentes principales, GLM con prueba de contraste de Tukey con un 95% de significancia, y distribución de frecuencias univariada y bivariada. Los resultados demuestran que hubo asociación altamente significativa ( $p < 0.01$ ) entre el pH<sub>45</sub> y la densidad, alimento, camión, genética y reposo; el sexo y el tiempo de transporte tuvieron asociación significativa ( $p < 0.05$ ). Se encontró diferencia entre los tipos de genética, entre los sexos y entre los tipos de alimento ( $p < 0.05$ ). Se presentaron las interacciones sexo-ayuno, sexo-alimento, sexo-reposo y sexo-transporte ( $p < 0.05$ ). Esto indica que la condición PSE no es unicausal y como tal debe ser manejada.*

**Palabras clave:** calidad, canales, carne de cerdo, pH, porcino PSE

<sup>¶</sup> Para citar este artículo: Castrillón WE, Fernández JA, Restrepo LF Variables asociadas con la presentación de carne PSE (Pálida, Suave, Exudativa) en canales de cerdo. Rev Col Cienc Pec 2007; 20: 327-338.

\* Autor para el envío de la correspondencia y la solicitud de separatas: Escuela de Producción Agropecuaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. E-mail: wilcastr@gmail.com

### Summary

*The presence of the PSE (pale, soft and exudative) condition in porcine carcass causes high economic losses to the meat industry. The PSE appearance depends on many variables, some of which are intrinsic of the animal, and others are related to transportation conditions to the slaughterhouse. The aim of the present study was to determine if there is or not an association between some of the above mentioned variables and the PSE condition. The studied variables were: genetic, sex, food, weight, time of fasting, time of transportation, density, temperature and humidity during transportation, type of truck, resting time, dorsal fat, carcass efficiency and carcass weight losses. Carcasses of commercial genetic pigs ( $n = 474$ ) were tested and semimembranous muscle pH was done at 45 minutes ( $pH_{45}$ ) and then at 24 h post-sacrifice, using IQ 200 Scientific Instruments®, with an ISFET® type probe. Test of principal components of GLM with contrast test of Tukey with 95% of significance, and univariate and bivariate frequencies distribution was applied. The results demonstrate that there was highly significant association ( $p < 0.01$ ) between  $pH_{45}$  and variables as density, food, type of truck, genetic and the resting time. The sex and the time of transportation also had significant association ( $p < 0.05$ ), but only with  $pH_{45}$ . Additionally, differences between genetic, sex (highest values of  $pH_{45}$  to males) and food ( $p < 0.05$ ) were found. Also, there were interactions between: sex - fasting, sex - food, sex - resting and sex - transportation ( $p < 0.05$ ). According to the results, PSE condition is not a unicausal phenomenon and consequently it needs an integral management.*

**Key words:** carcass, pork, pH, PSE, quality, swine.

### Introducción

La necesidad de obtener líneas genéticas porcinas con mayor conformación muscular ha traído como consecuencia que éstas sean más susceptibles al estrés y presenten problemas de calidad como la carne pálida, suave y exudativa (PSE por sus siglas en inglés *pale, soft, exudative*) y la carne oscura, firme y seca (DFD por sus siglas en inglés *dark, firm, dry*) (9, 10, 13). Estos productos generan pérdidas económicas para los procesadores por reducción de los rendimientos, desperdicio de materiales, labor extra para reempacarlos e insatisfacción del consumidor (1). Owen (22), muestra como algunos autores estimaron que la industria cárnica porcina de los Estados Unidos pierde US\$ 32 millones anuales por causa de la carne PSE. La industria alimenticia australiana pierde US\$ 20 millones y la industria porcina del Reino Unido \$20 millones anualmente (20).

La tasa normal de incidencia de PSE está reportada entre 10 y 30%, pero en algunos casos puede aumentar a 60% (20). Sin embargo, estudios en Estados Unidos indican que los niveles de PSE fluctúan entre 6 y 33%, dependiendo de las condiciones de cada planta de sacrificio (22), mientras que Denaburski (9), aseguran que la proporción de esta carne en Polonia se acerca al 17%.

La carne PSE es un defecto mayor de calidad asociada con una tasa rápida de glicólisis post-mortem, la cual se caracteriza por una alta tasa de acidificación en la primera hora luego del sacrificio (16). El decrecimiento del pH combinado con la alta temperatura muscular causa desnaturalización de la proteína excediendo lo observado en el músculo normal conduciendo a la producción de carne PSE (25). Debido a esta desnaturalización de la proteína, existe un incremento en la pérdida de agua y palidez (25), razón por la cual la carne PSE es considerada por los consumidores como de inferior calidad, además de tener menor valor para procesos industriales por su pobre habilidad para ligar (5).

El PSE ocurre usualmente en cerdos que son genéticamente sensibles al estrés y se presenta principalmente cuando son sometidos a factores estresantes inmediatamente antes del sacrificio (16). Algunas de los factores que pueden estar involucradas en el origen del problema tanto en el manejo pre-sacrificio como en el manejo post-sacrificio, incluyen: genética, sexo, peso, edad, grasa dorsal, ayuno, estación del año, tiempo de transporte, densidad, temperatura y humedad relativa, reposo, aturdimiento y sistema de frío para las canales, razón por la cual deben ser estudiadas en conjunto (2, 19).

El efecto de estos factores sobre la calidad de la carne ha sido estudiado ampliamente en las últimas décadas por varios autores. Por ejemplo, Gispert *et al* (15), han realizado estudios que contemplan la relación entre la condición PSE y factores estresantes desde las granjas hasta las plantas de sacrificio, dichos datos permiten estudiar el efecto del manejo ante mortem y la sensibilidad genética al estrés bajo condiciones comerciales. Sin embargo, deben realizarse investigaciones más aplicadas a nuestras condiciones que nos permitan reunir información más pertinente y de esta manera contribuir al manejo adecuado del problema.

El objetivo de este estudio fue analizar las variables asociadas con la presentación de la condición PSE en canales de cerdos comerciales, con el fin de conocer sus interacciones e influencias sobre dicha condición, para lo cual se realizaron mediciones de pH tanto a los 45 minutos como a las 24 horas post-mortem.

### **Materiales y métodos**

En una planta de sacrificio, se evaluaron 474 canales de cerdos (237 machos y 237 hembras) provenientes de diferentes granjas comerciales, con el fin de conocer y analizar las interacciones e influencias de las variables asociadas con la condición PSE. De cada granja sometida a estudio se escogieron al azar machos y hembras sanos que se encontraban separados por sexo y tenían diferentes tiempos de ayuno (24, 30 y 36 horas), para lo cual se conformaron grupos en diferentes corrales. Lo anterior se hizo con base en un muestreo aleatorio de proporciones teniendo en cuenta un nivel de significancia estadística del 95% y un error máximo permisible del 4.5%. Los animales fueron sometidos a similares condiciones de manejo y alojamiento, y fueron identificados individualmente para determinar su genética. Posteriormente, y antes de transportar los cerdos hacia la planta de sacrificio, se anotó la granja de origen y el tipo de alimento concentrado que estaban recibiendo en la misma. Una vez embarcados los cerdos en el camión se procedió a anotar la hora de inicio del transporte y se realizaron tres mediciones tanto de temperatura como de humedad relativa (actual, máxima y mínima, para ambos casos), al inicio, en el intermedio y al final

del viaje antes de desembarcar los cerdos, con el fin de registrar las variaciones de dichas variables durante el transporte; para tal fin se utilizó un termo higrómetro CE® (Compact Hygro-Thermometer Clock, modelo RT 810 E, Marca RADI – Italia).

La temperatura fue analizada de dos formas diferentes, la primera fue considerando las variaciones de temperatura entre la mínima registrada durante el transporte y la máxima, para lo cual se tuvo en cuenta que las variaciones de la temperatura óptima superiores a 3 °C en un período de 24 horas tienen un efecto estresante sobre los cerdos, lo cual los hace muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura (23); la segunda forma, se hizo teniendo en cuenta que la temperatura óptima durante el transporte debería hallarse entre 15 y 18 °C (9), y por lo tanto variaciones por encima, por debajo o ambas afectan el comportamiento del cerdo. La humedad relativa también fue analizada similarmente, el primer método fue teniendo en cuenta las variaciones entre la humedad mínima y la máxima registrada durante el transporte; el segundo consistió en realizar una clasificación con base en el rango de humedad relativa óptima durante el transporte, la cual está reportada entre 59 y 65% (9).

Al momento de la llegada de los cerdos a la planta de sacrificio se anotó la hora de finalización del transporte para poder calcular la duración del mismo, así como la densidad a la cual viajaron los cerdos en el camión y su capacidad (tanto la densidad como la duración del transporte fue tenida en cuenta para cada uno de los viajes). Luego del desembarque de los cerdos en la planta, se anotó la hora de ingreso a corrales de espera para poder contabilizar la duración del tiempo de reposo. Entre una y tres horas antes del sacrificio los cerdos fueron pesados individualmente y posteriormente se anotó la hora del sacrificio (previamente programada), con el fin de cumplir con los tiempos de ayuno planteados en la investigación.

Aproximadamente a los veinte minutos post-sacrificio todas las canales fueron pesadas para calcular los rendimientos pie - canal, y se procedió posteriormente a realizar las mediciones del espesor de grasa con un IntroscoPIO SFK technology®, (SFK Systems A/S Albuen, Dinamarca), en el dorso del animal a ambos lados de la línea media entre la

décima segunda y décima tercera costilla (músculo largo dorsal) (2, 12).

A los 45 minutos y a las 24 horas post-sacrificio, se hizo medición de pH (4, 26, 29) con un pHmetro IQ 200 (IQ Scientific Instruments®) con sonda de silicio tipo ISFET® (Corte del Nogal, Carlsbab, California), a nivel del músculo semimembranoso de todas las canales derechas. (2, 17, 18). El pHmetro fue calibrado en tampones pH 4 y pH 7 y recalibrado luego de cada 10 lecturas (11).

Las canales que presentaron valores de  $pH_{45} \leq 5.8$  fueron consideradas PSE (14, 21, 29), mientras que las que presentaron valores  $\geq 6.3$  se consideraron DFD (29); por su parte, las canales con valores de  $pH_{24} < 5.6$  se consideraron PSE (7, 12) y valores  $\geq 6.2$  se clasificaron como DFD (21, 28). La carne normal fue la que tuvo un  $pH_{45}$  entre 5.9 y 6.2 y un  $pH_{24}$  con valores entre 5.6 y 6.1. Finalmente, a las 24 horas post-sacrificio se pesaron las canales refrigeradas, para determinar el porcentaje de mermas con respecto al peso de las canales calientes. Todos los datos fueron colectados en registros de campo, luego fueron llevados a una hoja de cálculo (Excel®) y finalmente exportados al paquete estadístico (SAS versión 8.2®). La tabla 1 muestra la forma como fueron agrupadas las variables y las categorías que estas presentaron (las categorías hacen alusión a las cantidades que conformaron cada variable).

#### *Análisis estadístico*

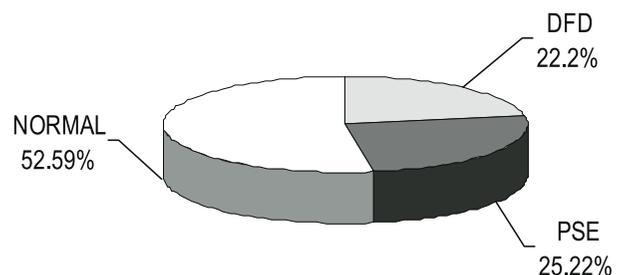
El análisis estadístico de los datos se hizo mediante el programa Statistical Analysis System (SAS system for Windows, v. 8.2®): se aplicó un modelo lineal general (GLM) con prueba de contraste de Tukey al 95% de significancia, para realizar comparaciones entre las categorías de cada una de las variables de índole cualitativo y la condición de la carne PSE, con el fin de conocer si existía diferencia estadística entre dichas variables y la condición, tanto a los 45 minutos como a las 24 horas post-mortem.

Distribuciones de frecuencia unidimensionales se realizaron para todas las variables, con fin

de determinar el porcentaje de cada una de las condiciones (Normal, PSE y DFD); se hizo cruce bidimensional de variables de índole cualitativo, el cuál permitió establecer la asociación o no de las variables en cada condición evaluada. Adicionalmente, se utilizó análisis de componentes principales por el método R para evaluar las variables de índole cuantitativo y su asociación con la condición PSE, con el fin de ver su participación en la representación de factores ortogonales y el porcentaje de variabilidad total respecto a la condición.

### **Resultados**

Según los resultados obtenidos para las 464 canales a las cuales se les midió el pH, se encontró que 244 de ellas presentaron un  $pH_{45}$  entre 5.9 y 6.2, lo que indica que el 52.59% de la carne fue Normal, 25.22% (117 canales) presentaron un  $pH_{45}$  menor o igual a 5.8 el cual es indicativo de la condición PSE y 22.2% (103 canales) tuvieron un  $pH_{45}$  mayor o igual a 6.3 indicando la presencia de la condición DFD (véase Figura 1).



**Figura 1.** Distribución porcentual para los estados de la carne según los valores de  $pH_{45}$

#### *Mediciones de pH a los 45 minutos post-mortem*

Con respecto a la relación entre el pH y las variables estudiadas, se encontró que la densidad de transporte, tipo de alimento, tipo de camión, genética y tiempo de reposo se asociaron en forma altamente significativa ( $p < 0.01$ ) con el  $pH_{45}$ , mientras que el sexo y el tiempo de transporte se asociaron en forma significativa ( $p < 0.05$ ). El resto de las variables no se asociaron con los valores del  $pH_{45}$  ( $p > 0.05$ ).

Tabla 1. Especificaciones de cada una de las variables analizadas

Variable (unidades)	Categorías	Rango	Identificación
Tipos de genética	5	-	V, W, X, Y, Z
Tipos de alimento	2	-	A, B
Tipo de camión	3	-	A, B, C
Densidad de transporte (m <sup>2</sup> /cerdo)	3	< 0.42	P
		0.42 – 0.45	Q
		> 0.45	R
Tiempo de transporte (min)	4	≤ 30	C
		30 - 60	M
		60 - 120	L
		> 120	ML
Variaciones de temperatura (°C)	4	< 3	Q
		3 - 9	R
		9 - 15	S
		> 15	T
Rangos de temperatura (°C)	3	< 15	1
		> 18	2
		< 15 y > 18	3
Variaciones de humedad relativa (%)	4	< 10	A
		11 – 20	B
		21 – 30	C
		> 30	D
Rangos de humedad relativa (%)	3	< 59	E
		> 65	F
		< 59 y > 65	G
Tiempo de reposo (horas)	4	< 12	1
		12 - 18	2
		19 - 24	3
		> 24	4
Peso em pie (kg)	3	< 110	
		110 - 130	
		> 130	L M P
Espesor grasa dorsal (mm)	3	< 12	B
		12 - 20	M
		> 20	A
Porcentaje de mermas (%)	3	< 2.5	B
		2.5 - 3	N
		> 3	A

Al analizar las categorías de las diferentes variables con respecto a la condición PSE a los 45 minutos post-mortem, se encontró diferencia entre los tipos de genética ( $p < 0.05$ ). Hubo diferencia entre la genética W con respecto a la genética Y y a la Z, y entre la genética X con respecto a la genética Z (véase Tabla 2). De acuerdo con los datos obtenidos la genética Y tuvo menor frecuencia de PSE que la genética V.

Entre los sexos también se presentó diferencia, siendo los machos los que tuvieron mayores valores de pH ( $p < 0.05$ ). La carne de los machos tuvo 24.67% de PSE, mientras que la carne de las hembras tuvo 25.74% de PSE.

Para la variable espesor de grasa dorsal no hubo diferencia ( $p > 0.05$ ), sin embargo la categoría A ( $> 20$  mm) fue la que presentó menor porcentaje de la condición PSE (5.0%), comparada con las categorías M y B (26.81 y 33.33%, respectivamente).

**Tabla 2.** Relación entre los tipos de genética y la frecuencia de la condición PSE a los 45 minutos post-mortem

Genética	Frecuencia de PSE (%)
V	46.15 <sup>a,b</sup>
Z	30.30 <sup>c</sup>
X	28.48 <sup>a,b</sup>
W	20.00 <sup>a</sup>
Y	18.91 <sup>b,c</sup>

Letras diferentes indican que hubo diferencia estadística significativa ( $p < 0.05$ )

El tipo de alimento solo presentó diferencias para la condición PSE a los 45 minutos ( $p < 0.05$ ), siendo el alimento A el que presentó valores más altos de pH y por lo tanto menor porcentaje de PSE (19.19%) que el alimento B (42.5%). En la tabla 3, se observan las formulaciones de los dos alimentos utilizados en la investigación.

**Tabla 3.** Formulaciones de los alimentos utilizados.

Nutriente	Alimento A	Alimento B
Proteína % Mín.	15	14
Grasa % Mín.	3	3
Fibra % Máx.	8	8
Cenizas % Máx.	9	9
Humedad % Máx.	12	13

El tiempo de ayuno, por su parte, no tuvo diferencias para ninguna de las condiciones evaluadas ( $p > 0.05$ ); sin embargo, se debe destacar que el ayuno de 36 horas presentó los valores más adecuados de pH45, lo que se tradujo en menor incidencia sobre la condición PSE (véase Tabla 4).

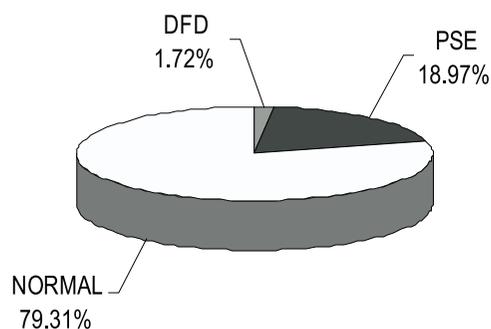
**Tabla 4.** Influencia de los tiempos de ayuno sobre la condición de la carne de acuerdo con las mediciones de pH a los 45 minutos post-mortem.

Tiempo de ayuno (horas)	Condición de la carne (%)		
	Normal	PSE	DFD
36	58.71	19.35	21.94
30	49.68	25.16	25.16
24	49.35	31.17	19.48

El tiempo de reposo no presentó diferencias para las condiciones PSE y DFD a los 45 minutos ( $p > 0.05$ ), sin embargo el tiempo de reposo 3 (19 - 24 horas), fue el que presentó carne con mayor porcentaje de PSE (33.33%) comparado con el reposo 1 ( $< 12$  horas) que presentó 10% de PSE.

#### Mediciones de pH a las 24 horas post-mortem

Los valores de pH24 para las canales evaluadas indicaron que el 79.31% (368) fue carne normal (pH entre 5.6 y 6.1), el 18.97% (88 canales) presentaron la condición PSE (pH inferior a 5.6) y el 1.72% (8 canales) denotaron la presencia de la condición DFD (pH mayor o igual a 6.2) (véase Figura 2).



**Figura 2.** Distribución porcentual para los estados de la carne según los valores de pH24

En lo que respecta a la relación entre el pH24 y las variables evaluadas se encontró asociación altamente significativa ( $p < 0.01$ ), para la variación de humedad relativa, tiempo de ayuno, densidad de transporte, tipo de alimento, tiempo de reposo, tipo

de camión, genética y peso en pie; el resto de las variables no se asocio con el pH24 ( $p > 0.05$ ).

Al analizar las categorías de las diferentes variables con respecto a la condición PSE a las 24 horas post-mortem, se encontró diferencia entre las densidades, los tipos de alimento y entre los tipos de camión ( $p < 0.05$ ). La densidad Q se asoció con un menor valor de PSE (9.6%), comparada con la densidad P (52.5%). Los cerdos que consumieron el alimento A presentaron 15.41% de PSE y los que consumieron el alimento B tuvieron 27.69%. Los cerdos transportados en el camión C no presentaron PSE, los del camión A presentaron 19.39% y los del B tuvieron 21.33% de la condición.

*Interacción de variables*

Considerando las interacciones entre las variables genética, sexo, alimento y ayuno respecto de la condición PSE a los 45 minutos, solo se encontró interacción significativa entre el sexo y el ayuno ( $p < 0.05$ ). A las 24 horas la interacción sexo-alimento también fue significativa ( $p < 0.05$ ). Al realizar las interacciones entre las variables tiempo de transporte, densidad, variaciones y rangos de temperatura, variaciones y rangos de humedad y tipo de camión, no se encontró asociación con respecto a la condición PSE a los 45 minutos. Por su parte, en la interacción ayuno, sexo, tiempo de transporte y reposo, se encontró asociación entre el sexo y el tiempo de transporte para la condición PSE a los 45 minutos. A las 24 horas no se encontró asociación. Finalmente, al analizar la interacción ayuno, mermas, reposo, no se encontró asociación con respecto a la condición PSE ni a los 45 minutos ni a las 24 horas.

*Análisis de componentes principales*

Con el fin de determinar la participación de algunas de las variables cuantitativas sobre la condición PSE a las 24 horas, se utilizó un análisis de componentes principales involucrando las variables peso en pie, peso de la canal, rendimiento de la canal caliente y de la canal refrigerada, espesor de grasa dorsal y porcentaje de mermas, los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla 5.

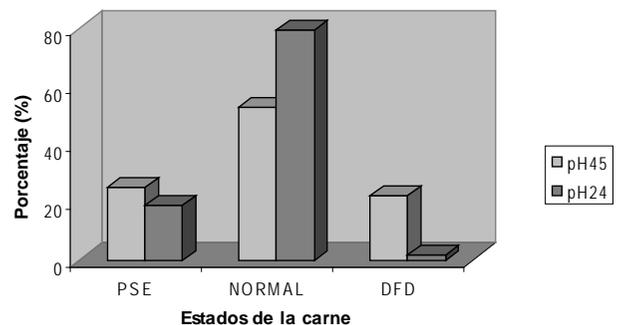
**Tabla 5.** Análisis de componentes principales para variables cuantitativas y su asociación con la condición PSE a las 24 horas

Variables	Factores	
	Factor 1	Factor 2
Peso en pie	0.91869	- 0.02710
Peso canal	0.94397	- 0.14773
Rendimiento caliente	0.31624	- 0.62496
Gras derecha	0.80517	0.41584
Grasa izquierda	0.80168	0.41631
Rendimiento frío	0.94656	- 0.16100
Mermas	-0.30449	0.50635

Análisis del cambio en los estados de la carne entre pH45 y pH24

Al analizar el cambio ocurrido en los estados de la carne entre los 45 minutos y las 24 horas post-mortem, se encontró que el 0.22% de las canales que presentaron condición DFD a los 45 minutos continuó igual a las 24 horas, el 19.40% de carne DFD pasó a condición Normal, mientras que el 2.59% de ésta pasó a PSE. Por otra parte, el 1.29% de las canales que fue Normal a los 45 minutos pasó a DFD a las 24 horas, el 42.46% de las canales continuó como Normal y el 8.84% pasó al estado PSE. En lo concerniente a la carne PSE, el 0.22% de las canales pasó a la condición DFD, el 17.46% pasó al estado Normal y el 7.54% siguió como PSE.

En la figura 3, se puede observar el cambio porcentual presentado para los diferentes estados de la carne evaluados entre las mediciones de pH45 y pH24, donde se nota un aumento significativo en la carne significativo (26.72%), un importante decrecimiento en la condición DFD (20.48%), y una leve disminución para la condición PSE (6.25%).



**Figura 3.** Cambio porcentual de la presentación de los estados de la carne según tiempo de medición de pH

## Discusión

Al analizar los resultados de las mediciones del pH45, se encontró que el porcentaje de carne PSE obtenido (25.22 %) (véase Figura 1), está dentro de los rangos reportados por Owen en los Estados Unidos (22), quien informó que los niveles de PSE fluctúan entre 6 y 33%, dependiendo de las condiciones de cada planta de sacrificio. Los resultados obtenidos en este estudio con respecto a la relación entre los tipos de genética y la frecuencia de la condición PSE, coinciden con lo reportado por Castillo (6), quién realizó un estudio en el que encontró que la genética del cerdo influyó sobre la presentación de la carne PSE.

La diferencia observada entre algunas de las genéticas estudiadas con respecto a su incidencia sobre la condición PSE, puede ser explicada por la sensibilidad genética que presentan algunos cerdos al estrés, aunado a los factores estresantes a los que se ven expuestos inmediatamente antes del sacrificio o incluso mucho antes del sacrificio (16). De hecho, la relación entre la susceptibilidad genética al estrés y la calidad de la carne ha sido considerada como la causa principal de la condición PSE (15).

A pesar de que según los datos obtenidos se indica que la diferencia entre los sexos no fue alta, las hembras tuvieron mayor incidencia sobre la condición PSE que los machos, lo cual coincide con lo afirmado por Coma (8), quién sostiene que esto podría deberse a diferencias en la utilización del glucógeno durante el ayuno, a la composición de fibras musculares o al comportamiento durante el transporte y pre-sacrificio por parte de las hembras. Estudios recientes sugieren que el efecto del sexo del animal sobre la calidad de la carne es mínimo (24, 28). Con respecto a la variable espesor de grasa dorsal, a pesar de no haberse encontrado diferencia estadística, Steven (26) encontró que cerdos con menos de 15.42 mm de grasa tendieron a ser más susceptibles a producir carne de pobre calidad, e incluso reportó que canales con un poco más de grasa podrían asegurar mejor calidad de la carne. Aponte (3), en un estudio de 100 canales no observó diferencias significativas para el espesor de la grasa dorsal, pero pudo apreciar que esta variable afectó significativamente la condición PSE, reportando que

las canales con un menor espesor de grasa dorsal ( $19.65 \pm 0.75$  mm) son más afectadas por la condición que las de mayor espesor de grasa ( $23.11 \pm 0.57$  mm).

A pesar de que el tipo de alimento solo presentó diferencias para la condición PSE a los 45 minutos, es de considerar, tal y como lo reporta Coma (8), que la importancia de la alimentación en la incidencia de problemas de PSE y DFD es poco determinante; sin embargo, algunas pautas de alimentación pueden ser útiles en disminuir la incidencia de estas anomalías como es el caso de los niveles de vitamina E. Otro factor que puede afectar la expresión de la condición PSE es la contaminación del alimento por micotoxinas (27).

Las formulaciones de los alimentos utilizados en esta investigación (véase Tabla 3), sólo difieren en el porcentaje de proteína y de humedad aportado, y a este respecto la literatura no reporta relación entre los niveles de estos nutrientes y la condición PSE. Lo anterior sugiere que el alimento como tal no incidió directamente sobre la condición PSE, sin embargo su asociación con otras variables si tuvo un efecto importante tal y como se ve más adelante al analizar la interacción entre variables. Es de anotar que ambos alimentos tenían adicionalmente 10 ppm (9 g/ton) de Paylean (promotor de crecimiento), pero el uso de este producto parece tener poco o ningún efecto sobre la calidad muscular (26).

En lo concerniente a la variable tiempo de ayuno, Coma *et al* (8), luego de estudiar el efecto de ayunos prolongados (12, 36 y 60 horas) sobre la calidad de la carne han concluido que dicho efecto depende de la interacción que existe entre genética y manejo previo al sacrificio. Los ayunos prolongados no son recomendables, debido a que en ayunos de más de 24 horas las reservas energéticas del músculo se pueden restablecer a partir de los depósitos grasos, repercutiendo negativamente en la calidad de la carne, rendimientos en canal y pérdidas de peso corporal, lo cual no fue observado en esta investigación (8). Sin embargo, tal como lo afirman estos autores, factores como la predisposición a carnes PSE, cargas de mañana o noche, duración y densidad durante el transporte, y época del año deben tenerse en cuenta a la hora de decidir la exacta duración del ayuno en la granja.

Si bien el tiempo de reposo no presentó diferencias para las condiciones PSE y DFD a los 45 minutos, Grandin (9), considera que el período de descanso óptimo para los cerdos antes del sacrificio, para limitar la aparición de la carne PSE, es de 2 a 4 horas, mientras que para otros autores este período debe ser de 2 a 6 horas (9). Sin embargo, el tiempo de reposo puede variar ampliamente, de menos de una hora a más de 24 horas, según características particulares (19).

Según estudios reportados por Owen (22), cerdos con reposo de una hora antes del sacrificio tuvieron menor presentación de carne PSE comparados con cerdos reposados durante 3 horas. Los reposos cortos mejoran la calidad de la carne, ya que tienen una temperatura muscular más baja y un incremento en el pH24. A pesar de la diferencia presentada entre estos tiempos de reposo y los de esta investigación, se observa la concordancia con respecto a la mayor incidencia de carne PSE cuando se aumenta el tiempo de reposo (22).

Con respecto al tipo de camión que fue una de las variables que se asocio en forma altamente significativa con la condición PSE, es de anotar que no se presentaron diferencias, por lo que su incidencia sobre la condición PSE pudo haberse dado principalmente por las diferentes densidades que se brindaron a los cerdos durante el transporte.

A pesar de que la duración del transporte tuvo una asociación significativa con la condición PSE, no se encontraron diferencias entre estos. Dichos resultados difieren de lo reportado por Aponte (3), quien no encontró efecto del tiempo del transporte sobre la condición PSE, aunque afirma que al aumentar el tiempo de transporte hubo tendencia a disminuir la condición. En esta investigación por el contrario la tendencia fue al aumento de la condición.

De otro lado, cuando se analizó la interacción entre las variables genética, sexo, tipo de alimento y tiempo de ayuno con respecto a la condición PSE a los 45 minutos se encontró que la interacción sexo-ayuno presentó una asociación significativa sobre la condición ( $p < 0.05$ ). Al realizar el mismo análisis con respecto a la condición PSE a las 24 horas,

la interacción sexo-alimento fue la que presentó asociación significativa ( $p < 0.05$ ). Con base en estos resultados, se podría decir que los machos y las hembras responden en forma diferente al ayuno y al tipo de alimento, lo cual afecta su comportamiento y los puede predisponer a presentar dicha condición en la carne.

#### *Interacción de variables*

Con respecto a las interacciones entre algunas de las variables, se observó que de acuerdo a las combinaciones, se presentaban diferentes resultados en los valores de pH45 y pH24, y como consecuencia en la condición PSE. Para el caso de los tiempos de ayuno (24, 30 y 36 horas) y su asociación con las variables tipo de genética, sexo, alimento y tiempo de reposo se encontró lo siguiente: los machos de la genética V que consumieron el alimento A, presentaron menor porcentaje de PSE de acuerdo con los valores de pH45, cuando estuvieron sometidos a un periodo de ayuno de 36 horas (20%), mientras que los porcentajes de PSE para los ayunos de 24 y 30 horas fueron 66.67 y 90%, respectivamente.

Las hembras de genética Y que estuvieron consumiendo alimento B, tuvieron valores más adecuados de pH45 y pH24 cuando el ayuno fue de 36 horas, mientras que cuando estuvieron consumiendo el alimento A, el mejor ayuno fue el de 24 horas. Los machos de esta misma genética que consumieron alimento A, presentaron más adecuados valores de pH45 y pH24 cuando tuvieron un ayuno de 24 horas. De acuerdo con estos datos se podría pensar en forma general que la condición de la carne estuvo influenciada por diferencias entre los tipos de alimento y que el alimento A tuvo relación con los valores de pH24.

Las hembras de genética Y y reposo 2, tuvieron mejores condiciones de la carne a las 24 horas de ayuno, mientras que estas mismas hembras pero con reposo 3 tuvieron buen comportamiento a las 30 horas de ayuno de acuerdo al pH45 y a las 36 horas de ayuno de acuerdo al pH24. Los machos de genética Y y reposo 2 respondieron positivamente con el ayuno de 36 horas, mientras que los machos de reposo 3 lo hicieron con el ayuno de 24 horas (según valores de pH45 y pH24). Lo anterior podría

indicar que tanto el sexo como el tiempo de reposo están afectando los valores de pH45 y pH24.

Los machos de genética V con tiempo de reposo 3, presentaron mejores resultados de pH45 cuando ayunaron 36 horas, sin embargo de acuerdo a las mediciones de pH24 el mejor ayuno fue el de 24 horas.

Las interacciones entre los diferentes espesores de grasa dorsal con respecto a los tipos de genética, sexo y pesos en pie, dieron como resultado que las hembras de genética Y y peso en pie P presentaron pH45 más normal cuando el espesor de grasa fue el B, mientras que a las 24 horas los mejores valores de pH se dieron con el espesor de grasa A. Por otra parte, los machos de genética Y y peso P tuvieron mejores resultados a los 45 minutos con el espesor de grasa M, y los mejores resultados a las 24 horas se obtuvieron con el espesor de grasa A.

De acuerdo con lo anterior, se podría afirmar que el nivel de grasa dorsal es lo que más incide en la interacción de dichas variables y que los cerdos con altos niveles de grasa dorsal, como es el caso de la categoría de grasa A, tienen mejores resultados de pH24 que los de las otras categorías y por lo tanto esta característica les permite tener una menor incidencia sobre la condición PSE, lo cual concuerda con las conclusiones de Aponte (3), quien reporta que las canales con un menor espesor de grasa dorsal son más afectadas por la condición PSE.

Con respecto a los diferentes tipos de mermas se observó que no hubo una interacción clara con las demás variables analizadas (genética, sexo y peso en pie), lo cual podría explicar por que razón dichas mermas no tuvieron incidencia sobre la condición PSE.

En lo concerniente a la interacción de las diferentes densidades de transporte de los cerdos con respecto a los tipos de genética, sexo y tipo de camión, se encontró que las hembras de genética Y que fueron transportadas en el camión A tuvieron menores proporciones de PSE tanto a los 45 minutos como a las 24 horas, cuando fueron transportados con la densidad Q. Estos resultados concuerdan con

estudios realizados por Gispert *et al* (15), quienes encontraron que densidades mayores de 0.40 m<sup>2</sup>/100 kg de cerdo producen una mejor proporción de carne de buena calidad.

En forma general al analizar la interacción entre las variables con respecto a la condición PSE a los 45 minutos, se podría afirmar que tanto la duración del transporte como el tiempo de ayuno afectan en forma diferente a los machos y a las hembras, mientras que la condición PSE a las 24 horas se vio afectada en forma diferente para machos y hembras, de acuerdo al tipo de alimento consumido.

De acuerdo con los datos obtenidos en cuanto al análisis de componentes principales (véase Tabla 5), los resultados del factor 1 indican que la condición PSE a las 24 horas está siendo explicada por los rendimientos en frío (94.65%), los pesos de la canal (94.39%) y los pesos en pie (91.86%). Para el factor 2, la condición está siendo explicada por los rendimientos de la canal caliente (62.49%) y por las mermas (50.63%), ambos factores explican el 74% de la condición.

Con base en lo observado en el análisis de componentes principales, el cambio del estado de carne Normal a PSE entre los 45 minutos y las 24 horas post-mortem (véase Figura 3), puede estar afectado por los rendimientos en caliente y en frío, los pesos de la canal, los pesos en pie, y por las mermas de las canales. Adicionalmente, se debe tener en cuenta la influencia del sistema de enfriamiento, ya que si este es inapropiado puede afectar la condición de la carne tal como lo reportan varios autores (9, 30).

El cambio del estado de la carne PSE a Normal es poco confiable, ya que como lo reporta Carballo (4), si el pH45 es muy bajo, la carne es considerada PSE, y a pesar de que a las 24 horas el pH de las canales Normales y de las canales PSE se igualan, las características de calidad ya están marcadas y son diferentes en ambos. A pesar de la disminución en el porcentaje de la condición PSE (6.25%) según los resultados de las mediciones a las 24 horas (pH24) (véase Figura 3), se debe tener en cuenta, tal como lo reporta Ordóñez *et al* (21), que es más importante el descenso del pH que ocurre en la primera hora

post-mortem que el pH final (pH24), ya que lo que determina la presentación de la carne PSE es la velocidad del descenso del pH. Adicionalmente, la descomposición del glucógeno es más rápida, después del sacrificio, en carnes que ya presentaron el defecto PSE, lo que produce una mayor acidez en dichas carnes y por lo tanto altera su calidad (9). Con base en lo anterior, se podría decir que el 6.25 % de las canales de cerdo que presentaron un pH24 considerado Normal, tienen alteraciones de calidad ya que su pH45 fue característico de una carne PSE.

Los resultados de esta investigación indicaron que existe asociación entre las variables densidad de transporte, tipo de alimento, tipo de camión, genética y tiempo de reposo, sobre la presentación de la condición PSE a los 45 minutos post-mortem, razón por la cual deben ser muy tenidos en cuenta para tratar de disminuir al máximo su incidencia sobre la presentación de la condición. Adicionalmente, mediante el análisis de las categorías de las variables, se encontró que hubo diferencias entre los tipos de genética, entre los sexos y entre los tipos de alimento y se encontraron interacciones entre el sexo y variables como el ayuno, alimento, reposo y tiempo de transporte, lo cual sugiere que a pesar de que el sexo como tal no tiene una asociación significativa sobre la presentación de la condición PSE muchos factores, como en este caso, pueden afectarlo y por lo tanto predisponerlo

para que presente dicho defecto en la carne. Otras interacciones entre variables como los tiempos de ayuno, la genética y el tipo de alimento, también son determinantes en la presentación de la condición PSE. Con base en lo anterior, se comprueba que son muchos los factores que en forma aislada pueden estar asociados con la presentación de la condición PSE, pero que además existen interacciones entre algunas variables que sumadas afectan significativamente el comportamiento del cerdo, lo cual se ve reflejado en el deterioro de la calidad de la carne.

Dichos resultados sugieren que es necesario continuar realizando investigaciones en las cuales se analice a mayor profundidad como la interacción entre las diferentes variables asociadas con la condición PSE pueden estar determinando su grado de aparición en las canales de cerdo.

### Agradecimientos

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos a todo el personal administrativo, personal de granjas y personal de la planta de sacrificio que colaboró con la realización de esta investigación, de igual manera al Doctor Alberto Botero Gutiérrez por su constante apoyo y acompañamiento.

### Referencias

1. Alvarado C. Current issues in the poultry industry: meat quality and moisture retention. Nutritional biotechnology in the feed and food industries. Lyons Tp, Jacques KA, editores. Proceedings of alltech's eighteenth annual symposium. Nottingham: 2002. p.13-20.
2. Alvarez C, Torre A. La conductividad eléctrica como sistema de detección de carnes de baja calidad en el proceso de elaboración de jamón cocido. [Consultado: enero 25 de 2003.] URL: <http://www.inode.es/~yago/entrada.html>.
3. Aponte J. Incidencia en la carne de cerdo de la condición PSE (Pálida, Suave, Exudativa) en la región central del país. Trabajo de Investigación, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Alejandría; 1990. 87p.
4. Carballo GB, López DG. Manual de Bioquímica y Tecnología de la carne. Madrid: A. Madrid Vicente Ediciones; 1991.
5. Cassens RG. Historical perspectives and current aspects of pork meat quality in the USA. Food Chem 2000; 69:357-363.
6. Castillo J. Prevalencia de la característica Pálida, Blanda y Exudativa (PSE). Trabajo de Investigación, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Central de Venezuela, Alejandría; 2000. 102p.
7. Channon HA, Walker PJ, Kerr MG, Baud SR. Application of constant current, low voltage electrical stimulation systems to pig carcasses and its effects on pork quality. Meat Sci 2003; 65:1309-1313.
8. Coma J, Piquer J. Calidad de carne en porcinos: efecto de la nutrición. En: XV curso de especialización avances en nutrición y alimentación animal; Barcelona: Grupo Vall Companys; 2000. p.197-222.
9. Denaburski J, Sáiz CF, Bax T. Causas más importantes y sistemas de prevención de casos de carne porcina defectuosa tipo PSE. Anaporc 2001; 217:35-43.

10. Ellis M, McKeith FK. Factors affecting the eating quality of pork. In: Hollis, G.R. *Growth of the pig*. Illinois: Cab International; 1993. p.215-238.
11. Fabrega E, Manteca X, Font J, Gispert M, Carrión D, *et al*. Effects of halothane gene and pre-slaughter treatment on meat quality and welfare from two pig crosses. *Meat Sci* 2002; 62:463-472.
12. Fernandes RA, Doamaral SP, Goncalves LC, Ferrugem GJ. Determinação das características físico – químicas da carne de suínos em fase de crescimento. *Tec Carnes Campinas* 2001; 3:13-18.
13. Gamboa GJ, Alarcón RA, Grado AA, Rodríguez AF. Efecto del tiempo entre insensibilizado y desangrado y del tiempo de escaldado sobre las características fisicoquímicas de la carne de cerdo. Tesis de doctorado, Facultad de Zootecnia, Universidad Autónoma de Chihuahua - México, 2001. 115 p.
14. Gerrard DE. Pork quality: beyond the stress gene. Department of Animal Sciences. Purdue University. West Lafayette, Indiana. 1997; [Enero 12 de 2003.] URL: <http://mark.asci.ncsu.edu/nsif/97proc/gerrard.htm>.
15. Gispert M, Faucitano L, Oliver MA, Guàrdia MD, Coll A, *et al*. A survey of pre-slaughter conditions, halothane gene frequency, and carcass and meat quality in five Spanish pig commercial abattoirs. *Meat Science* 2000; 55:97-106.
16. Guàrdia MD, Estany J, Balasch S, Oliver MA, Gispert M, *et al*. Risk assessment of PSE condition due to pre-slaughter conditions and RYR1 gene in pigs. *Meat Science* 2004; 67:471-478.
17. Laville E, Sayd T, Sante'-Lhoutellier V, Morzel M, Labas R, *et al*. Characterisation of PSE zones in semimembranosus pig muscle. *Meat Science* 2005; 70:167-172.
18. Leheska JM, Wulf DM, Maddock RJ. Effects of fasting and transportation on pork quality development and extent of postmortem metabolism. *J Anim Sci* 2003; 81:3194-3202.
19. Nanni CL, Lo Fiego DP, Dall'Olio S, Davoli R, Russo V. Combined effects of pre-slaughter treatments and lairage time on carcass and meat quality in pigs of different halothane genotype. *Meat Science* 2002; 61:41-47.
20. O'Neill DJ, Lynch PB, Troyc DJ, Buckley DJ, Kerry JP. Influence of the time of year on the incidence of PSE and DFD in Irish pigmeat. *Meat Science* 2003; 64:105-111.
21. Ordóñez PJ, Cambero RM, Fernández AL. Características generales de la carne y componentes fundamentales (Capítulo 7). In: *Tecnología de los alimentos Vol II (alimentos de origen animal)*. Madrid: Síntesis; 1998. p.169-186.
22. Owen BL, Montgomery JL, Ramsey CB, Miller MF. Preslaughter resting and hot-fat trimming effects on the incidence of pale, soft and exudative (PSE) pork and ham processing characteristics. *Meat Sci* 2000; 54:221-229.
23. Plonait H. Influencia de las condiciones de alojamiento sobre la aparición de enfermedades. In: Plonait H, Bickhardt K, editores. *Manual de las Enfermedades del Cerdo*. 2nd ed. Zaragoza: Acribia; 2001. p.617.
24. Pommier SA, Pomar C, Godbout D. Effect of the halothane genotype and stress on animal performance, carcass composition and meat quality of crossbred pigs. *Can J Anim Sci* 1998; 78:257-264.
25. Schilling MW, Marriotta NG, Acton JC, Anderson-Cook C, Alvarado CZ, *et al*. Utilization of response surface modeling to evaluate the effects of non-meat adjuncts and combinations of PSE and RFN pork on water holding capacity and cooked color in the production of boneless cured pork. *Meat Science* 2004; 66: 371-381.
26. Steven JM. Pork Quality and Exhibitions: Understanding quality and factors that Influence quality in youth swine shows. [Junio 13 de 2004.] URL: [http://www.nationalswine.com/formembersonly/PDFS/07\\_member\\_handbook.pdf](http://www.nationalswine.com/formembersonly/PDFS/07_member_handbook.pdf).
27. Todd MB, Alden MB, Gretchen MH, Fun SC, Gale MS. The effect of cyclopiazonic acid on the development of pale, soft, and exudative pork from pigs of defined malignant hyperthermia genotype. *J Anim Sci* 1999; 77:166-172.
28. Van der Wal PG, Engel B, Reimert HG. The effect of stress, applied immediately before stunning, on pork quality. *Meat Sci* 1999; 53:101-106.
29. Velazco J. Aspectos importantes en la medición del pH. *Carne Tec* 2001; 8:48-51.
30. Velazco J. Prevención de PSE en carne de cerdo. *Carne Tec* 2001; 8:28-34.