

Evaluación del método de aturdimiento y tiempo de reposo corto sobre las características de la canal y la carne de cerdo

Assessment of the stunning method and short lairage time on the carcass and pork quality traits

Nancy Jerez-Timaure^{1,4}, Jackeline Trompiz², Eugenio Mendoza³,
Lilia Arenas de Moreno²

RESUMEN

Se evaluó el efecto de dos tiempos de reposo corto (TRC: ≤ 1 h y 3h), dos métodos de aturdimiento – MA (electronarcosis a dos puntos y gas CO₂) y su interacción sobre la calidad de la canal y de la carne de cerdos. Se trabajó con 108 cerdos macho castrados de 95-100 kg. Se determinó la frecuencia de defectos en la canal (equimosis-petequias, hematomas, separación hueso/músculo en la chuleta y fractura sucia y limpia) y las características de la calidad de la carne (pH_{45min}, pH_{24h}, color, capacidad de retención de agua [CRA], pérdida por goteo). El TRC afectó a la CRA, donde las carnes provenientes de animales con TRC <1 h tuvieron mayores pérdidas de agua (24.6%) al compararlos con las provenientes de animales con TRC=3h (21.3%) ($p<0.05$). Los animales sometidos a electronarcosis presentaron una mayor incidencia de defectos en la chuleta (hematomas, separación hueso/músculo en la chuleta, fractura sucia), y menor CRA ($p<0.05$). El MA por electronarcosis presentó mayor predisposición a producir una incidencia de defectos en la canal y en la calidad de la canal y de la carne porcina; mientras que los TRC evaluados no causaron variaciones importantes ni en los defectos de canal ni en la calidad de la carne.

Palabras clave: bienestar animal, método de aturdimiento, reposo, calidad de carne, cerdos

¹ Instituto de Ciencia Animal, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile

² Departamento de Zootecnia e Industria Animal, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela

³ Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela

⁴ E-mail: nancy.jerez@uach.cl

Recibido: 10 de octubre de 2019

Aceptado para publicación: 4 de julio de 2020

Publicado: 29 de septiembre de 2020

ABSTRACT

The effect of short lairage time (SLT: >1 h and 3 h) and two stunning methods – SM (electrical and gas) and their interaction on carcass and pork quality was evaluated. The study was carried out with 108 barrow male pigs weighing 95-100 kg. Carcass defects (ecchymosis-petechiae, bruises, bone/muscle separation in the pork chop loins and bone fractures) and meat quality traits: $\text{pH}_{45\text{min}}$, $\text{pH}_{24\text{h}}$, color, water holding capacity (WHC), and drip loss (DL) were determined. The SLT affected WHC ($p < 0.05$), where the meat from animals with $\text{SLT} \leq 1$ h had higher water losses (24.6%) when compared to those from animals with $\text{SLT} = 3$ h (21.3%) ($p < 0.05$). The electrical SM caused more carcass defects (bruises, bone separation in the pork chop loins and bone fractures in pork chops) and lower WHC value ($p < 0.05$). The bone fractures were found in a higher incidence in carcasses from electrical SM with minimal lairage time and electrical SM with 3 h of SLT. The electrical SM caused a higher incidence of carcass defects and lower WHC. The electrical SM was more predisposed to produce an incidence of defects in the carcass, in the quality of the carcass and pig meat, while the SLT treatments did not cause significant variations neither in the carcass defects nor in the quality of the meat.

Key words: animal welfare, stunning methods, lairage time, meat quality, pork

INTRODUCCIÓN

La calidad de la canal y la carne está influenciada por factores intrínsecos (genética, edad, raza, sexo) y extrínsecos tales como alimentación, condiciones climáticas y el manejo *ante mortem* (Hambrech *et al.*, 2003; Alarcón-Rojo *et al.*, 2008). En relación con este último, es bien conocido que el manejo de los animales antes del sacrificio puede conducir de forma irreversible a deficiencias en la calidad de la canal y la carne de cerdo (Van de Perre *et al.*, 2010; Adzitey y Nurul, 2011).

Entre los principales defectos de la calidad de la carne asociados al manejo *ante mortem* se encuentran la carne pálida suave y exudativa (PSE) y la carne oscura, firme y seca (DFD, por sus siglas en inglés). Las carnes PSE están asociadas, además del factor genético (susceptibilidad al estrés), al estrés agudo previo al sacrificio, mientras que las carnes DFD (menos común en cerdos), se relacionan con eventos de estrés crónico, tales como el transporte y ayuno prolongado.

Ambos defectos de la calidad han sido ampliamente estudiados (Adzitey y Nurul, 2011; Schwartzkopf-Genswein *et al.*, 2012; Romero-Peñuela y Sánchez-Valencia, 2015; Uribe-Corrales y Henao-Villegas, 2017) y todavía constituyen un problema en la industria cárnica. Por otro lado, otros defectos como las contusiones, petequias, equimosis, fracturas, y hematomas son frecuentes y están altamente asociados con eventos de mal manejo previo al sacrificio (Jerez-Timaure *et al.*, 2013a; Varón-Álvarez *et al.*, 2014; Santurtun y Phillips, 2015; Romero *et al.*, 2016).

Los manejos *ante mortem*: ayuno, carga, descarga, tiempo de transporte, factores ambientales, manejo del personal, tiempo de reposo y aturdimiento, son elementos altamente estresantes que ocasionan respuestas fisiológicas en los animales, pudiendo traducirse en problemas de rendimiento y calidad de la carne (Hambrech *et al.*, 2004; Brown *et al.*, 2005; Miranda-de la Lama, 2013; Dokmanoviæ *et al.*, 2014; Èobanoviæ *et al.*, 2016). El tiempo de reposo en los corrales del matadero y la insensibilización de los cerdos constituyen los principales facto-

res *ante mortem* que afectan la calidad de la canal y la carne. Vermeulen *et al.* (2015) comprobaron que los manejos más cercanos a la fase de aturdimiento (incluido el mismo) fueron los que mayormente afectaron la calidad de la carne porcina. En cerdos, los métodos de aturdimiento más comunes son: el sistema eléctrico (electronarcosis) y el sistema a gas (dióxido de carbono - CO₂); no obstante, aún existen discrepancias sobre cómo estos métodos afectan la calidad de la carne de cerdos (Mota-Rojas *et al.*, 2012; Bolaños-López *et al.*, 2014; Acevedo-Giraldo *et al.*, 2016).

El tiempo de reposo ha sido extensivamente estudiado como un factor importante que induce estrés en los animales próximos a ser sacrificados; sin embargo, en términos prácticos existen divergencias en cuanto la duración del tiempo de reposo, debido a que está relacionado con el tiempo total de ayuno al que son sometidos los animales. Al parecer, la práctica de acortar el tiempo de reposo (3-6 h) es más favorable que el tiempo de reposo largo >18 h (Jerez-Timaure *et al.*, 2013b). Dall Aaslyng y Barton Gade (2001) afirmaron que el reposo en corrales en el matadero no es necesario cuando el manejo previo al sacrificio es poco estresante. Otros recomiendan, un tiempo de reposo de 1-3 h para permitir una adecuada recuperación de eventos estresantes previos, tales como el transporte, toda vez que un tiempo de reposo prolongado disminuye las reservas de glucógeno muscular, afecta negativamente la calidad de la canal y favorece la incidencia de contusiones o hemorragias (Warriss, 2003; Panella-Riera *et al.*, 2012; Dokmanovic *et al.*, 2015). Desde el punto de vista operativo, resulta ventajoso (y en numerosas ocasiones conveniente) para la industria cárnica, realizar el sacrificio con el mínimo reposo, pero no se conoce el impacto que pudiera tener sobre la calidad de la carne en cerdos.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del tiempo de reposo corto, el método de aturdimiento y su combinación sobre la calidad de la canal y la carne de cerdos bajo condiciones industriales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Animales y Manejo Animal

Se utilizaron 108 cerdos (machos castrados) destinados a engorde pertenecientes a una granja comercial, contemporáneos en edad, cuya genética provenía de una línea materna comercial Top pigs C40 y una línea paterna terminal TM. Los cerdos estuvieron bajo condiciones similares de manejo y alimentación. El rango de peso al sacrificio osciló entre 95 y 100 kg de peso vivo con un periodo de vida de 22 a 23 semanas (154-161 d). El retiro del alimento se realizó 12 h antes del embarque.

El movimiento de los cerdos en la granja se realizó de manera cuidadosa, sin agitar los animales. Se seleccionaron 54 cerdos para cada día de evaluación (dos días con siete días intermedios), provenientes de cuatro corrales (13-14 cerdos por corral). Los cerdos se trasladaron desde el corral de engorde hasta el área de preembarque y cada grupo fue colocado en cada una de las divisiones sin posibilidad de mezclarse, ya que los camiones disponían de separadores. Cada lote de cerdos fue embarcado en el mismo camión (con divisiones internas y un solo nivel), y transportados hasta una planta industrial de sacrificio porcino. El tiempo de transporte desde la granja al matadero fue de aproximadamente 30 min.

Una vez en la planta de faenamiento, los animales fueron colocados en corrales divididos en dos grupos al azar para una densidad de 0.8 m²/animal. Los corrales disponían de bebederos, duchas y ventilación adecuada. No se utilizaron varillas eléctricas durante el arreo.

Grupos Experimentales

Los tratamientos asociados al tiempo de reposo corto (TRC) se establecieron de la siguiente manera. Para cada día de evaluación se seleccionaron al azar dos grupos, cada

uno de ellos de 27 animales. El primer grupo fue conducido casi inmediatamente ($TRC \leq 1h$) desde los corrales al área de aturdimiento; el segundo grupo fue alojado en los corrales de espera con disponibilidad de agua, donde reposaron por un periodo de 3 h aproximadamente ($TRC=3h$). Una vez en el área de insensibilización, cada grupo a su vez se dividió en dos subgrupos: el SG1 ($n=14$) fue insensibilizado por el método de aturdimiento (MA) eléctrico o electronarcosis y el SG2 ($n=13$) por el método de aturdimiento a gas con CO_2 .

El método de aturdimiento eléctrico consistió en una pinza con dos electrodos en los extremos que se colocaron detrás de las orejas, pero sin uso de bretes para inmovilizar a los cerdos. Los animales eran conducidos al área de aturdimiento en grupos de ocho aproximadamente. El voltaje fue de 250 V, el amperaje de 1.25 A. El tiempo de colocación de las pinzas osciló entre 3 y 4 s. El método de aturdimiento a gas (CO_2) utilizado fue un sistema DipLift Jumbo (Marel, Dinamarca), el cual funciona con 200-250 g de butina, capacidad para tres animales y tiempo de duración 1 min.

Evaluación de la Canal y la Carne

La medición del pH en el músculo *Longissimus lumborum* (LL) se realizó a nivel del décimo espacio intercostal a los 45 min y 24 h después del sacrificio, utilizando un potenciómetro Testo® 230. El equipo fue calibrado con soluciones buffer a pH 4 y pH 7 al inicio de cada evaluación.

A las 24 h *post mortem*, las canales fueron despostadas siguiendo los procedimientos estándares comerciales de la empresa, los cuales, además, están detallados en Huerta-Leidenz *et al.* (1992). Se extrajeron los cortes magros: pernil (corte recto entre la última vértebra lumbar y primera vértebra sacra), chuleta (entre el 5° espacio intercostal hasta la última vértebra lumbar) y paleta (corte recto entre la 5° y 6° costilla). Durante el desposte se determinó la presencia de petequias, hematomas, separación hueso/

músculo en la chuleta, así como fractura limpia (sin indicios de sangre) y fractura sucia (con presencia de sangre) en los cortes magros.

En el corte de la chuleta, se tomaron muestras del músculo LL para evaluar la capacidad de retención de agua (CRA), pérdida por goteo (PPG) y color. La CRA se analizó según lo descrito por Barbut (1997) y la PPG según Honikel (1998). Además, se evaluó el color muscular mediante una escala determinada visualmente, donde: 1= rosado gris pálido a blanco; 2= rosa grisáceo; 3= rosado rojizo; 4= rosado rojizo oscuro y 5= rojo púrpura oscuro (NPPC, 2000).

Análisis Estadístico

Los datos experimentales se analizaron con el software estadístico del paquete IBM SPSS Statistics v. 23, 2015. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2×2 , donde los factores de estudio fueron: TRC y MA. Se estableció como valor crítico de la significancia $\alpha = 0.05$. En el modelo se incluyó el efecto de día de sacrificio y la interacción TRC x MA. Se utilizó el análisis de varianza para las características de la calidad de la carne. Se utilizaron tablas de frecuencia para el análisis de las variables categóricas polinómicas como el color y los defectos de la canal, acompañadas de las pruebas: Chi cuadrado de Pearson y Razón de verosimilitud. Para medir la intensidad de la asociación se aplicaron las pruebas estadísticas típicas (Phi, V de Cramer y Coeficiente de contingencia) para las variables en escala nominal.

RESULTADOS

La evaluación de la calidad de la canal y la carne se midió en sus dos dimensiones: defectos de calidad en la canal evaluados según la presencia de equimosis-petequias, hematomas, separación del hueso/músculo (a nivel de la chuleta, fractura (limpia y sucia),

Cuadro 1. Frecuencia porcentual de defectos de la canal de cerdo (n=108) según el método de aturdimiento (MA) y el tiempo de reposo (TRC)

Variable	Aturdimiento a gas (CO ₂)		Electronarcosis		Total
	TRC ≤1 h	TRC 3 h	TRC ≤1 h	TRC 3 h	
Paleta					
Sin defecto	18.6	10.5	17.4	15.1	61.6
Equimosis-Petequias	0	0	1.2	2.3	3.5
Hematomas	7.0	4.7	12.8	10.5	34.9
Chuleta					
Sin defecto	15.1 ^a	14.0 ^a	12.8 ^b	11.6 ^b	53.5
Hematomas	0 ^a	0 ^c	4.7 ^b	0 ^c	4.5
Separación hueso del musculo del lomo	1.2 ^a	0 ^a	2.3 ^b	1.2 ^b	4.7
Fractura limpia	9.4 ^a	1.2 ^c	8.1 ^a	5.8 ^d	14.0
Fractura sucia	4.7 ^a	0 ^c	19.8 ^b	10.5 ^d	23.3
Pierna					
Sin defecto	17.4	12.8	10.5	15.1	65.1
Equimosis-Petequias	1.2	0	0	1.2	2.3
Hematomas	7.0	2.3	0	12.8	32.6

Medidas de asociación según Chi cuadrado y Razón de verosimilitud para TRC resultó $p > 0.05$ para paleta, chuleta y pierna

Medidas de asociación para MA y MA x TRC resultó $p > 0.05$ para paleta y pierna, y $p < 0.05$ para chuleta

^{a,b/c,d} Letras distintas comparando MA dentro de cada TRC indican diferencia significativa ($p < 0.05$)

y la calidad de la carne: color y pH (pH_{45min} , pH_{24h}) muscular, CRA y PPG.

En la Cuadro 1 se presenta la distribución de frecuencias de los defectos de calidad de canales de cerdo. Del total (sin discriminar por tratamientos), la proporción de canales encontradas sin ningún defecto visible fue de 61.6, 53.5 y 65.1% para paleta, chuleta y pernil, respectivamente. Los defectos en la canal con mayor frecuencia fueron los

hematomas y equimosis en la paleta (34.9 %) y en el pernil (32.6%), mientras que el defecto fractura (limpia + sucia) se presentó mayormente en la chuleta (37.3%).

Al evaluar la combinación MA x TRC, se observó que los cerdos aturridos eléctricamente en ambos tiempos de reposo presentaron una mayor incidencia de equimosis y hematomas en la paleta, pierna y chuleta que los aturridos a gas. Asimismo, el corte

Cuadro 2. Tabla de contingencia de la variable combinada Método de Aturdimiento (MA) x Tiempo de Reposo corto (TRC) para las variables relacionadas con los defectos de calidad en la canal de cerdo

Variable combinada MA y TRC	Sin defecto	Defectos de calidad de la canal				Total
		Equimosis Hematoma	Separación de la chuleta	Fractura limpia	Fractura sucia	
Gas y TRC ≤ 1						
Recuento	13	0	1	4	4	22
Frecuencia esperada	11.8	1	1	3.1	5.1	22
Residuos tipificados	0.4	-1	0.0	0.5	-0.5	
Residuos corregidos	6	-1.2	0.0	0.7	-0.7	
Gas y TRC=3						
Recuento	12	0	0	1	0	13
Frecuencia esperada	7	0.6	0.6	1.8	3	13
Residuos tipificados	1.9	-0.8	-0.8	-0.6	-1.7	
Residuos corregidos	3	-0.9	-0.9	-0.7	-2.2	
Eléctrico TRC <1						
Recuento	11	4	2	2	7	26
Frecuencia esperada	13.9	1.2	1.2	3.6	6	26
Residuos tipificados	-0.8	2.5	0.7	-0.9	0.4	
Residuos corregidos	-1.4	3.1	0.9	-1.1	0.5	
Eléctrico y TRC=3						
Recuento	10	0	1	5	9	25
Frecuencia esperada	13.4	1.2	1.2	3.5	5.8	25
Residuos tipificados	-0.9	-1.1	-0.2	0.8	1.3	
Residuos corregidos	-1.6	-1.3	-0.2	1	1.8	
Total Recuento	46	4	4	12	20	86

de chuleta de los animales aturridos por electronarcosis presentó una frecuencia del defecto de fractura mayor para TRC ≤ 1 h (27.6%) al compararlo con TRC=3h (16.3%). Las pruebas de asociación Chi cuadrado y Razón de Verosimilitud indicaron que la asociación entre los defectos de la calidad y el tiempo de reposo no son significativos ($p > 0.05$) para los defectos encontrados en la paleta, pierna y chuleta. Para el factor MA y la variable combinada MA x TRC se detectaron únicamente asociaciones significativas ($p < 0.05$) para los defectos de la chuleta con ambas pruebas. En las pruebas de Phi, V de Cramer y Coeficiente de contingencia para dos variables en escala nominal solo se encontró asociación significativa ($p = 0.029$) para el corte de la chuleta y la combinación MA y TRC.

En el Cuadro 2 se presenta la tabla de contingencia para los defectos de la canal, con los valores de la frecuencia esperada, los residuos tipificados y los residuos corregidos. Luego de analizar dichos residuos, se tiene que para la combinación MA a gas y TRC ≤ 1 h se observaron valores de residuo corregido de 6.0 y 0.7 para las condiciones de «sin defecto» y fractura limpia y de -1.2 y -0.7 para las condiciones de equimosis-hematomas y fracturas sucia, indicando que la condición que prevalece para la combinación MA a gas y TRC ≤ 1 h es que el corte de chuleta no presente defecto o tenga una fractura limpia. Para la combinación MA a gas con TRC=3h se encontró que para la fractura limpia (valor 0.7) existe menor probabilidad de ocurrencia de este defecto, mostrando así una asociación con la posible interacción en dicha combinación. En este caso, el corte de chuleta sin defecto fue lo más frecuente.

En las variables hematomas, separación del hueso/músculo (a nivel de la chuleta) y fractura sucia, la combinación MA eléctrico TRC ≤ 1 h y TRC=3h se observan diferencias entre los métodos de aturdimiento (Cuadro 2). Para MA eléctrico x TRC ≤ 1 , los resulta-

dos indican una mayor probabilidad de presentar defectos en el corte de la chuleta, con especial énfasis en la presencia de hematomas; en contraste, cuando la aplicación de electronarcosis se efectúa a un mayor tiempo de reposo *ante mortem* (TRC=3h), la ocurrencia de hematomas resulta menos probable.

En resumen, con base al análisis de los residuos corregidos (Cuadro 2) para la variable combinada y defectos en la canal del corte de la chuleta se obtuvieron cuatro grupos:

- Grupo 1: Asociado con la combinación MA a gas y TRC ≤ 1 h, donde prevalece la condición «sin defecto» acompañado de fractura limpia en menor frecuencia.
- Grupo 2: Asociado con la combinación MA a gas con TRC = 3h, el cual se caracteriza por la prevalencia de la condición sin defecto en el corte de la chuleta.
- Grupo 3: Asociado con la combinación MA electronarcosis y TRC ≤ 1 h, donde prevalece la condición presencia defectos de la canal en la chuleta como hemorragia, separación del hueso y fractura sucia.
- Grupo 4: Asociado con la combinación MA electronarcosis con TRC=3h, donde prevalece la condición presencia defectos en la canal en la chuleta como hemorragia, separación del hueso, y fractura sucia y limpia.

Se puede afirmar que se encontró una asociación moderada y significativa ($p < 0.05$) entre los defectos en la canal, específicamente en el corte de la chuleta para la variable combinada MA x TRC, resultando baja la reducción en la incertidumbre de predicción de los defectos en el corte de la chuleta partiendo de la información disponible. De igual modo, el análisis de los grupos formados en la tabla de contingencia muestra que dicha asociación va más allá del efecto aislado de los factores MA y TRC, siendo importante el efecto de la combinación de estos y, con ello, de la posible interacción entre dichos factores. Los resultados muestran que el MA a gas

Cuadro 3. Evaluación del color muscular según la variable combinada Método de Aturdimiento (MA) x Tiempo de Reposo corto (TRC)

Escala color	Gas x TRC $\leq 1h$		Gas x TRC= 3h		Eléctrico x TRC $\leq 1h$		Eléctrico x TRC= 3h		Total	
	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n
1	14.0	12	2.3	2	11.6	10	7-0	6	34.9	30
2	8.1	7	9-3	8	151.1	13	16.3	14	484.8	42
3	3.5	3	3.5	3	3.5	3	4.7	4	15.1	13
4	-	0	-	0	-	0	1.2	1	1.2	1
5	-	0	-	0	-	0	+	0	-	0
6	-	0	-	0	-	0	+	0	-	0

Escala para color: 1: rosado gris pálido a blanco, 2: rosa grisáceo, 3: rosa rojizo, 4: rosa rojizo oscuro, 5: rojo púrpura, 6=rojo púrpura oscuro (NCCP, 2000)

Medidas de asociación para la variable color: $p=0.34$ (Chi-cuadrado de Pearson), $p=0.32$ (Razón de verosimilitud)

Cuadro 4. Evaluación del tiempo de reposo corto *ante mortem* sobre la calidad de la carne de cerdo (n=54 por grupo)

Variables	$\leq 1 h$	3 h	Valor de p
pH _{45min}	6.21 \pm 0.21	6.29 \pm 0.23	0.060
pH _{24h}	5.58 \pm 0.09	5.55 \pm 0.08	0.128
CRA, %	24.60 \pm 6.62 ^b	21.38 \pm 5.68 ^a	0.008
PPG, %	5.46 \pm 2.35	5.26 \pm 2.63	0.816

pH_{45min}: pH medido a los 45 minutos *post mortem*

pH_{24h}: pH medido a las 24 h *post mortem*

CRA: capacidad de retención de agua

PPG: pérdida de agua por goteo

Medias con letras distintas en la misma fila son diferentes ($p<0.05$)

con RC $\leq 1h$ y TRC=3h de reposo *ante mortem* presentaron una tendencia favorable de ocasionar menos daños o defectos a la canal al compararlo con el MA por electronarcosis.

En el Cuadro 3 se presenta la distribución de frecuencia para el color muscular según el MA y el TRC. Se observó que en el

34.9% de las muestras se categorizaron en un color rosado gris pálido y el 48.8% como rosado grisáceo, sin diferencias significativas entre el color y el factor TRC. Una distribución porcentual similar fue observada entre las muestras de carne rosadas grisáceas y rosadas rojizas en función de MA, con una tendencia superior ($p=0.08$) en las muestras de animales aturdidos con el método eléctri-

Cuadro 5. Evaluación del método de aturdimiento sobre la calidad de la carne de cerdo

VARIABLES	Eléctrico	Gas	Valor de P
pH _{45min}	6.22 ± 0.252	6.29 ± 0.182	0.131
pH _{24h}	5.56 ± 0.076	5.57 ± 0.113	0.528
CRA, %	24.35 ± 5.632	21.47 ± 7.111	0.034
PPG, %	5.09 ± 2.310	5.78 ± 2.669	0.207

pH_{45min}: pH medido a los 45 minutos *post mortem*

pH_{24h}: pH medido a las 24 h *post mortem*

CRA: capacidad de retención de agua

PPG: pérdida de agua por goteo

Medias con letras distintas en la misma fila son diferentes (p<0.05)

Cuadro 6. Proporción (%) de carnes Pálida Suave y Exudativa (PSE), Normal y Seca, Firme y Oscura (DFD) según el método de aturdimiento y tiempo de reposo corto

Escala color	Aturdimiento eléctrico				Aturdimiento a gas (CO ₂)			
	TRC ≤1h		TRC=3 h		TRC ≤1h		TRC=3 h	
	n	%	n	%	n	%	n	%
PSE pH 45min	4	14.8	1	3.7	1	3.7	0	0
Normal pH 45min	12	44.4	14	51.9	17	62.9	10	37.1
DFD pH 45min	11	40.7	12	44.4	9	33.3	17	62.9
PSE pH 24h	0	0	3	11.1	5	18.5	5	18.5
Normal pH 24h	27	100	24	88.9	22	81.5	22	81.5
DFD pH 24h	-	0	-	0	-	0	-	0

Valores de pH_{45 min} <5.8 y pH_{24h} <5.5 indican carnes PSE

Valores de pH_{45 min} entre 5.9 y 6.2 y pH_{24 h} entre 5.5 y 6.0 indican carnes normales

Valores de pH_{45 min} ≥6.3 y pH_{24 h} ≥6.0 indican carnes DFD

co. Tampoco se encontró asociación significativa entre el color y el MA, ni asociación entre el color y la variable MA x TRC.

En el Cuadro 4, se presentan los resultados sobre la evaluación de calidad tecnológica de la carne según el tiempo de reposo

ante mortem. El análisis de la varianza sólo detectó efecto significativo (p<0.05) del tiempo de reposo sobre la CRA, resultando una diferencia de 3.22% favorable para la condición de 3h de reposo. No hubo efecto significativo de la interacción MA x TRC. En el Cuadro 5, se aprecian las medias de CRA en

cerdos según el método de aturdimiento. La CRA resultó 2.88% mejor en carnes de animales aturridos con gas que de aquellos aturridos por electronarcosis ($p=0.034$).

En el Cuadro 6 se muestra la frecuencia de carnes tipo PSE, Normal y DFD según la categorización de Castrillón *et al.* (2007) para el pH muscular. En el pH a los 45 min, la mayor proporción de carnes categorizadas como pH normal correspondió a la combinación MA a gas y TRC ≤ 1 h, mientras que con el pH a las 24 h todos los cerdos aturridos por electronarcosis y con ≤ 1 h de reposo resultaron con pH normal *post mortem*.

DISCUSIÓN

No se encontró asociación significativa entre los defectos de calidad en la canal y el TRC, aunque este sea mínimo (≤ 1 h). Los defectos de la chuleta se encontraron asociados significativamente con el MA y la combinación MA x TRC. En el estudio de Jerez-Timaure *et al.* (2013b) realizado en la misma planta procesadora de cerdos, se demostró que el porcentaje de petequias y hemorragias en pernil se incrementa notoriamente con el tiempo de reposo (20-22 h), mientras que Panella-Riera *et al.* (2012) sugieren que con 12 h de reposo no se aumenta la ocurrencia de hematomas y lesiones en la piel. Otros estudios han comprobado que la incidencia de lesiones en la piel de los cerdos aumenta con el tiempo de reposo (Warriss, 2003; Faucitano, 2010; Dokmanoviæ *et al.*, 2014).

Resultados previos relacionados con el efecto del método de aturdimiento sobre la calidad de la canal son contradictorios. Velarde *et al.* (2000), al comparar el aturdimiento eléctrico y el CO₂, indicaron que la incidencia de petequias, equimosis y hemorragias fue baja en líneas generales y, además, no se encontraron fracturas óseas; sin embargo, un año más tarde reportaron que el aturdimiento eléctrico aumenta la incidencia

de petequias en el lomo y el jamón; no así en fracturas de hueso en la región del lomo y jamón (Velarde *et al.*, 2001), lo que contrasta con la reducción en la incidencia de carne PSE y la aparición de petequias en el área muscular del lomo y jamón, que se observó cuando se aplicó el aturdimiento con CO₂.

Channon *et al.* (2003) y Álvarez *et al.* (2005) coinciden en señalar que la electronarcosis convencional disminuye la calidad de la canal al aumentar la incidencia de fracturas óseas, petequias y hemorragias en piezas nobles, en comparación con el método a gas (CO₂). Por otro lado, Grandin (2001) y Bertoloni *et al.* (2006) encontraron que con el aturdimiento eléctrico se presentaron salpicaduras de sangre (<5 mm) en la paleta y del lomo; no obstante, tanto con el aturdimiento como con CO₂ se encontraron escoriaciones de la piel en las zonas de la paleta, lomo y jamón y pequeños índices de fracturas óseas ($<1\%$) y contusiones musculares ($<2.5\%$).

Se observó que el aturdimiento por electronarcosis deficiente conlleva a retorno a la sensibilidad y posterior movimiento brusco del animal para retornar a su postura normal, trayendo como consecuencia daños a nivel de la cabeza del fémur, incluyendo hemorragias en los tejidos musculares adyacentes. Jerez-Timaure *et al.* (2013a), por su parte, observaron una incidencia de 89% de equimosis y petequias en pernils de cerdos aturridos por el método eléctrico. Es posible que las fracturas observadas en la chuleta pudieron originarse por el exceso de tiempo de aturdimiento.

El color normal de la carne de cerdo en este estudio fluctuó entre rosado gris y rosa grisáceo, sin demostrar una asociación significativa con el TRC, el MA o su combinación, lo cual coincide con los resultados del estudio de Silva *et al.* (2005) con tiempos de reposo de 2 y 4 h, y con el trabajo de Jerez-Timaure *et al.* (2013b). No obstante, Velarde *et al.* (2000) reportaron que lomos de cerdos

aturdidos eléctricamente eran más pálidos que los cerdos aturdidos con CO₂.

La carne sufre grandes alteraciones bioquímicas en las horas siguientes al sacrificio, en particular el descenso del pH y la capacidad de retención de agua. Sin embargo, no se ha reportado que el tiempo de reposo *ante mortem* haya afectado el pH_{45min} (Silva *et al.*, 2005; Jerez-Timaure *et al.*, 2013b). No obstante, Álvarez *et al.* (2005) encontraron pH_{24h} fue significativamente mayor con reposo de 8 h (pH 5.72) en comparación con reposos de 4 h (pH 5.58) y de 16 h (pH 5.64). Asimismo, Zhen *et al.* (2013) al evaluar varios tiempos de reposo (0, 3, 8, 24 h) encontraron que el pH_{45min} y pH_{24h} fueron más bajos en la carne de los cerdos sacrificados inmediatamente.

El descenso del pH *post mortem* se lleva a cabo de manera gradual en el sistema normal y convencional de beneficio y manejo de la carne, asumiendo que las canales se someten a refrigeración después del sacrificio. Antes del sacrificio, el pH normal del músculo oscila entre 7.3-7.5 para luego alcanzar un pH final de aproximadamente 5.5-5.7 debido a la glucólisis anaeróbica *post mortem* (Maddock *et al.*, 2002), y que es reconocido como el rango de pH para carne de buena calidad.

Silva *et al.* (2005), al estudiar el efecto del reposo *ante mortem* sobre CRA, reportaron que el mejor valor medio de CRA (24.86%) se obtuvo de muestras de animales sometidos a un reposo de 2 h y transportados desde una distancia más corta. Así mismo, Jerez-Timaure *et al.* (2013b) encontraron efecto significativo del tiempo de reposo en CRA ($p < 0.05$) en el tratamiento de tiempo de reposo corto (17.24%) vs. el reposo largo (15.64%). Sin embargo, los resultados de este estudio no coinciden con los reportados por estos autores.

El análisis de varianza mostró que el tiempo de reposo establecido en este ensayo no afectó ($p = 0.816$) a la PPG. Alarcón Rojo

et al. (2006) reportaron resultados similares en cerdos con valores de 4.0 y 5.5% de PPG en cerdos sacrificados en verano e invierno, respectivamente. Las pérdidas de peso debido al goteo de agua se estiman alrededor de un 3% en los cortes frescos y en un 10% en productos PSE. La cantidad y ubicación de agua en la carne puede cambiar dependiendo de numerosos factores relacionados con el propio tejido o con el manejo del producto (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005).

El método de aturdimiento no afectó ($p = 0.207$) a la PPG (Cuadro 5). Los valores porcentuales obtenidos (5.09 y 5.78), en cerdos aturdidos con electronarcosis y con gas, respectivamente, difieren de aquellos reportados por Channon *et al.* (2003), quienes indicaron valores de PPG de 2.93 en cerdos aturdidos por el método eléctrico y de 2.78 para el método a gas. Por otro lado, Alarcón-Rojo *et al.* (2006) reportaron valores de 4.0 y 5.5% de PPG en cerdos sacrificados en época de verano e invierno, respectivamente.

De manera general, al evaluar el método de aturdimiento sobre la calidad cárnica mediante las tablas de contingencia y pruebas estadísticas de asociación se detectaron diferencias significativas ($p < 0.05$). Las pruebas simétricas que midieron la intensidad de la asociación y medidas direccionales indican que el método eléctrico mostró una tendencia ($p = 0.08$) de presentar mayor defecto de fractura sucia en el corte de chuleta que el método a gas. Para la calidad tecnológica, los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) para temperatura (T_{45min} , T_{24h}), observándose menores valores en las canales de cerdos aturdidos con el método a gas; pero en contraste, se encontró que los animales aturdidos por el método eléctrico rindieron canales con menor CRA. Por otro lado, no se detectaron diferencias significativas para defecto en la canal y calidad sensorial, indicando los resultados que estas variables no están asociadas estadísticamente con tiempo de reposo. Para la calidad tecnológica, los resultados del análisis de varianza detectaron dife-

rencias significativas ($p < 0.05$) solamente para CRA, indicando asociación de esta variable con el tiempo de reposo ≤ 1 h. El método de aturdimiento solo afectó la CRA ($p < 0.05$).

CONCLUSIONES

- Las canales provenientes de cerdos aturridos por el método eléctrico presentaron una mayor incidencia de defectos tales como hemorragia, separación del hueso, fractura limpia y fractura sucia, en el corte de la chuleta.
- Los cerdos aturridos con método a gas (CO_2) presentaron una mejora importante de la calidad de la carne y una reducción considerable de defectos en la canal en relación con los animales aturridos con el método eléctrico.
- La mayoría de las características de la carne, exceptuando la CRA, no se afectaron al minimizar el tiempo de reposo a menos de una hora. LA CRA disminuyó en carnes provenientes de cerdos que presentaron reposo mínimo (≤ 1 h).

Agradecimiento

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CONDES) de la Universidad del Zulia por el financiamiento para esta investigación. A la Empresa Producciones Porcina C.A (PROPORCA) por el apoyo logístico ofrecido en las granjas porcinas y en la Planta de Sacrificio y desposte. Esta investigación formó parte de la tesis doctoral de Jackeline Trompiz.

LITERATURA CITADA

1. **Acevedo-Giraldo JD, Romero MH, Sánchez JA. 2016.** Efectividad de dos métodos de aturdimiento de cerdos: electronarcosis de tres puntos y narcosis con CO_2 . *Rev Inv Vet Perú* 27: 668-679. doi: 10.15381/rivep.v27i4.12579
2. **Adzitey F, Nurul H. 2011.** Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: causes and measures to reduce these incidences - a mini review. *Int Food Res J* 18: 11-20
3. **Alarcón-Rojo AD, Alvarado JG, Vidales HJ. 2008.** Factores que afectan la calidad de carne de cerdo. *Nacameh* 2: 63-77.
4. **Alarcón-Rojo AD, Grado JA, Gamboa JG, Rodríguez FA, Janacua H. 2006.** Efecto de variables críticas del sacrificio sobre las propiedades fisicoquímicas de la carne de cerdo. *Rev Mex Cienc Pecu* 44: 53-66.
5. **Álvarez D, Garrido MD, Bañón S, Laencina J. 2005.** Bienestar animal y calidad de la canal porcina según el sistema de aturdimiento. *An Inst Invest Vet* 21: 77-85.
6. **Barbut S. 1997.** Problem of pale soft exudative meat in broiler chickens. *Br Poult Sci* 38. doi: 10.1080/0007166970-8418002
7. **Bertoloni W, Silveira, ET, Costa M. de R, Ludtke CB. 2006.** Avaliação de diferentes híbridos suínos submetidos à insensibilização elétrica e gasosa (CO_2). Parte 3: mensurações visuais de qualidade. *Ciênc Tecnol Alimentos* 26: 555-563. doi: 10.1590/s0101-206120060-00300012.
8. **Bolaños-López D, Mota-Rojas D, Guerrero-Legarreta I, Flores-Peinado S, Mora-Medina P, Roldan-Santiago P, Borderas-Tordesillas F, et al. 2014.** Recovery of consciousness in hogs stunned with CO_2 : physiological responses. *Meat Sci* 98: 193-197. doi: 10.1016/j.meatsci.2014.05.034
9. **Brown SN, Knowles TG, Wilkins LJ, Chadd SA, Warriss PD. 2005.** The response of pigs to being loaded or unloaded onto commercial animal transporters using three systems. *Vet J* 170: 91-100. doi: 10.1016/j.tvjl.2004.-05.003

10. **Castrillón WE, Zoot Ms, Fernández JA, Restrepo F. 2007.** Variables asociadas con la presentación de carne PSE (pálida, suave, exudativa) en canales de cerdo. *Rev Colomb Cs Pec* 20: 327-338.
11. **Channon HA, Payne AM, Warner RD. 2003.** Effect of stun duration and current level applied during head to back and head only electrical stunning of pigs on pork quality compared with pigs stunned with CO₂. *Meat Sci* 65: 1325-1333. doi: 10.1016/S0309-1740(03)00053-6
12. **Èobanoviæ N, Boškoviæ M, Vasilev D, Dimitrijeviæ M, Parunoviæ N, Djordjeviæ J, Karabasil N. 2016.** Effects of various pre-slaughter conditions on pig carcasses and meat quality in a low-input slaughter facility. *S Afr J Anim Sci* 46: 380-390. doi: 10.4314/sajas.v46i4.6
13. **Dall Aaslyng M, Barton GP. 2001.** Low stress pre-slaughter handling: effect of lairage time on the meat quality of pork. *Meat Sci* 57: 87-92. doi: 10.1016/S0309-1740(00)00081-4
14. **Dokmanoviæ M, Velarde A, Tomoviæ V, Glamoèlija N, Markoviæ R, Janjiæ J, Baltiæ MZ. 2014.** The effects of lairage time and handling procedure prior to slaughter on stress and meat quality parameters in pigs. *Meat Sci* 98: 220-226. doi: 10.1016/j.meatsci.2014.06.003
15. **Dokmanovic M, Baltic MZ, Duric J, Ivanovic J, Popovic L, Todorovic M, Markovic R, et al. 2015.** Correlations among stress parameters, meat and carcass quality parameters in pigs. *Asian-Australas J Anim Sci* 28: 435-441. doi: 10.5713/ajas.14.0322
16. **Faucitano L. 2010.** Invited review: effects of lairage and slaughter conditions on animal welfare and pork quality. *Can J Anim Sci.* 90, 461-469.
17. **Grandin T. 2001.** Solving return-to-sensibility problems after electrical stunning in commercial pork slaughter plants. *J Vet Med Assoc* 219: 608-661. doi: 10.2460/javma.2001.219.608.
18. **Hambrecht E, Eissen JJ, Nooijen, RI, Ducro, BJ, Smits CH, Den Hartog, LA, Verstegen, MW. 2004.** Preslaughter stress and muscle energy largely determine pork quality at two commercial processing plants. *J Animal Sci* 82: 1401-1409. doi: 10.2460/javma.2001.219.608
19. **Hambrecht E, Eissen JJ, Verstegen MW. 2003.** Effect of processing plant on pork quality. *Meat Sci.* 64, 125-131 [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(02\)00166-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(02)00166-3)
20. **Honikel KO. 1998.** Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci* 49: 447-457. doi: 10.1016/S0309-1740(98)00034-5
21. **Huerta N, Wilhem E, Ríos E, Páez A, Rincón E, Jerez-Timaure N. 1992.** Efectos de implantes, olanquidox y sexo sobre las características de la canal de cerdos. *Rev Cient (Maracaibo)* 2: 25-36.
22. **Huff-Lonergan E, Lonergan SM. 2005.** Mechanisms of water-holding capacity of meat: the role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Sci* 71: 194-204. doi: 10.1016/j.meatsci.2005.04.022
23. **Jerez-Timaure N, Súlbaran MT, De Moreno LA, Rodas-González A, Trompíz J, Ortega J. 2013a.** Determinación de defectos de calidad en la canal y carne de cerdo mediante el uso de auditorías. *Rev Mex Cienc Pecu* 4: 13-30.
24. **Jerez-Timaure N, Arenas de Moreno L, Sulbarán M, Uzcátegui S. 2013b.** Influencia del tiempo de reposo en las características de calidad de la canal y la carne de cerdos. *Rev Cubana Cienc Agr* 47: 55-60.
25. **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. doi: 10.2527/2002.804997x

26. Miranda-de la Lama GC. 2013. Transport and pre-slaughter logistics: definitions and current tendencies in animal welfare and meat quality. *Vet México* 44: 31-56.
27. Mota-Rojas D, Bolanos-Lopez D, Concepcion-Mendez M, Ramirez-Telles J, Roldan-Santiago, P, Flores-Peinado S, Mora-Medina P. 2012. CO₂ gas stunning pigs: controversies in animal welfare and behaviour. *Int J Pharmacol* 8: 141-151.
28. [NPPC] **National Pork Producers Council. 2000.** Pork composition and quality assessment procedures. 3rd ed. Iowa, USA: NPPC. 42 p.
29. **Panella-Riera N, Gispert M, Gil M, Soler J, Tibau J, Oliver MA, Velarde A, et al. 2012.** Effect of feed deprivation and lairage time on carcass and meat quality traits on pigs under minimal stressful conditions. *Livest Sci* 146: 29-37. doi: 10.1016/j.livsci.2012.02.017
30. **Romero MH, Sánchez JA, Acevedo-Giraldo JD. 2016.** Efecto del transporte de cerdos de ceba en la incidencia de cerdos fatigados y lesionados. *Rev Inv Vet Perú* 27: 658-667. doi: 10.15381/rivep.v27i4.12573
31. **Romero MH, Sánchez JA. 2015.** Evaluación de factores de riesgo de carne pálida, suave y exudativa (PSE) debido a las condiciones pre-sacrificio en cerdos. *Biosalud* 14: 57-68. doi: 10.17151/biosa.2015.14.7
32. **Santurtun E, Phillips CJ. 2015.** The impact of vehicle motion during transport on animal welfare. *Res Vet Sci* 100: 303-308. doi: 10.1016/j.rvsc.2015.03.018
33. **Schwartzkopf-Genswein KS, Faucitano L, Dadgar S, Shand P, González LA, Crowe TG. 2012.** Road transport of cattle, swine and poultry in North America and its impact on animal welfare, carcass and meat quality: a review. *Meat Sci* 92: 227-243. doi: 10.1016/j.meatsci.2012.04.010
34. **Silva JR, Tomic G, Cavieres E, Mansilla A, Oviedo P. 2005.** Study of the effect of *ante mortem* rest time upon pH, water holding capacity and muscle color. *Cs Inv Agr* 32: 101-108. doi: 10.7764/rcia.v32i2.312
35. **Uribe N, Henao S. 2017.** Transporte de cerdos y sus repercusiones en el bienestar animal y la producción cárnica. *Rev Med Vet (Bogotá)* 33: 149-158. doi: 10.19052/mv.4062
36. **Van de Perre V, Ceustermans A, Leyten J, Geers R. 2010.** The prevalence of PSE characteristics in pork and cooked ham - Effects of season and lairage time. *Meat Sci* 86: 391-397. doi: 10.1016/j.meatsci.2010.05.023
37. **Varón-Álvarez LJ, Romero MH, Sánchez JA. 2014.** Caracterización de las contusiones cutáneas e identificación de factores de riesgo durante el manejo presacrificio de cerdos comerciales. *Arch Med Vet* 46: 93-101. doi: 10.4067/S0301-732X2014000100013
38. **Velarde A, Gispert M, Faucitano L, Manteca X, Diestre A. 2000.** The effect of stunning method on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses. *Meat Sci* 55: 309-314. doi: 10.1016/S0309-1740(99)-00158-8
39. **Velarde A, Gispert M, Faucitano L, Alonso P, Manteca X, Diestre A. 2001.** Effects of the stunning procedure and the halothane genotype on meat quality and incidence of haemorrhages in pigs. *Meat Sci* 58: 313-319. doi: 10.1016/S0309-1740(01)00035-3
40. **Vermeulen L, Van de Perre V, Permentier L, De Bie S, Verbeke G, Geers R. 2015.** Pre-slaughter handling and pork quality. *Meat Sci* 100: 118-123. doi: 10.1016/j.meatsci.2014.09.148
41. **Warriss PD. 2003.** Optimal lairage times and conditions for slaughter pigs: a review. *Vet Rec* 153: 170-176. doi: 10.1136/vr.153.6.170
42. **Zhen S, Liu Y, Li X, Ge K, Chen H, Li C, Ren F. 2013.** Effects of lairage time on welfare indicators, energy metabolism and meat quality of pigs in Beijing. *Meat Sci* 93: 287-291. doi: 10.1016/j.meatsci.2012.09.008