



UNIVERSIDAD DEL MAR

CAMPUS PUERTO ESCONDIDO

EFFECTO DEL MÉTODO DE ATURDIMIENTO SOBRE LA SENSIBILIDAD
Y CALIDAD DE LA CARNE DE CERDO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN ZOOTECNIA

PRESENTA

RICARDO ADRIÁN GALLEGOS LARA

DIRECTOR

DR. JOSÉ GUADALUPE GAMBOA ALVARADO

PUERTO ESCONDIDO, OAX., OCTUBRE DE 2011



UNIVERSIDAD DEL MAR

Puerto Escondido – Puerto Ángel – Huatulco

OAXACA

Puerto Escondido, Oaxaca a 27 de septiembre de 2011

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

Después de realizar una revisión detallada de la tesis **"Efecto del método de aturdimiento sobre la sensibilidad y calidad de la carne de cerdo"**, presentada por el pasante de Licenciatura en Zootecnia **Ricardo Adrián Gallegos Lara** con número de matrícula **04090006**, se considera que cumple con los requisitos y calidad necesaria para ser defendida en el examen profesional.

COMISIÓN REVISORA

Dr. José Guadalupe Gamboa Alvarado
Universidad del Mar
Director

Dr. José Luis Arcos García
Universidad del Mar
Revisor
M. en C. Roberto López Pozos
Universidad del Mar
Revisor
Dra. Alma Delia Alarcón Rojo
Universidad Autónoma de Chihuahua
Revisor
M. en C. Emmanuel de J. Ramírez Rivera
Universidad del Mar
Revisor

DEDICATORIA

A una persona excepcional...

A mi abuelo Ezequiel Gallegos Lazo[†], por brindarme educación y valores en los primeros años de mi vida y siempre motivarme a descubrir mis habilidades. Por haberte convertido en mi mejor amigo y consejero y, estar pendiente de mi bienestar, pero sobre todo, por brindarme protección y compañía en momentos difíciles.

A tí, que nunca dudaste de mí la formación de un hombre de bien y por haber cultivado con esmero y paciencia un cariño invaluable que guardaré por siempre en mi corazón. Estaré siempre orgulloso del ejemplo que formaste para mí, a donde quiera que vaya.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su compañía y fortalecimiento de mi espíritu.

A las personas que me dieron la vida, Mercedes Gallegos y Gaspar Gómez, quienes son y serán el motivo más importante para continuar mi superación personal. Por sus consejos y deseos de ver a su hijo alcanzar el éxito, mi más profundo agradecimiento.

A mis abuelos y segundos padres, Gaspar Gómez y Rosario Barranco, por el apoyo que me brindan para poder alcanzar mis metas; su cariño y confianza son invaluable y, mis acciones estarán siempre encaminadas a no defraudarlos.

A mis hermanos Carlos Alberto y Erick Gaspar, con quienes comparto mis secretos y alegrías, ellos que me impulsan a seguir mi formación profesional sacrificando su valiosa presencia física en muchos momentos importantes de mi vida.

A mis tías, Heidy Gómez y Martha Gallegos, por su cariño y apoyo; por motivarme constantemente en la realización de mis proyectos.

A ti Gaby, por la felicidad, cariño y paciencia que me otorgas; gracias.

Al Dr. José G. Gamboa por su amistad y apoyo brindado en el transcurso de mi formación profesional y, constante motivación para la finalización del presente trabajo.

A la Dra. Alarcón Rojo, Dr. Arcos García, M. en C. López Pozos, M. en C. Ramírez Rivera y Lic. Ruelas Inzunza por el valioso apoyo y aportaciones brindadas en este trabajo; gracias.

A todos los profesores de la Licenciatura en Zootecnia que contribuyeron a mi formación académica, mi más sincero agradecimiento.

RESUMEN

Con la finalidad de evaluar el efecto del método de aturdimiento sobre la sensibilidad y calidad de la carne de cerdo, se utilizaron 28 cerdos comerciales. La insensibilización se llevó a cabo por medio de dos métodos; pistola de perno cautivo (PP) y noqueo con mazo (NM); al aplicar el método de insensibilización, se registró el número de intentos para colapsar al cerdo e inmediatamente se evaluaron los signos de sensibilidad: respiración rítmica, parpadeo natural, reflejo corneal, intento de incorporarse y vocalización. Las características fisicoquímicas (pH, temperatura y color) y tecnológicas (capacidad de retención de agua y pérdida de agua por goteo) de calidad de la carne fueron medidas en el músculo *Semimembranosus*. El pH y temperatura se midieron a los 45 min (pH₄₅ y T₄₅, respectivamente) y a las 24 h *post mortem* (pH₂₄ y T₂₄, respectivamente). La PP logró el colapso del total de cerdos aturdidos al primer intento. El NM mostró mayor (P<0.01) presencia de signos de sensibilidad. No se observó diferencia (P>0.05) de pH₂₄, T₄₅, T₂₄, luminosidad, intensidad del amarillo y pérdida de agua por goteo por efecto del método de insensibilización. El NM provocó menor (P<0.05) pH₄₅ y mayor (P<0.01) intensidad del rojo y capacidad de retención de agua, debido al estrés acumulado del manejo *antemortem* y el aturdimiento. La presencia de canales PSE (pálida, suave y exudativa) fue mayor (P<0.05) en el NM y, la presencia de canales NOR (normales) fue mayor (P<0.05) en la PP. Los resultados sugieren realizar mejoras en el manejo *ante mortem*, equipo e instalaciones de sacrificio para mejorar la calidad de la carne de cerdos sacrificados en Puerto Escondido, Oaxaca.

Palabras clave: aturdimiento, pistola de perno cautivo, noqueo con mazo.

ABSTRACT

In order to evaluate the effect of the stunning method on pork meat quality as well as sensitivity at stunning time, 28 commercially acquired hogs were used. Stunning was carried out by two methods; captive bolt (PP) and mallet knock (NM). The number of attempts for the pig to collapse during the stunning was recorded, and signs of sensitivity, rhythmic breathing, natural blinking, corneal reflex, sitting-up attempts and vocalization were immediately evaluated. The physicochemical characteristics (pH, temperature and meat slab color) and technical (water-holding capacity and dripping water loss) of meat quality were measured in the *Semimembranosus* muscle. The pH and temperature were measured at 45 min (pH_{45} y T_{45} , respectively) and 24 h *post-mortem* (pH_{24} y T_{24} , respectively). Stunned hogs collapse was achieved in the first try using PP. The NM treatment was higher ($P<0.01$) for sings of tenderness during stunning. There was no difference ($P> 0.05$) in pH_{24} , T_{45} , T_{24} , lightness, intensity of yellow and dripping water loss of meat as a result of the stunning method. The NM caused lesser ($P<0.05$) pH_{45} and higher ($P<0.01$) intensity of red and water-holding capacity, due to accumulated stress during *ante-mortem* handling and at stunning. The presence of PSE carcasses (pale, soft and exudative) was higher ($P<0.05$) in the NM than in PP, while the presence of NOR carcasses (normal) was higher ($P<0.05$) in PP. These results suggest improvements the *ante-mortem* handling, equipment and slaughter facilities to improve pork quality of hogs slaughtered in Puerto Escondido, Oaxaca.

Keywords: stunning, captive bolt pistol, stunning mallet.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE CUADROS.....	vi
LISTA DE GRÁFICAS.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
2.1 Bienestar Animal.....	3
2.2 Estrés.....	4
2.2.1 Bioquímica del estrés <i>ante mortem</i>	5
2.3 Calidad de la carne.....	6
2.3.1 Características fisicoquímicas.....	7
2.3.1.1 pH.....	7
2.3.1.2 Color.....	8
2.3.2 Características tecnológicas.....	9
2.3.2.1 Capacidad de retención de agua.....	9
2.3.2.1 Pérdida de agua por goteo.....	10
2.4 Carne PSE y DFD.....	10
2.4.1 Bioquímica del músculo PSE y DFD.....	11
2.5 Factores que afectan la calidad de la carne de cerdo.....	12
2.5.1 Factores endógenos.....	13
2.5.1.1 Genética.....	13
2.5.1.2 Peso.....	16
2.5.1.3 Sexo.....	16
2.5.2 Factores exógenos.....	17
2.5.2.1 Nutrición.....	17
2.5.2.2 Arreo.....	18
2.5.2.3 Transporte.....	18
2.5.2.4 Temperatura ambiente.....	20
2.5.2.5 Reposo <i>ante mortem</i>	21

	Página
2.5.2.6 Sacrificio.....	22
Insensibilización.....	23
Aturdimiento de percusión.....	25
Insensibilización eléctrica.....	26
Insensibilización con dióxido de carbono.....	27
Insensibilización con mazo.....	28
Desangrado.....	28
2.5.2.7 Izado.....	29
2.5.2.8 Escaldado.....	29
2.5.2.9 Enfriamiento.....	30
2.6 Eficiencia del Método de Insensibilización.....	31
III OBJETIVOS.....	33
3.1 Objetivo General.....	33
3.2 Objetivos Específicos.....	33
IV HIPÓTESIS.....	33
V MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
5.1 Localización del área de estudio.....	34
5.2 Características de la población.....	34
5.3 Manejo <i>ante mortem</i>	35
5.4 Sacrificio.....	35
5.5 Tratamientos.....	36
5.6 Variables de respuesta.....	37
5.6.1 Eficiencia del método de insensibilización.....	37
5.6.1.1 Número de intentos para lograr colapso.....	37
5.6.1.2 Signos de sensibilidad.....	37
Respiración rítmica.....	38
Parpadeo natural.....	38
Reflejo corneal.....	38
Intento de incorporarse.....	38
Vocalización.....	38
5.6.2 Calidad de la carne.....	39
5.6.2.1 Características fisicoquímicas.....	39

	Página
pH.....	39
Temperatura interna de la canal.....	39
Color.....	39
5.6.2.2 Características tecnológicas.....	40
Capacidad de retención de agua.....	40
Pérdida de agua por goteo.....	40
5.7 Clasificación de canales.....	41
5.8 Análisis estadístico.....	41
VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
6.1 Eficiencia del método de insensibilización.....	43
6.1.1 Número de intentos para lograr colapso.....	43
6.1.2 Signos de sensibilidad.....	46
6.1.2.1 Respiración rítmica.....	46
6.1.2.2 Parpadeo natural.....	46
6.1.2.3 Reflejo corneal.....	47
6.1.2.4 Intento de incorporarse.....	47
6.1.2.5 Vocalización.....	48
6.2 Características fisicoquímicas y tecnológicas de calidad de la carne de cerdo.....	49
6.2.1 pH ₄₅	49
6.2.2 pH ₂₄	50
6.2.3 T ₄₅	50
6.2.4 T ₂₄	51
6.2.5 Color (luminosidad, intensidad del rojo y del amarillo).....	52
6.2.6 Capacidad de retención de agua.....	53
6.2.7 Pérdida de agua por goteo.....	55
6.3 Efecto del reposo <i>ante mortem</i> , humedad y temperatura ambiente.....	55
6.4 Canales con características PSE, NOR y DFD.....	61
6.5 Correlación entre variables.....	63
VII CONCLUSIONES.....	65
VIII RECOMENDACIONES.....	66
VIII LITERATURA CITADA.....	67

LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Diseño experimental utilizado para evaluar el efecto del método de aturdimiento sobre la sensibilidad y la calidad de la carne de cerdo.	37
2	Efecto del método de insensibilización y sexo sobre el número de intentos para inducir colapso y signos de sensibilidad durante el aturdimiento en cerdos al momento del sacrificio.	45
3	Método de insensibilización y sexo sobre las características fisicoquímicas y tecnológicas de la carne de cerdo.	51
4	Clasificación de canales de cerdo por método de insensibilización y sexo, tomando el valor de pH ₄₅ y luminosidad como indicadores.	61
5	Coeficientes de correlación entre las características de calidad de la carne en cerdos de diferente sexo aturdidos con dos métodos de insensibilización durante el sacrificio	64

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica		Página
1	Diagrama de dispersión y línea ajustada para pH medido a las 24 h <i>post mortem</i> (pH_{24}) y reposo <i>ante mortem</i> .	57
2	Diagrama de dispersión y línea ajustada para temperatura medida a las 24 h <i>post mortem</i> (T_{24}) y reposo <i>ante mortem</i> .	59
3	Diagrama de dispersión y línea ajustada para temperatura medida a las 24 h <i>post mortem</i> (T_{24}) y humedad ambiente al momento del sacrificio.	59

I. INTRODUCCIÓN

La producción ganadera intensiva es la principal fuente de carne en los países desarrollados (Fabregas *et al.* 2003). La demanda de los consumidores y las expectativas económicas de los porcicultores a obligado a éstos últimos a tecnificarse (Smith 2003), incluyendo la selección de líneas genéticas de mayor rendimiento de carne magra (Velazco 2000). A pesar de ello, la carne puede tener pérdidas de calidad por causas que van desde el transporte de los animales a la planta de sacrificio hasta la distribución de los productos finales (Alarcón *et al.* 2006).

Sin embargo, la selección de líneas genéticas repercute negativamente en la capacidad de defensa del animal frente a cambios eventuales del ambiente, observándose como principal problema la disminución de la calidad de la carne por presencia de carne pálida, suave y exudativa (PSE por sus siglas en inglés de *pale, soft and exudative*) y oscura, firme y seca (DFD por sus siglas en inglés de *dark, firm and dry*)(Chorné & Chávez 1996).

La mayor pérdida de calidad se origina cuando el manejo *ante mortem* y sistema de sacrificio no son adecuados (Grandin 1991, Grandin1998, Fabregas *et al.* 2003). Los procedimientos incorrectos durante las etapas de sacrificio (contención, insensibilización y desangrado) favorecen la aparición de carne PSE (Woltersdorf & Troeger 1988), por ello, es importante prestar atención a la realización correcta de estas etapas (Alarcón *et al.* 2006). Una insensibilización adecuada de los animales durante el sacrificio brinda carne de mejor calidad; por el contrario, una insensibilización incorrecta causa hematomas y fracturas en extremidades (Grandin 1991).

Por lo tanto, la industria y las empresas que producen y/o sacrifican ganado porcino necesitan transformar los sistemas de producción que aseguren mayor rendimiento

económico y obtención de canales de cerdo de mejor calidad (Swatland 1980), por ello es necesario realizar estudios enfocados a identificar las causas que afectan la calidad de la carne de cerdo bajo sus condiciones de trabajo y proponer mecanismos para su control.

La presente investigación se realizó con la finalidad de comparar el efecto del aturdimiento de percusión, respecto al noqueo con mazo practicado como método de insensibilización durante el sacrificio de cerdos en Puerto Escondido, Oaxaca, Méx., sobre la sensibilidad durante el aturdimiento y las características fisicoquímicas y tecnológicas de calidad de la carne.

II. ANTECEDENTES

2.1 Bienestar animal

El concepto de bienestar animal es ambiguo y difícil de definir, sin embargo, es esencial que la definición que se adopte, permita su medición (Recuerda *et al.* 2003). Para el gremio veterinario en México, se entiende por bienestar animal al “estado en que un animal tiene satisfechas sus necesidades fisiológicas, etológicas y de salud, frente a cambios en el ambiente” (Becerril *et al.* 2009).

En los últimos años, se ha visto una creciente preocupación por el bienestar animal, especialmente en aquellos destinados al sacrificio para el aprovechamiento de su carne (Cáraves & Gallo 2007). La ausencia de bienestar animal en el manejo de animales, antes y durante el sacrificio, se traduce en elevada tasa de mortalidad, fracturas, hematomas y disminución de la calidad de la carne, que son motivo de preocupación para productores y procesadores de carne (Fabregas *et al.* 2003). El sector productivo porcino debe considerar que al promover el bienestar animal, mejora la calidad del producto final (Fabregas *et al.* 2003) y por consecuencia, aseguran un mayor beneficio económico (Silva *et al.* 2005).

El bienestar animal es afectado principalmente por el estrés durante el transporte y sacrificio y, el bienestar animal durante estas operaciones puede medirse mediante la tasa de mortalidad y heridas, constantes fisiológicas, actividad del encéfalo (en caso de aturdimiento) y calidad de la carne (Fabregas *et al.* 2003).

2.2 Estrés

Mirallas (2007), define al estrés como: “una reacción del organismo a un estímulo que altera su equilibrio fisiológico u homeostasis”. Mientras que Kauffman *et al.* (1978) lo describen como: “una adaptación hormonal y bioquímica del medio interno e intracelular del animal a los cambios bruscos e intensos del ambiente, que le permiten sobrevivir; esta adaptación del animal depende de la velocidad con que se producen los cambios hormonales”.

Van Arendonk & Kennedy (1990) clasifican a los animales que son sometidos a cambios ambientales, farmacológicos o actividad muscular intensa, en animales resistentes y susceptibles al estrés, siendo los primeros los que sobreviven a dichos cambios y los segundos los que mueren.

En el animal vivo, el aumento de la frecuencia respiratoria es el signo más notorio frente a una situación de estrés (Sackmam *at el.* 1989). La medición del estrés se puede llevar a cabo mediante la cuantificación plasmática de adrenalina y noradrenalina (Timm 2003), evaluación de la frecuencia cardíaca, temperatura rectal y grado de repleción de la vena de la oreja (Sackmam *at el.* 1989).

El estrés es uno de los factores que origina deficiencias de calidad en la carne de cerdo (Troeger & Woltersdorf 1989). El estrés *ante mortem* puede tener diferentes consecuencias sobre la calidad de la carne, dependiendo de su intensidad y duración (Fabregas *et al.* 2003). En el cerdo, los procedimientos desencadenantes de estrés antes y durante el sacrificio son el inadecuado traslado al sitio de insensibilización y la insensibilización incorrecta, respectivamente (Troeger & Woltersdorf 1989).

2.2.1 Bioquímica del estrés *ante mortem*

El estrés y la actividad muscular excesiva en el animal vivo provocan incremento de la concentración plasmática de adrenalina, noradrenalina (Troeger & Woltersdorf 1989), adrenocorticotesterona (ACTH), cortisol y tiroxina, en consecuencia, aumento de monofosfato de adenosina (AMP) cíclico y mayor actividad de la fosfatasa muscular, que degrada el glucógeno a glucosa-6-fosfato; la cual no es permeable a la membrana celular; por tanto se degrada a lactato en condiciones anaeróbicas (van Laack *et al.* 1993). La concentración de lactato en sangre estimula la liberación de insulina, lo que produce glucogenólisis, neoglucogénesis y glucogenogénesis como respuesta al elevado nivel de cortisol en sangre (Klont *et al.* 1993).

Schmidt *et al.* (1972), indican que el estrés destruye la membrana celular de los tejidos en los animales, lo que resulta primero en lisis de eritrocitos, por consecuencia incremento en la concentración de piruvato y creatina kinasa, causando que el Ca^{2+} sea liberado de los organelos y con ello, se inicie la rigidez muscular. Éste fenómeno, mejor conocido como *rigor mortis*, se establece cuando el Ca^{2+} no puede ser reenviado al retículo sarcoplásmico debido a la ausencia de trifosfato de adenosina (ATP) en el citoplasma de la célula muscular y por lo tanto, las moléculas de actina y miosina quedan unidas provocando la contracción del tejido muscular (Bendall 1951).

Durante el estrés se presenta aceleración de la glucólisis, descenso del pH y de la saturación de oxígeno en sangre, se incrementa la concentración de lactato y dióxido de carbono (CO_2) y la temperatura corporal por encima de 42 °C; a dicha condición se le denomina hipertermia maligna (van Arendonk & Kennedy 1990). El incremento de la temperatura corporal y la acidosis son resultado del calor y lactato producido por la glucólisis anaeróbica del músculo (Calkins & Seideman 1988).

Además, se presenta incremento en las concentraciones endógenas de calmodulina mitocondrial y ácidos grasos, elevada actividad de la fosforilasa A_2 y mayor concentración de Ca^{2+} sarcoplásmico y mitocondrial (Unruh *et al.* 1996). El desbordamiento del catión Ca^{+2} en el músculo es activado por la enzima fosforilasa A_2 (Schmidt *et al.* 1972). El Ca^{+2} sarcoplásmico es responsable del incremento de la glucólisis a través de la activación de la ATPasa miofibrilar y la fosforilasa kinasa (Hicks *et al.* 1998).

En cerdos resistentes al estrés, el *rigor mortis* se establece normalmente 3 h después del sacrificio (Chaves 1999), mientras que en cerdos sensibles al estrés el *rigor mortis* se establece de 20 a 30 min *post mortem* por que la glucólisis acelerada y rápida producción de lactato, detienen la síntesis de ATP, es por ello, que la carne de los cerdos sensibles al estrés se torna flácida y deforme; al cortar la carne presenta consistencia suave, el color es despigmentado, pálido en el rango de gris a blanco, exuda por goteo un líquido rosado, por ello, se aprecia menor capacidad de retención de agua y se registra pH de 5.2 a 5.4 a las 24 h *post mortem*, próximo al punto isoeléctrico de la actomiosina, provocando que se desnaturalice con facilidad, resultando el rompimiento de las miofibrillas, lo que podría explicar el color pálido de la carne y la excesiva pérdida de agua por goteo, también se presenta incremento en la liberación de amonio y pronunciado olor ácido (Tan *et al.* 2000).

2.3 Calidad de la carne

La calidad tecnológica de la carne es un concepto complejo influenciado por un sistema multivariado formado por parámetros de composición (grasa entreverada, carne magra y tejido conectivo), fisicoquímicos (pH, color, conductividad eléctrica y temperatura) donde la capacidad de retención de agua, intensidad y homogeneidad del color, blandura, vida de anaquel, capacidad de emulsión, rendimiento de procesado y

rebanado, son los atributos más importantes por razones económicas, porque afectan la pérdida de agua por goteo y los atributos del producto final (color, blandura, vida de anaquel, rendimiento)(Cavitt *et al.* 2004).

La carne pierde calidad por causas que van desde el transporte de los animales a la planta de sacrificio hasta la distribución de los productos finales (Alarcón *et al.* 2006), por ello es importante realizar investigación sobre los factores que ocasionan pérdidas de calidad. Las mayores pérdidas se originan en el manejo *ante mortem*, incluyendo el aturdimiento (Grandin 1998, Fabregas *et al.* 2003 & Alarcón *et al.* 2006), por lo tanto, es necesario otorgar mayor atención a esta etapa del proceso de obtención de carne.

Los indicadores más utilizados para evaluar la calidad de la carne de cerdo son: pH muscular (Jaud *et al.* 1993), color de la superficie, conductividad eléctrica, capacidad de retención de agua y pérdida de agua por goteo (Allen *et al.* 1966, Gondret *et al.* 2006).

2.3.1 Características fisicoquímicas

2.3.1.1 pH

En el músculo del animal vivo, el pH es cercano a 7.0 (Alarcón 2007), con la muerte cesa el aporte sanguíneo de oxígeno (O_2) al músculo, de manera que este último inicia glucólisis anaerobia para transformar las reservas de energía (glucógeno) en ATP con el fin de mantener su temperatura e integridad estructural (Warris 2003), produciéndose ácido láctico que desencadena el descenso del pH muscular (Alarcón 2007). En la carne con pH de 5.4 a 5.6, hay proliferación mínima de gérmenes y la vida de almacén es mayor; mientras que, a pH por arriba de 6.0 se inhiben las enzimas y la carne permanece dura y oscura, con mayor crecimiento microbiano (Martínez *et al.* 2006).

El pH muscular medido a diferentes tiempos después del sacrificio es un indicador de la capacidad de retención de agua y del color de la carne (Alarcón *et al.* 2006). La

medición del pH a los 45 min (pH_{45}) y 24 h (pH_{24}) *post mortem* se ha utilizado para determinar características de dos tipos de carne: 1) PSE (pálida, suave y exudativa) y 2) DFD (oscura, firme y seca) (Jaud *et al.* 1993).

La evolución del pH en la primer hora *post mortem* es el indicador más importante para diagnosticar carne PSE (Woltersdorf & Troeger 1988), una rápida caída del pH_{45} (menor a 6.0) produce acelerada glucólisis anaeróbica combinada con incremento de la temperatura de la canal (mayor a 38 °C); esto da como resultado desnaturalización del 20% de las proteínas sarcoplasmáticas (Eusse 2009). La medición del pH_{45} permite determinar la presencia de carne PSE; a pH menor de 6.0, se adelanta el *rigor mortis*, disminuye la capacidad de retención de agua y la carne se observa pálida (Alarcón *et al.* 2006); Karlsson *et al.* (1993) reportan que el pH_{45} de los músculos de cerdo mayor a 6.0 tienen mayor susceptibilidad a producir carne DFD.

El pH_{24} es determinante en las características finales de la carne de cerdo, ya que los procesos bioquímicos han finalizado en su mayoría (Silva *et al.* 2005). El pH de la carne disminuye entre 5.4 y 5.8 a las 24 h *post mortem* (Tan *et al.* 2000).

2.3.1.2 Color

Es la base por la cual los consumidores evalúan la calidad de la carne, prefieren un rojo brillante en la carne fresca, café o gris en la cocinada y rosado en la curada; en el animal vivo el músculo es rojo púrpura o rosado de acuerdo con la concentración de mioglobina, la cual varía en un mismo músculo, con la edad y entre razas; cerdos sacrificados a menor edad y peso tienen menor concentración de mioglobina en la carne (Wykle *et al.* 1978).

Baja concentración muscular de mioglobina produce palidez similar a la causada por el desarrollo de músculo PSE, lo que conduce a una sobrestimación de su

incidencia (Alarcón *et al.* 2007). Por lo tanto, la clasificación de carne PSE basada en valores de reflectancia puede conducir a la clasificación de carne PSE en músculos con baja concentración de pigmento (Alarcón *et al.* 2007), lo que se evita si se mide con instrumentos de sonda de fibra óptica (Tan *et al.* 2000).

El músculo PSE aparece opaco, porque sus proteínas son menos solubles a pH₂₄ menor a 5.5, en cambio, el músculo DFD es relativamente translúcido y oscuro, porque la solubilidad de sus proteínas es mayor, independientemente de la concentración de mioglobina (Tan *et al.* 2000).

En algunas canales toda la musculatura se transforma en carne PSE a pocos minutos del desangrado, es frecuente que ese fenómeno se presente entre los 30 y 90 min *post mortem*; en algunos casos la musculatura presenta dos tonalidades de color, apareciendo las porciones PSE más claras, mientras que las porciones consideradas normales presentan apariencia oscura y roja (Lonergan *et al.* 2007).

La carne normal (NOR) retiene más agua, presenta menor luminosidad y mayor intensidad del rojo, mientras que en la carne PSE, debido a su mayor acidez, la desnaturalización de proteínas musculares ocasiona la liberación de más agua, por lo que su superficie refracta más luz, aumentando los valores de luminosidad (Alarcón *et al.* 2006).

2.3.2. Características tecnológicas

2.3.2.1 Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua es la propiedad que tienen los tejidos de la carne entera o picada para ligar o retener sus propios líquidos, sufriendo menor merma de peso cuando es procesada, cocida, congelada y descongelada, tanto a nivel industrial como doméstico (Alarcón *et al.* 2006). La capacidad de retención de

agua es un criterio para la evaluación de la calidad de la carne (Jaud *et al.* 1993), debido a que se relaciona con muchas variables fisicoquímicas de los componentes proteicos y miofibrilares de la carne; la determinación de esta característica es el principal indicador de la aptitud de la carne para elaborar un determinado producto, especialmente para la selección de materia prima para productos cocidos (Alarcón *et al.* 2006).

Si la capacidad de retención de agua es baja, la pérdida de humedad o merma de peso durante el almacenamiento es mayor por evaporación superficial y exudación de la superficie de los cortes en forma de goteo, la cual se incrementa en la carne PSE, y se puede perder más del 40% de su peso en el cocinado, hay mayor encogimiento o acortamiento de la carne (Hicks *et al.* 1998). En contraste, la carne DFD posee mayor capacidad de retención de agua y menor pérdida de agua por goteo (Hicks *et al.* 1998).

2.3.2.2 Pérdida de agua por goteo

La carne contiene agua en los espacios extracelular e intracelular, separados por la membrana celular, en estos espacios se encuentran líquidos que contienen sales (iones) y proteínas disueltas; que al sufrir calentamiento prolongado durante las primeras horas *post mortem*; o disminución de pH, se desnaturalizan, provocando liberación de agua de las células, ocurriendo así la pérdida de agua por goteo (Bereskin *et al.* 1978).

2.4 Carne PSE y DFD

La carne PSE y DFD son los dos principales problemas de calidad con los que se enfrenta la industria cárnica (Zimermam 2008). La carne PSE, resultado de una combinación de factores que estresan al animal y que son responsables de rápido declive del pH muscular, fue descrita por primera vez en Dinamarca, donde se denominó

degeneración muscular; éste problema se presentó en el 40 a 60% de las canales porcinas Danesas (Grandin 1997). También se reporta en la canal de bovinos (Grandin 2001) aunque en menor escala; actualmente se ha reportado incidencia de carne PSE (18 a 34%) en pavos (Mallia *et al.* 2000). En el cerdo, los músculos *Bíceps femoris* y *Longissimus dorsi* son particularmente susceptibles a ésta condición (Martínez *et al.* 2006).

La carne PSE representa el mayor defecto de calidad en la carne de cerdo, la carne se hace muy seca en el cocinado y se usa solo en productos procesados de bajo valor, donde es adicionada en cantidades cuidadosamente controladas para no producir cambios sensoriales indeseables (Stahl *et al.* 2006).

La carne DFD se reportó por primera vez en las canales de cerdo de Gran Bretaña en la década de 1930, como consecuencia del estrés ocasionado por el transporte a grandes distancias antes del sacrificio, y se identificó como un problema de calidad de la carne (Swatland 1991).

Los músculos *Semispinalis capitales*, *Serratus ventralis* y *Quadriceps femoris* son clasificados como de fibras rojas, las cuales se caracterizan por tener metabolismo predominantemente anaeróbico; por lo tanto, son más susceptibles a desarrollar carne DFD, porque generalmente alcanzan valores de pH₂₄ mayor a 6.1 (Silva *et al.* 2005). La comercialización de carne DFD conlleva ciertas dificultades, ya que el consumidor asocia su color oscuro con animales viejos y/o malas condiciones de almacenamiento (Zimerma 2008).

2.4.1 Bioquímica del músculo PSE y DFD

En condiciones normales, el pH muscular desciende debido a la formación de lactato por glucólisis anaerobia, de 7.0 hasta 6.0 a 6.4 a los 45 min *post mortem* (pH₄₅), con pH final (pH₂₄) entre 5.6 y 6.0 (García *et al.* 2000). Un exceso de lactato formado en la

glucólisis rápida, cuando los músculos de la canal están calientes, puede conducir a la formación de carne PSE; mientras que, la formación de lactato en una glucólisis lenta, puede producir carne DFD (Grandin 2001).

La condición PSE se desarrolla debido a una glucólisis *post mortem* acelerada cuando la temperatura de la canal es elevada (Goutefongea 1971). Un período de estrés corto y agudo produce aumento de la concentración plasmática de catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) y excesivo gasto energético, que estimula la glucólisis anaeróbica y formación de ácido láctico antes del desangrado, lo que a su vez provoca disminución del pH muscular por debajo de 6.0 durante la primera hora *post mortem* (Fabregas *et al.* 2003). Esta rápida acidificación inmediatamente después del sacrificio provoca disminución de la repulsión electrostática entre los miofilamentos cuando la temperatura de la canal es mayor a 38°C; todo esto conduce a una intensa desnaturalización de proteínas musculares (Charpentier 1969, Fabregas *et al.* 2003). Esta desnaturalización reduce la capacidad de retención de agua (Offer 1991) y aumenta la palidez de la carne (Goldspink & McLoughlin 1964), resultando en la aparición de carne PSE, frecuentemente en músculos compuestos mayoritariamente por fibras glucolíticas (Fabregas *et al.* 2003).

Cuando el estrés es crónico y de intensidad sostenida, las reservas de glucógeno muscular son bajas, por lo que no se produce disminución adecuada del pH muscular durante las 24 h *post mortem*, afectando la apariencia final de la carne, defecto conocido como carne DFD, siendo más frecuente en músculos oxidativos (Fabregas *et al.* 2003).

2.5 Factores que afectan la calidad de la carne de cerdo

Un gran número de factores exógenos y endógenos actúan sobre el organismo animal, pudiendo intervenir en la formación de baja calidad de la carne (Sackmam *et al.* 1989). El manejo y hábitat de la ganadería intensiva exigen un reajuste excesivo de la

fisiología y comportamiento animal que puede conducir a un estado de estrés (Sánchez *et al.* 2008). El tipo genético, la alimentación y el manejo *ante mortem* de los cerdos, son los factores que más influyen sobre la calidad de la carne (Adeola & Ball 1992).

2.5.1 Factores endógenos

2.5.1.1 Genética

La selección genética apropiada al tipo de producción deseada combinada con buen manejo son herramientas para mejorar la producción animal (Newcom *et al.* 2004), ya que se puede obtener mayor velocidad de crecimiento de tejido magro y mayor porcentaje de carne magra (Castrillón *et al.* 2007).

En el músculo del cerdo, la velocidad y variación de la caída del pH *post mortem*, se asocia principalmente a dos genes: el gen halotano (Hal, por su sensibilidad al gas halotano, Grandin 1997) y el gen RN (Rendimiento Nápole, Martínez 2006).

El gen Hal ha sido considerado por los productores de cerdo como una característica excelente, por que incrementa: el contenido de agua en la carne, la carne magra en la canal, el área del *Longissimus dorsi* y el rendimiento en canal; en cambio reduce el espesor de grasa dorsal; sin embargo, se le asocia con el incremento en la incidencia de carne PSE cuando el manejo *ante mortem* no es correcto (Calkins & Seideman 1988, Shen *et al.* 2007).

El gen Hal fue asociado por primera vez con el síndrome del estrés porcino (PSS, por sus siglas en inglés de *pork síndrome stress*) por Scanga *et al.* (1998) y es el ejemplo mejor conocido de un factor biológico (susceptibilidad hereditaria al estrés) que interactúa con un factor ambiental (estrés *ante mortem*) para producir muerte súbita o alterar la calidad de la carne de cerdo. Se describió entre 1920 y 1930 en Alemania y al inicio de la década de 1970 se reportó en EU (Davis *et al.* 1975).

El gen Hal, también llamado gen *ryr-1* (Fabregas *et al.* 2003) o receptos ryanodine (van Laack *et al.* 1993), es una mutación del nucleótido 1843 del cromosoma seis del cerdo (Grandin 1997). La herencia del PSS está en un locus individual con dos alelos: Normal (N) y mutante (n), su combinación produce tres genotipos: 1) normal (NN), Hal y PSE negativo, 2) portador (Nn), Hal negativo y PSE positivo y, 3) mutante (nn), Hal y PSE positivos (Martínez *et al.* 2006).

Las razas libres del gen Hal como Large White y Duroc tienen mejor calidad de carne que la Pietrain; la raza Landrace esta en posición intermedia, más próxima a las razas libres del gen Hal (Schwab *et al.* 2006). Razas como la Pietrain presentan elevada proporción de animales con PSS, lo que incrementa la presencia de carne PSE cuando el manejo *ante mortem* no es correcto; por ejemplo, cuando estos son transportados durante 90 min, la incidencia de carne PSE alcanza 24.4%, mientras que cuando el Pietrain es poco utilizado en cruza no seleccionadas y se transportan más de 2 h, la incidencia de musculo PSE es de 12.7% (Shen *et al.* 2007). El gen Hal incrementa las pérdidas por muerte durante el transporte (Fabregas *et al.* 2003, Grandin 2003).

Existe una relación estrecha entre el PSS y la incidencia de carne PSE y DFD, observándose una proporción cuatro veces mayor en la probabilidad de incidencia de carne PSE en cerdos con genotipo nn, por su efecto sobre la caída del pH₄₅ (van Laack *et al.* 1993), y con frecuencia, ambas condiciones son simultáneas en lomos y piernas de los animales que sobreviven al estrés; además, la muerte súbita es más frecuente en cerdos con PSS que entre los cerdos normales con 5.27% en cerdos con PSS vs 0.56% en Landrace holandés (Karlsson *et al.* 1993).

Van Laack *et al.* (1993) consideran que el alelo n podría acelerar el metabolismo del glucógeno en el músculo del cerdo, lo que fue estudiado por Klont *et al.* (1993), quienes estudiaron el efecto de diferentes tratamientos *ante mortem* en cerdos con diferente

genotipo para el gen Hal, concluyeron que los cerdos que presentan PSS, producen carne PSE, aún con niveles bajos de estrés.

En un estudio realizado en los EU, se estimó que el 11% de todas las líneas maternas de cerdos en ese país son portadores del gen Hal, por lo que en reunión anual del National Pork Producers Council (NPPC) en 1996, se adoptó la resolución por la industria porcina, de tomar acciones para identificar el gen Hal en su piara y eliminar a los cerdos con genotipo Nn y nn, con la participación de productores, proveedores de pie de cría y comités de productores (Martínez *et al.* 2006), considerando el uso de pruebas del gas halotano (van Arendonk & Kennedy 1990), la prueba de DNA y la técnica PCR (Martínez *et al.* 2006).

El gen Rendimiento Napole (RN) está ligado a defectos de calidad en la carne de cerdo (Sánchez *et al.* 2008), es un gen dominante cuyo efecto ha sido demostrado por el bajo rendimiento de muestras tomadas de cerdos cruzados con líneas Hampshire (Hasty *et al.* 2002). Este gen incrementa el contenido de glucógeno en 70% en los músculos blancos o glucolíticos (Martínez *et al.* 2006). Debido a que la magnitud de este efecto decrece cuando la capacidad oxidativa se incrementa, la velocidad de caída del pH *post mortem* es normal, pero su descenso es mayor en los músculos de la pierna, dando valores de pH₄₅ menor a 6.0 (Milligan *et al.* 1998, Alarcón 2007). Esta carne es de apariencia pálida y húmeda aunque menos exudativa que la PSE (Milligan *et al.* 1998).

El contenido de proteína en el músculo se reduce en 5 a 7%, repercutiendo en la misma proporción en el rendimiento tecnológico del jamón cocido, comparado con el normal; sin embargo, este defecto es dos veces menor que el causado por la condición PSE, esta reducción es más pronunciada cuando el valor de pH₂₄ es menor de 5.5 en la carne de piernas provenientes de la raza Hampshire, comparado con el de Pietrain y Large White x Pietrain, siendo 50, 16 y 14% respectivamente (Hicks *et al.* 1998).

2.5.1.2 **Peso**

Los valores de pH_{45} y pH_{24} no son afectados por el peso al sacrificio en cerdos (Flores *et al.* 2009). Sin embargo, se ha visto que canales con peso entre 80 a 90 kg, producen menos carne PSE (van Arendonk & Kennedy 1990). Unruh *et al.* (1996) estudiaron la influencia del genotipo, sexo y contenido de lisina en la dieta sobre el rendimiento en cortes y calidad de la canal de cerdos sacrificados a los 104 y 127 kg de peso vivo, encontrando que la calidad de la carne fue mejor en cerdos sacrificados a los 127 kg de peso vivo, al ser más firme, de color más rojo, con menos humedad exudada y menor pérdida al descongelado y mayor pH.

D'Souza *et al.* (1998) observaron en cerdos Landrace que al aumentar la edad y peso al sacrificio vía restricción alimenticia, la blandura de la carne es menor, se reduce la grasa intramuscular así como la concentración de colágeno y la tasa de proteólisis *post mortem* resultando en mayor pérdida de agua por goteo y en valores bajos de intensidad del rojo.

2.5.1.3 **Sexo**

El sexo del cerdo produce diferencia ($P < 0.05$) de pH_{45} en la carne, lo que se traduce en mayor incidencia de canales PSE en hembras (25.74%) en relación a los machos (24.67%) (Castrillón *et al.* 2007). Sin embargo, Pommier *et al.* (1998) sugieren que el efecto del sexo del animal sobre la calidad de la carne es mínimo. Ring & Kortmann (1989) reportaron en un estudio de 521 canales de cerdo, que la calidad de la carne no se ve afectada por el sexo del animal.

2.5.2 Factores exógenos

Los factores exógenos que tienen efecto sobre la incidencia carne PSE y DFD son: nutrición (D'Souza *et al.* 1998), arreo (Fabregas *et al.* 2003, Grandin 2003), transporte (Fabregas *et al.* 2003), temperatura ambiente (Grandin 1991), período de descanso (Sackmam *et al.* 1989), sacrificio (Grandin 1991, Álvarez *et al.* 2005), izado (Sackmam *et al.* 1989), desangrado (Renaudeau *et al.* 2007), escaldado (Alarcón *et al.* 2006) y enfriamiento (Milligan *et al.* 1998). La influencia que tiene el manejo *ante mortem* sobre la calidad de la carne se debe al efecto del mismo sobre la reserva muscular de glucógeno (Zimmerman 2008).

2.5.2.1 Nutrición

D'Souza *et al.* (1998), consideran que la incidencia de carne PSE puede ser disminuida a través de la nutrición, al encontrar una similitud muy marcada entre carne PSE y la enfermedad del músculo blanco que indica deficiencia de vitamina E. Mallia *et al.* (2000) plantean que esto se logra a través de la suplementación de minerales traza en forma orgánica y vitaminas, señalando como los mas importantes el Mn, Mg, Co, Zn y Se, así como las vitaminas E, C y riboflavina, las cuales reaccionan con los radicales libres del citoplasma y estabilizan la membrana celular. Niveles de 1 g de Mg/kg de alimento en la dieta resultan en pH₄₅ alto y descenso lento, así como, retraso en el establecimiento del *rigor mortis* en cerdos con PSS, debido a que actúa como relajante muscular y tranquilizador (Mallia *et al.* 2000).

Otro mineral importante, según Álvaro *et al.* (2001), es el Cr, el cual juega un papel importante en el estrés calórico durante el transporte, debido a que durante situaciones de estrés se eliminan altos niveles de Cr en orina, el cual ayuda a mantener bajos niveles sanguíneos de cortisol, lo que mantiene sin mucha alteración

el metabolismo de la glucosa, por lo que se le conoce como un nutriente antiestrés.

2.5.2.2 Arreo

Para las operaciones de carga y descarga, los animales deben conducirse sin golpes y uso mínimo del arreador eléctrico (Cavitt *et al.* 2004). Durante el manejo de los animales, el operador debe evitar golpear, gritar y hacer ruidos excesivos a los animales (NOM-033-ZOO-1995). El uso del arreador eléctrico es un factor estresante en el cerdo; aumenta su temperatura corporal, frecuencia cardiaca y nivel sanguíneo de lactato; además, los cerdos estresados son difíciles de manejar; algunos sustitutos del arreador eléctrico pueden ser paneles o varas con tela o plástico en uno de sus extremos (Grandin 2003).

Se recomienda usar rampas con inclinación de 20 a 30° (Cavitt *et al.* 2004) que posean pisos no resbalosos (Grandin 2003). El movimiento de los cerdos durante el arreo debe ir de los lugares más oscuros a los más claros (Fabregas *et al.* 2003). Los pasillos y rampas deben estar diseñados con superficies laterales sólidas que impidan la visión de los cerdos de su alrededor (Grandin 2003).

2.5.2.3 Transporte

Es considerado un factor de estrés para los cerdos (Grandin 2001). La mortalidad durante las operaciones de transporte varía de 0.03 a 0.59%, lo que indica falta de bienestar animal y su efecto es importante sobre la calidad de la carne (Grandin 1997, Newcom *et al.* 2004), por consiguiente, se debe tener cuidado en este punto para minimizar el estrés (Fabregas *et al.* 2003). El estrés ocasionado por el transporte puede producir pérdidas del 0.5 a 3.0 % durante e inmediatamente después de este procedimiento (Sackmam *et al.* 1989).

Cerdos de diferentes grupos que se mezclan justo antes del transporte presentan mayor riesgo de pelea; lo cual origina laceraciones de la piel, particularmente en la región del cuello y hombro (Becerril *et al.* 2009). Alto nivel de estrés produce una respuesta de tensión fisiológica que afecta el bienestar animal y calidad de la carne (Alarcón *et al.* 2008). La concentración sanguínea de glucosa y lactato deshidrogenasa son buenos indicadores del estrés provocado por el transporte (Becerril *et al.* 2009).

Un transporte correcto implica escoger la mejor ruta (condiciones y duración), diseño y mantenimiento del vehículo, tramitar la documentación necesaria, proporcionar densidad adecuada, agua y alimento si es necesario, así como la observación de los animales durante el viaje (Becerril *et al.* 2009). Los animales deben ser descargados inmediatamente después de la llegada a la planta de sacrificio (Fabregas *et al.* 2003).

Es necesario inspeccionar a los animales antes de ser transportados para no incluir aquellos que no son aptos como los enfermos y/o fracturados (Becerril *et al.* 2009). Grandin (2001) menciona que los vehículos deben limpiarse antes de cada carga para prevenir caídas y hematomas.

La duración del tránsito es un factor que afecta la calidad de la carne (Cavitt *et al.* 2004). En general, los viajes menos estresantes para los cerdos son los situados en el intervalo de 120 a 180 min; por el contrario, los más estresantes son los viajes cortos de 30 min, debido a la contribución acumulativa de cada etapa (Grandin 1991). Silva *et al.* (2005) encontró que el pH₂₄ disminuye de 5.85 a 5.65 cuando la duración del viaje se incrementa de 1.5 a 3.5 h.

Cerdos de 100 kg de peso vivo permanecen parados durante viajes cortos de 1.5 a 3 h; al aumentar las horas de viaje, los animales se cansan y tienden a echarse o están más predispuestos a sufrir caídas (Becerril *et al.* 2009).

Se recomienda que la temperatura en el vehículo no exceda los 30 °C (Becerril *et al.* 2009). Cuando la temperatura ambiente excede los 15 °C, se recomienda agregar al vehículo arena húmeda para refrescar a los cerdos y, cuando es de 27 °C o más, se debe aplicar riegos de agua (Leheska *et al.* 2002).

La mortalidad durante las operaciones de transporte varía de 0.03 a 0.59%, lo que indica falta de bienestar animal y compromete la calidad de la carne (Grandin 1997). La mortalidad durante el transporte se incrementa de 0.04 a 0.16% cuando la temperatura ambiente se incrementa de 22 a 27 °C; dicha mortalidad puede aumentar entre 0.27 y 0.30% cuando la temperatura ambiente es de 35 °C (Grandin 2003).

Durante el transporte los cerdos se agrupan y su temperatura corporal se eleva, por lo que experimentan calor y fatiga, por lo tanto, si se permite poco espacio al momento del traslado, la calidad de la carne disminuye y por lo tanto número de canales PSE aumenta (Fabregas *et al.* 2003).

El espacio mínimo para cerdos de 90 a 100 kg de peso vivo es de 250 kg/m²; espacio adicional durante el transporte promueve baja incidencia de carne PSE (Becerril *et al.* 2009). Para Martínez *et al.* (2006), el espacio recomendado es de 287 kg/m², el cual debe ser incrementado 10% en época cálida y cuando la ruta está influenciada por tráfico pesado y/o áreas urbanas donde la ventilación se reduce por disminución de la velocidad.

2.5.2.4 Temperatura ambiente

Las fluctuaciones climáticas influyen sobre la calidad de la carne, tanto en el desarrollo de carne PSE y DFD, como en la formación de petequias (Grandin 1991). La temperatura ambiente superior a 15 °C en el día de sacrificio afecta negativamente la calidad de la carne (Sackmam *et al.* 1989). Cerdos expuestos a temperatura ambiente de 45 °C por 1 h presentan severo desarrollo de carne PSE

(Sánchez *et al.* 2008).

En los primeros días cálidos de primavera puede doblarse la incidencia de carne PSE por el cambio climático (Grandin 1991). Otros investigadores han observado que durante el verano las pérdidas son dos o tres veces mayores que en invierno, debido quizás a una falla en el mecanismo de termorregulación en razas como la Pietrain y Landrace Belga, portadoras del PSS (Martínez *et al.* 2006).

2.5.2.5 Reposo *ante mortem*

El reposo *ante mortem* que se proporciona a los cerdos, les permite recuperarse del estrés ocasionado por la carga, transporte y descarga (Grandin 2001). La mortalidad en ésta etapa varía de 0.21 a 0.23% (Fabregas *et al.* 2003). Los cerdos sacrificados durante las horas iniciales de reposo *ante mortem* presentan conducta agresiva, agotamiento físico y tensión fisiológica, lo que se traduce en aumento en la actividad metabólica, aumento de la temperatura corporal y disminución del pH muscular (Leheska *et al.* 2002).

Por lo anterior, el período de reposo *ante mortem* es importante porque permite al animal recuperar su equilibrio fisiológico, favoreciendo la obtención de carne de buena calidad sensorial y tecnológica (Berg 1998).

Los cerdos deben ser sacrificados después de 12 a 24 h de ayuno, considerando el tiempo transcurrido desde la última ración consumida, la operación de carga y descarga, tiempo de transporte y permanencia en los corrales del matadero (Hambrecht *et al.* 2005). Se han realizado numerosos estudios (Grandin 1997, Grandin 2000, Grandin 2001, Stahl *et al.* 2006) para determinar el período de descanso más idóneo para la recuperación del cerdo.

Grandin (1997) considera que un descanso *ante mortem* de 2 a 4 h es apropiado

para obtener carne de calidad, lo cual fue confirmado por Sackmam *et al.* (1989) y Stahl *et al.* (2006), quienes reportan que el periodo de descanso ideal es de 2 h. Por otra parte, Grandin (2001) encontró que el periodo de reposo que menos carne PSE presenta es de 2 a 3 h, y los reposos superiores a 3 h incrementan la incidencia de carne PSE. No se considera apropiado un tiempo de descanso superior a 4 h, la prolongación del tiempo no provoca mejora en la calidad de la carne, si no posiblemente un deterioro de la misma (Sackmam *et al.* 1989).

El tiempo de reposo largo reduce la incidencia de carne PSE pero aumenta la carne DFD, produce manchas superficiales como resultado de rivalidades y peleas entre cerdos para determinar la jerarquía que se establece dentro de las primeras 2 h de la llegada a los corrales de descanso (Grandin 2000).

2.5.2.6 Sacrificio

Las instalaciones y equipo de sacrificio deben ser inspeccionados antes de su uso, para asegurar su buen estado y funcionamiento, además, todo personal que intervenga en el sacrificio animal debe estar previamente capacitado (NOM-033-ZOO-1995).

El sacrificio comprende tres fases (contención, insensibilización y desangrado) que afectan negativamente la calidad de la carne si no se realizan de manera adecuada, favoreciendo el desarrollo de petequias y carne PSE y DFD (Grandin 1991).

Mayor estrés *ante mortem* en la conducción hacia el lugar de aturdimiento, aumenta de 15 a 30% la invasión bacteriana en órganos y músculos (Gondret *et al.* 2006). Troeger & Woltersdorf (1989) comprobaron que el traslado de los cerdos en grupo es menos estresante que el traslado individual, al encontrar mayor concentración plasmática de adrenalina (1.5 ng/ml vs 0.7 ng/ml, respectivamente). Una alternativa para disminuir el

estrés puede ser el traslado de los cerdos a través de pasillos dobles en donde los animales tengan contacto visual. La sujeción de los animales previo al aturdimiento provoca estrés (Fabregas *et al.* 2003).

Insensibilización. Procedimiento también conocido como noqueo (Cáraves & Gallo 2007) o aturdimiento (Fabregas *et al.* 2003). La insensibilización de los cerdos durante el sacrificio es un requisito desde el punto de vista de bienestar animal (Álvarez *et al.* 2005). Un buen sistema de insensibilización debe: 1) garantizar rápida inducción de inconsciencia sin causar dolor, que debe prolongarse hasta la muerte del animal, 2) minimizar los problemas de calidad del producto final, 3) garantizar la seguridad del operador (Fabregas *et al.* 2003) y, 4) conseguir que el animal pierda la sensibilidad, sin que el corazón interrumpa su función y se consiga un desangrado completo (Grandin 1997).

Cuando los métodos de insensibilización no se aplican en forma adecuada, los animales presentan diferentes grados de conciencia, experimentan dolor y estrés (Shearer & Nicoletti 2002). Los métodos de insensibilización aplicados correctamente provocan en su mayoría pérdida inmediata de la sensibilidad; algunos tienen efecto permanente y otros son reversibles (Cáraves & Gallo 2007).

Una correcta insensibilización brinda carne de mejor calidad (Grandin 1991), por el contrario, la insensibilización incorrecta produce movimientos constantes del animal, lo cuál lo expone a traumatismos por golpes en diversas partes de su cuerpo, ruptura de vasos y, consecuentemente, formación de hematomas en la canal (Moreira *et al.* 2009) y fracturas en extremidades (Grandin 1991).

El criterio para determinar si el cerdo fue insensibilizado correctamente es la observación del ataque epiléptico, que se presenta en dos etapas: 1) fase tónica, comprende los primeros 10 s después del aturdimiento, en los cuales las patas

traseras y delanteras se extienden completamente, la cabeza se retuerce hacia atrás, la respiración se suspende (Sackmam *et al.* 1989) y desaparece el reflejo corneal, esta etapa se caracteriza por la manifestación de un estado general de contracción muscular (Fabregas *et al.* 2003) y, 2) fase clónica, 10 s después del aturdimiento se presenta un relajamiento gradual (Sackmam *et al.* 1989) y el animal comienza a efectuar movimientos bruscos e involuntarios con sus extremidades (Fabregas *et al.* 2003). Es normal que los cerdos tengan pataleos en ésta última etapa (Grandin 2003).

En los métodos de insensibilización de efecto reversible (insensibilización eléctrica y anestesia con CO₂), se observa una tercera etapa denominada fase de recuperación; se presenta al finalizar la fase clónica y se caracteriza por un período de tranquilidad durante el cuál el animal comienza a respirar rítmicamente y a recuperar el reflejo corneal, lo que es indicativo de retorno al estado de consciencia, razón por la cual se debe realizar el desangrado antes de su presentación (Fabregas *et al.* 2003).

La ausencia de conciencia después del aturdimiento eléctrico no puede ser determinada por la concentración de catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) en sangre, debido a que la corriente de insensibilización provoca despolarización del sistema nervioso y vaciado de depósitos de catecolaminas, evento que se desarrolla independientemente del estado de conciencia (Troeger & Woltersdorf 1989).

El correcto sacrificio de cerdos debe cumplir con procedimientos de aturdimiento científicamente validados (Grandin 2003). En EU, Europa y otros países se aceptan tres métodos de aturdimiento: 1) percusión, 2) insensibilización eléctrica y, 3) anestesia con dióxido de carbono (CO₂) (Alarcón *et al.* 2006). Los más utilizados en plantas de sacrificio de porcinos son la insensibilización eléctrica y la anestesia con CO₂ (Fabregas *et al.* 2003). El noqueo con mazo es el único método de aturdimiento

utilizado en mataderos de Pto. Escondido, Oaxaca.

Aturdimiento de percusión. Este método de insensibilización se puede utilizar en cualquier especie doméstica (OIE 2010). Existen pistolas de dos tipos, de perno penetrante y no penetrante, en ambas éste es impulsado por la detonación de un cartucho con pólvora o mediante aire comprimido (Cáraves & Gallo 2007). Cualquiera que sea su tipo, la pistola de perno cautivo (PP) provoca conmoción cerebral de tipo irreversible debido a la fuerza con que el perno impacta el cráneo y daña el cerebro, logrando inmediata insensibilización del ganado (Ríos & Acosta 2008).

La PP tipo penetrante al ser detonada, lanza un perno cilíndrico que perfora el cráneo y penetra el cerebro del animal, en cambio, la PP tipo no penetrante al ser detonada, lanza un perno cilíndrico con extremo circular aplanado que impacta contra la superficie externa del cráneo del animal (Cáraves & Gallo 2007).

Una insensibilización efectiva con este método depende de la fuerza del proyectil, dirección del golpe y de efectuar el impacto en la parte correcta del cráneo; la mejor posición es donde el cerebro está más cerca de la superficie de la cabeza y el cráneo es más delgado (Ríos & Acosta 2008). Se requiere que la pistola sea sostenida firmemente sobre la superficie de la cabeza en el blanco deseado, debido a que la dirección del perno cautivo es crítica (Shearer & Nicoletti 2002).

Con la PP tipo penetrante, el perno penetra el cerebro a alta velocidad (100 a 300 m/s) con fuerza de 50 kg/mm², produce daño cerebral por efecto lacerativo, lo que resulta en lesión difusa del cerebro, mientras el animal conserva la actividad cardíaca y respiratoria (Ríos & Acosta 2008).

Insensibilización eléctrica: También recibe el nombre de electronarcosis (Fabregas *et al.* 2003) y es el método de insensibilización más común en cerdos (Castrillón *et al.* 2007). Para que la inconciencia sea instantánea y sin dolor, el cerebro del animal debe recibir suficiente corriente eléctrica para inducir ataque epiléptico (Grandin 2003), si el amperaje no es adecuado o la corriente no pasa por el cerebro del animal éste sentirá el choque eléctrico y exhibirá síntomas de paro cardíaco a pesar de estar paralizado (Castrillón *et al.* 2007).

Hicks *et al.* (1998) consideran que en cerdos de 120 kg de peso vivo, el mejor método de insensibilización eléctrica es aquel con un mínimo de 1.25 amp y 300 a 600 V, durante 1 a 3 s; de esta manera el cerebro se desactiva con la insensibilización antes de que cualquier estímulo de dolor sea detectado y enviado al cerebro por el sistema nervioso central (van Arendonk & Kennedy 1990). Sin embargo, Fabregas *et al.* (2003) menciona que la aplicación de corriente debe oscilar de 3 a 7 s; tiempo de aplicación inferior a 2 s no asegura adecuado aturdimiento.

Descargas eléctricas excesivas en tiempo y/o intensidad pueden provocar que algunas articulaciones se luxen, causando hemorragias que afectan negativamente la calidad de la carne, para prevenir este problema, el tiempo de descarga no debe exceder los 3 s (Bereskin *et al.* 1978). Sin embargo, Ring & Kortmann (1989) reportan que la incidencia de hemorragias y fracturas en la canal disminuye de 57.1 a 5.1% al aumentar el voltaje de 250 a 600 V, respectivamente.

Errores en la insensibilización eléctrica (paso prematuro de corriente por los electrodos) incrementan debido a la fatiga del operador después de 2 h continuas de trabajo (Grandin 2003). El mal aturdimiento provocado por la colocación incorrecta de los electrodos puede rectificarse incrementando la intensidad de corriente; no obstante, esto provoca mayor intensidad de la fase tónica y aumento de la presión sanguínea,

favoreciendo la presencia de manchas de sangre en la musculatura, degenerando la calidad de carne (Fabregas *et al.* 2003).

Insensibilización con dióxido de carbono. La utilización de CO₂ a altas concentraciones (mayor a 70%) durante corto tiempo (20 a 60 s) produce pérdida reversible de consciencia, a la vez que mantiene inalterada la respiración y circulación sanguínea (Anónimo 2011), sin dejar residuos en la canal; actualmente, este método de insensibilización sólo se usa en porcinos (Fabregas *et al.* 2003); sin embargo, la insensibilización provocada mediante este método no es instantánea, requiere de aproximadamente 21 s para que el cerdo pierda la sensibilidad (Grandin 2003).

La insensibilización con CO₂ en concentración de 85 a 90%, elimina la presencia de fracturas en la canal (Anónimo 2011) y previene la presencia de petequias al evitar la ruptura de vasos sanguíneos, en comparación con la insensibilización eléctrica (Grandin 1997), además, la incidencia de carne PSE en lomos es menor con la insensibilización con CO₂ (4.5%) respecto a la insensibilización eléctrica (35.6%) (Fabregas *et al.* 2003).

El mejor método de insensibilización con CO₂ es aquel con tiempo de exposición de 86 a 95 s y concentración de CO₂ de 95 a 98%, dado que presenta el menor porcentaje de animales con movimiento (0%), reflejo corneal (15.3%) y vocalización (0%) (Moreira *et al.* 2009).

La insensibilización con CO₂ tiene las siguientes ventajas: 1) no se requiere la sujeción de los cerdos para su aturdimiento (Fabregas *et al.* 2003), 2) los cerdos se introducen en grupos (4 a 5 cerdos) dentro de cámaras (Álvarez *et al.* 2005), lo que facilita su manejo (Grandin 2003) y, 3) el cuerpo del animal aturdido no presenta movimientos reflejos, lo que facilita la operación de izado y desangrado (Anónimo 2011).

Insensibilización con mazo: El noqueo con mazo como método de insensibilización sólo es aceptable como alternativo para realizar la eutanasia de cerdos con peso vivo menor a 5.5 kg; es un método económico que consiste en proporcionar un golpe firme y fuerte, con un instrumento contundente, en la cabeza del animal; es crucial que el golpe se realice con determinación, rapidez y firmeza para aturdir al animal (Anónimo 2005).

Sin embargo, para Shearer & Nicoletti (2002), el noqueo con mazo es un método de insensibilización inaceptable para el sacrificio de animales debido a su baja eficiencia, lo que puede ser evaluado por medio de la frecuencia cardíaca y respiratoria, presión sanguínea, presencia de reflejos, electro-encefalograma y electro-corticografía (Ríos & Acosta 2008).

Desangrado. El desangrado inicia la disminución de la temperatura corporal del cerdo aturdido (Alarcón *et al.* 2006), realizado correctamente minimiza la incidencia de equimosis en la carne (Renaudeau *et al.* 2007). Cuando se utilizan métodos de insensibilización reversible, los cerdos deben ser desangrados lo más pronto posible para evitar que retornen a la sensibilidad (Grandin 2003). El aumento del tiempo entre insensibilizado y desangrado (15, 30 y 45 s) promueve el incremento en la incidencia de hemorragias y fracturas en la canal (24.5, 34.7 y 40.8%, respectivamente) en cerdos aturdidos eléctricamente (Ring & Kortmann 1989).

El corte de las venas y arterias para el desangrado debe realizarse en los siguientes 30 s a partir de insensibilizado el animal, una vez desangrado, ya no hay daños en la canal debido a la ausencia de sangre (Alarcón *et al.* 2005). Se recomienda que el tiempo entre insensibilizado y desangrado sea menor de 10 s para obtener carne de mejor calidad (Alarcón *et al.* 2006)

Al reducir el tiempo entre insensibilizado y desangrado (4 vs 6 s) se obtiene carne con menor pérdida de agua por goteo, temperatura de la canal a los 45 min y 24 h

(T_{45} y T_{24} , respectivamente) *post mortem*, conductividad eléctrica e intensidad del amarillo, caída lenta de pH y mayor intensidad del rojo, lo que favorece la calidad de la carne de cerdo (Alarcón *et al.* 2006). Troeger & Woltersdorf (1989) encontraron en el músculo *Longissimus dorsi* valores bajos pH_{45} (5.87) cuando el intervalo entre insensibilizado y desangrado era de 28 a 50 s y observaron un incremento en el valor de esta característica (6.27) al disminuir el intervalo de tiempo para este procedimiento (8 a 10 s).

2.5.2.7 Izado

Grandin (1991), estudió el efecto del izado de la canal sobre la calidad de la carne, encontró que el encadenamiento por si sólo no afecta, pero al combinar el izado con la insensibilización eléctrica puede conducir a una disminución de dicha calidad. Sackman *et al.* (1989), observaron que la pierna sobre la que se encadena la canal presenta más defectos de calidad, sobre todo cuando la insensibilización eléctrica no se realiza correctamente, provocando sacudidas violentas durante su izado, lo que produce carne PSE antes en esta media canal que en la otra.

2.5.2.8 Escaldado

El escaldado posee un efecto de lavado, pero a su vez, tiene lugar cierta contaminación superficial de las canales por los microorganismos del agua de escaldado (Bereskin *et al.* 1978). El escaldado de las canales de cerdos a 60 °C por un período de 5.5 a 7.5 min da resultados satisfactorios en la depilación (Fabregas *et al.* 2003).

Alarcón *et al.* (2006) encontró que el tiempo prolongado de escaldado (7 min) a 62 °C disminuye la calidad de la carne, ésta se mejora al disminuir el tiempo de escaldado a 5 min, obteniendo menor pérdida de agua por goteo, caída más lenta de pH y mejor color.

2.5.2.9 Enfriamiento

Después de la llegada de los cerdos al matadero, las prácticas de manejo *ante mortem* y el enfriamiento de la canal tienen efecto sobre la incidencia de carne PSE, estimándose que al manejo corresponde de 10 a 15% de la incidencia de carne PSE y al enfriamiento de 20 a 40% (Grandin 1997).

Las características de calidad de la carne se mejoran cuando las canales se enfrían rápidamente (Alarcón *et al.* 2006). El enfriamiento de las canales inmediatamente después de sacrificados los animales, puede reducir la incidencia de carne PSE; para ello, se utiliza un shock térmico capaz de bajar a 6 o 7 °C la temperatura externa de la canal en un tiempo de 90 a 100 min, de manera que el centro de la pierna obtenga una temperatura de 32 a 34 °C (Milligan *et al.* 1998). Sin embargo, Cárvanes & Gallo (2007), mencionan que los procedimientos rápidos de enfriado no prevendrán la presencia de carne PSE si el daño ya ha ocurrido antes de que las canales entren en la cámara de refrigeración.

Las ventajas del enfriado rápido radican en una disminución lenta del pH, y por consiguiente, reduce la presencia de carne PSE (Cárvanes & Gallo 2007). Lonergan *et al.* (2007) indican que se ha usado exponer las canales a enfriado con aire a temperatura frías, para reducir la temperatura intramuscular con el fin de disminuir la incidencia de carne PSE. Los sistemas de enfriamiento rápido consisten en cuartos o túneles que combinan baja temperatura con alta velocidad de aire para disminuir la temperatura de la canal; se ha observado que el color de la carne en estos casos de enfriamiento es más oscuro y la pérdida de agua por goteo es menor (Renaudeau *et al.* 2007).

La rapidez de la línea de sacrificio es de vital importancia para evitar que el proceso bioquímico de descenso del pH muscular este acompañado por alta temperatura, se recomienda que el tiempo transcurrido desde la insensibilización

eléctrica hasta la introducción de la canal a la cámara de enfriamiento sea de 25 a 40 min (Jaud *et al.* 1993).

2.6 Eficiencia del Método de Insensibilización

Es importante destacar que los métodos de insensibilización no garantizan el 100% de efectividad en lograr la insensibilización correcta de los animales como consecuencia de errores en su aplicación (Fabregas *et al.* 2003). Una insensibilización efectiva mediante la PP involucra colapso inmediato del animal al primer disparo, interrupción de la respiración rítmica, cuerpo rígido con cabeza y cuello extendido y pérdida del reflejo corneal durante la fase tónica, seguido de un período de pataleo involuntario durante la fase clónica (Cáraves & Gallo 2007).

El nulo o mal mantenimiento de la PP, falla en el diseño ergonómico de las pistolas de tipo neumático, fatiga del operador (Grandin 1998), falta de capacitación y uso de cartuchos inadecuados para el tamaño del animal son causas de baja eficiencia (menor a 95%) en la insensibilización mediante este método (Cáraves & Gallo 2007).

Las variables para evaluar la eficiencia del método de insensibilización son: 1) porcentaje de cerdos correctamente aturdidos en el primer intento, 2) porcentaje de cerdos que muestran signos de sensibilidad: respiración rítmica, reflejo corneal, vocalización, intento de incorporarse y parpadeo natural (Grandin 2003).

Los signos indicadores de presencia de sensibilidad, o retorno de la misma, debido a un mal aturdimiento son: el animal no se colapsa ó cae y se vuelve a incorporar, intento de incorporarse y presencia de respiración rítmica, reflejo corneal, vocalización (Grandin 1998, Cáraves & Gallo 2007) y parpadeo natural (Grandin 2003).

Un cerdo correctamente aturdido, independientemente del método utilizado, cuelga del riel con espalda recta y cabeza flácida. Cuando se presenta el reflejo intento de

incorporarse, el cuello y la espalda se arquean (Grandin 2003). Los movimientos de las extremidades no son signo de retorno de la sensibilidad cuando la lengua cuelga (Grandin 1998). Una mandíbula relajada es indicador de inconsciencia; cuando esto ocurre, la lengua se presenta flácida y extendida (Grandin 2003).

La respiración rítmica y el reflejo corneal indican presencia de sensibilidad (Fabregas *et al.* 2003). Los reflejos oculares se pierden luego de espasmos tetánicos breves (Cáraves & Gallo 2007). El reflejo corneal puede interpretarse incorrectamente como presente cuando los párpados están cerrados; estos pueden abrirse súbitamente al tacto y lucir como reflejo (Grandin 2003). Gregory & Grandin (1998) establecen que la ausencia de reflejo corneal en animales aturdidos indica profundo estado de inconsciencia.

El parpadeo natural sin tocar el ojo, debe estar siempre ausente después del aturdimiento, es un signo fácil de observar y menos susceptible a ser mal interpretado; el parpadeo natural no debe ser confundido con el nistagmo, este último puede ocurrir en cerdos correctamente aturdidos eléctricamente (Grandin 2003).

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Evaluar el efecto del método de aturdimiento sobre la sensibilidad durante el aturdimiento y la calidad de la carne de cerdos.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar el método de insensibilización más eficiente en lograr el colapso del cerdo al primer intento.
- Evaluar el efecto del método de insensibilización sobre los signos de sensibilidad durante el aturdimiento de cerdos.
- Evaluar el efecto del método de insensibilización y sexo sobre las características fisicoquímicas y tecnológicas de calidad de la carne de cerdo.
- Evaluar el efecto del método de insensibilización y sexo sobre la presencia de carne PSE, NOR y DFD en cerdos.

IV. HIPÓTESIS

La sensibilidad durante el aturdimiento y la calidad de la carne de cerdo son diferentes por efecto del método de insensibilización aplicado durante el sacrificio.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del área de estudio

El presente estudio se realizó en las instalaciones de un matadero privado localizado en Puerto Escondido, Oaxaca, México; ubicado entre las coordenadas 97° 04' 45.2" longitud Oeste del meridiano de Greenwich y 15° 54' 01.8" latitud Norte, a una altitud de 123 msnm. El clima que se presenta en el lugar es cálido subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura entre 24 y 26 °C y precipitación pluvial de 731.9 a 2,054 mm (García 1989). El almacenamiento y análisis de muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Tecnología de Productos Pecuarios de la Universidad del Mar, Campus Puerto Escondido, ubicada en el km 1.5 de la carretera Oaxaca Vía Sola de Vega, San Pedro Mixtepec, Juquila, Oaxaca, México; ubicado entre las coordenadas 97° 04' 29.6" longitud Oeste del meridiano de Greenwich y 15° 53' 18.3" latitud Norte, a una altitud de 119 msnm.

5.2 Características de la población

Se utilizó un total de 28 cerdos durante la realización del presente estudio. Los animales provenían de dos granjas tecnificadas ubicadas en los estados de Michoacán y Guanajuato, Méx., donde fueron sometidos a régimen alimenticio *ad libitum* con alimento comercial, criados en un sistema de producción intensivo, alcanzando el peso al sacrificio de 90 a 100 kg entre los 155 y 165 d de edad.

Los cerdos fueron adquiridos en la población Los Tamarindos, Ometepec, Gro., Méx., de donde fueron transportados al matadero en camiones de dos niveles con un total de ocho jaulas de piso metálico, con dimensiones de 1.2 m x 2.0 m cada una y capacidad

individual de cinco cerdos. El tiempo de transporte aproximado fue de 5 h con paradas en el trayecto para rociar a los cerdos con agua.

Los cerdos se recibieron en el matadero entre las 10:00 y 12:00 h. Se descargaron con ayuda de dos rampas fijas de concreto, se pesaron al momento de recepción en una báscula (Remex mod. NOVA 500) con plataforma de 0.9 m x 1.5 m de superficie. Posteriormente se trasladaron a los corrales de espera con dimensiones de 3.8 m x 4.8 m, provistos de cuatro bebederos automáticos tipo chupón y seis comederos rústicos de concreto de 0.80 m x 0.28 m, donde fueron alojados a densidad de 1.01 a 1.14 cerdos/m². Se les proporcionó agua durante la recepción, fueron bañados 1 h después de su llegada, y 30 min después se les ofreció alimento comercial. El tiempo de descanso *ante mortem* fue de 11 a 157 h. Se registró el día y hora de arribo de los cerdos al matadero para determinar la duración del reposo *ante mortem*.

5.3 Manejo *ante mortem*

Se registró el peso vivo de los cerdos antes de ingresar al área de sacrificio, el traslado de los cerdos al área comprendió una distancia de 17 a 27 m, una vez ahí, se les dio un baño con la finalidad de disminuir la temperatura corporal y remover la suciedad de la piel. Finalmente, el cerdo fue atado a un pilar de ambos miembros posteriores a la altura del corvejón para ser inmovilizado.

5.4 Sacrificio

El horario de sacrificio fue de 6:00 a 11:00 h, que incluyó el método de insensibilización correspondiente según el tratamiento; el tiempo transcurrido entre insensibilización y corte para desangrado fue de 8 ± 2 s, pasando después a la etapa de desangrado vertical con duración de 5 ± 1 min y a la etapa de escaldado, con agua a

temperatura de 68 a 70 °C y duración promedio de 7 ± 1 min. Posteriormente los cerdos pasaron a las etapas de depilado, eviscerado, lavado y despiezado con duración total de 45 ± 4 min. El proceso de sacrificio desde que el animal es insensibilizado hasta que se encuentran las piezas primarias en el cuarto de refrigeración del mismo matadero tuvo una duración de 57 ± 6 h.

5.5 Tratamientos

Se utilizaron cuatro tratamientos que resultan de la combinación de dos factores: 1) método de insensibilización y 2) sexo de los cerdos (Cuadro 1). La insensibilización se llevó a cabo por medio de dos métodos: 1) insensibilización mediante aturdimiento de percusión con una pistola de perno cautivo (Accles & Shelvoke Calibre 22 modelo Cash Special) con cartucho rosa para cerdos con peso vivo menor a 100 kg y cartucho purpura para cerdos de más 100 kg de peso vivo; al momento del sacrificio la pistola fue sostenida firmemente por el operador sobre la superficie de la cabeza, colocando el cañón del arma en posición paralela a la línea dorsal del animal sobre el sitio adecuado de insensibilización; según Shearer & Nicoletti (2002) éste corresponde al centro de la cabeza levemente 2 cm arriba sobre una línea imaginaria que une a ambos ojos del animal y 2) insensibilización mediante noqueo con mazo utilizando un tubo galvanizado de $1\frac{1}{4}$ pulgadas, 98 cm de largo, 0.3 cm de espesor en sus paredes y 2.5 kg de peso; éste método de insensibilización consistió en la aplicación de un firme y fuerte golpe en la frente del animal con el tubo galvanizado.

La PP recibió limpieza después de cada uso, lo cual consistió en retirar restos de tejido, sangre, pelo o cualquier otro material, así como lubricar superficies externas para evitar su corrosión. El mazo metálico se limpió con trapo y agua limpia con la misma frecuencia que el anterior.

Cuadro 1. Diseño experimental utilizado para evaluar el efecto del método de aturdimiento sobre la sensibilidad y la calidad de la carne de cerdo.

Trat ^a	Método ^b	Sexo ^c	Bloque, kg de peso vivo						
			81-85	86-90	91-95	96-100	101-105	106-110	111-115
1	PP	M	1 UE ^d	1 UE	1 UE	1 UE	1 UE	1 UE	1 UE
2	PP	H	1 UE	1 UE	1 UE	1 UE	1 UE	1 UE	1 UE
3	NM	M	1 UE	1 UE	1 UE	1 UE	1 UE	1 UE	1 UE
4	NM	H	1 UE	1 UE	1 UE	1 UE	1 UE	1 UE	1 UE

^aTratamiento; ^bMétodo de insensibilización, PP= pistola de perno cautivo, NM= noqueo con mazo; ^cSexo del animal, M= macho. H= hembra; ^dUnidad experimental

5.6 Variables de Respuesta

5.6.1 Eficiencia del método de insensibilización

5.6.1.1 Número de intentos para lograr colapso

Al momento de aplicar el método de insensibilización durante el sacrificio, se registró el número de intentos (disparos con pistola o golpes con mazo) necesarios para lograr el colapso del animal aturdido (Cartes 2000, Cárvares & Gallo 2007).

5.6.1.2 Signos de sensibilidad

Los procedimientos de medición de los signos de sensibilidad propuestos por Grandin (1998) son de fácil aplicación en condiciones normales de trabajo, cada uno de ellos se evalúa inmediatamente después del colapso del animal.

Respiración rítmica. Se registró como presente si después del colapso del cerdo, se observaron movimientos rítmicos respiratorios en el flanco del tórax y abdomen o, al percibir el aire espirado, también en forma rítmica, al poner el dorso de la mano frente a las fosas nasales; se registró como ausente cuando el animal no presentó los signos antes descritos (Grandin 1998).

Parpadeo natural. Se consideró presente cuando el animal mostró parpadeo de forma natural inmediatamente después del disparo o golpe efectivo; se consideró ausente cuando el animal no exhibió este parpadeo (Grandin 1998).

Reflejo corneal. Para evaluar su presencia o ausencia, se acercó el dedo índice a la córnea del animal aturdido; se registró como presente en aquellos que mostraron parpadeo como reacción al tacto; en forma contraria, se registró como ausente en los que no parpadearon al tacto (Grandin 1998).

Intento de incorporarse. Se consideró presente cuando el animal mostró intentos de levantar la cabeza y/o tronco después de su colapso; se consideró ausente cuando no exhibió éstos movimientos (Grandin 1998).

Vocalización. Se consideró presente en aquellos animales que emitieron vocalización (gruñido o chillido) inmediatamente después del disparo o golpe efectivo; se consideró ausente cuando el animal no emitió vocalización (Grandin 1998).

5.6.2 Calidad de la carne

Todas las mediciones se realizaron en la cara interna del músculo *Semimembranosus* de la pierna izquierda, que es uno de los músculos de mayor valor comercial, y de los más susceptibles a la presencia de carne con defecto PSE (Alarcón *et al.* 2006). Las características fisicoquímicas y tecnológicas de calidad de la carne fueron medidas por triplicado en cada canal evaluada.

5.6.2.1 Características fisicoquímicas

pH. Se midió en dos ocasiones: 1) en el matadero a los 45 min *post mortem* (pH₄₅), se utilizó un potenciómetro/termómetro con electrodo de inserción (Hanna modelo HI 99163) y 2) en el laboratorio a las 24 h *post mortem* (pH₂₄) en la cámara de refrigeración (Alarcón *et al.* 2005, Alarcón *et al.* 2006).

Temperatura interna de la canal. Se midió en dos ocasiones: en el matadero se realizó la primera medición de temperatura interna de la canal en el músculo *Semimembranosus* de la pierna izquierda a los 45 min *post mortem* (T₄₅) utilizando un potenciómetro/termómetro con electrodo de inserción (Hanna modelo HI 99163); la segunda medición se realizó en el laboratorio a las 24 h *post mortem* (T₂₄) en la cámara de refrigeración (Alarcón *et al.* 2005, Alarcón *et al.* 2006).

Color. La medición del color se llevó a cabo en el laboratorio a las 24 h *post mortem*. Se tomó una muestra de 300 g, se eliminó tejido conectivo y grasa visible sobre el músculo, se dejó oxigenar al aire por 15 min para después realizar las mediciones de los parámetros de color de acuerdo a la técnica utilizada por Garrido *et al.* (1994). El sistema de referencia a usar fue el CIE (1976; Commission Internationale pour l'Eclairage),

determinándose los valores de luminosidad, intensidad del rojo e intensidad del amarillo con un espectrofotómetro de esfera (X-rite modelo HI SP60).

5.6.2.2. Características tecnológicas

Capacidad de retención de agua. En el laboratorio se pesaron 0.3 g de muestra a las 24 h *post mortem* en una balanza analítica (Adam modelo PW 254 con precisión de 0.0001 g). Para estimar la capacidad de retención de agua, la muestra se colocó entre dos papeles filtro, los cuales a su vez se ubicaron entre dos placas de plexiglass y, se ejerció una presión constante de 10 kg durante 15 min como modificación a la técnica propuesta por Grau & Hamm (1953) hecha por Boakye & Mittal (1993). La ecuación empleada para determinar el porcentaje de capacidad de retención de agua (CRA) fue la siguiente:

$$\text{Agua libre} = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final} \times 100}{\text{peso final}}$$

$$\text{CRA (\%)} = 100 - \text{Agua libre (\%)}$$

Pérdida de agua por goteo. Después del proceso de refrigeración (24 h *post mortem*), se tomó una muestra de forma rectangular uniforme con peso promedio de 3 g, pesándose en una balanza analítica (Adam modelo PW 254 con precisión de 0.0001 g); en el laboratorio, las muestras fueron suspendidas en recipientes desechables de plástico por medio de un hilo, evitando que la muestra tocara los lados del recipiente; los recipientes tapados se colocaron en un refrigerador a temperatura constante de 4 °C durante 24 h (Honikel & Kim 1986). A las 48 h *post mortem* las muestras se retiraron del recipiente y se registró el peso final de la misma para estimar por medio de diferencia la pérdida de agua por goteo.

La ecuación empleada para determinar la PG, fue la siguiente:

$$PG = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final} \times 100}{\text{peso inicial}}$$

5.7 Clasificación de canales

La clasificación de canales con carne pálida, suave y exudativa (PSE), normal (NOR) y oscura, firme y seca (DFD) se realizó tomando el valor de pH₄₅ y luminosidad como indicadores, según la clasificación reportada por varios autores (Stecchini *et al.* 1990, Kauffman 1991, van Laack *et al.* 1994), quienes concuerdan que canales con pH₄₅ menor o igual a 5.9 en combinación con un valor de luminosidad mayor o igual a 57, se clasifican como PSE; canales con pH₄₅ mayor a 5.9 y menor a 6.4 con un valor de luminosidad menor a 57 y mayor a 48, se clasifican como canal NOR y; canales con un pH₄₅ mayor o igual a 6.4 y luminosidad menor o igual a 48 se clasifican como DFD.

5.8 Análisis estadístico

El modelo estadístico utilizado en este estudio, fue un diseño de bloques completamente aleatorizados con arreglo factorial 2 x 2. Como criterio de bloque se consideraron siete rangos de peso vivo de los cerdos al sacrificio. El primer factor correspondió al método de insensibilización empleado durante el sacrificio del cerdo: pistola de perno cautivo (PP) y noqueo con mazo (NM). El segundo factor correspondió al sexo del animal: macho y hembra (Cuadro 1). Se consideraron como covariables el tiempo de reposo *ante mortem*, la humedad y temperatura ambiente al momento del sacrificio para las variables cuantitativas.

Los resultados de las variables de sensibilidad se analizaron mediante tablas de frecuencia (FREQ) y la prueba de chi-cuadrada (CHISQ) del paquete estadístico

Statistical Analysis System (SAS 2010) para determinar la presencia o ausencia de dependencia entre las variables de sensibilidad y los factores; método de insensibilización y sexo del animal.

Los resultados de las variables fisicoquímicas y tecnológicas se analizaron mediante el procedimiento GLM (Modelo Lineal General) del mismo paquete estadístico, y se utilizó la prueba de Tukey. El efecto del método de insensibilización y sexo sobre las variables cuantitativas se analizó mediante contrastes ortogonales utilizando la instrucción CONTRAST (SAS 2010).

Cuando la interacción entre variables y covariables resultó significativa, el grado de asociación se determinó mediante un análisis de regresión, utilizando el procedimiento REG del paquete estadístico antes mencionado. La intensidad y forma de asociación entre variables asociadas se determinó con el coeficiente de correlación múltiple mediante el procedimiento CORR.

Para estimar la frecuencia de músculos PSE y DFD en las canales muestreadas, se construyó una tabla de frecuencias tomando como indicadores las variables pH₄₅ y luminosidad (Stecchini *et al.* 1990, Kauffman 1991, van Laack *et al.* 1994), utilizando tablas de frecuencia (FREQ) y la prueba de chi-cuadrada (CHISQ), con método de insensibilización y sexo del animal como variables clasificatorias (SAS 2010).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Eficiencia del método de insensibilización

6.1.1 Número de intentos para lograr el colapso

El número de intentos para lograr colapso del cerdo no presentó diferencia ($P>0.05$) entre los tratamientos T_1 , T_2 , T_3 y T_4 para un intento de aturdimiento, con valores de 100.0, 100.0, 71.4 y 85.7%, respectivamente (Cuadro 2). Los contrastes por efecto del método de insensibilización y efecto del sexo no presentaron diferencia ($P>0.05$). Sin embargo, existe una tendencia ($P=0.06$), lo que significa que la PP fue eficiente en 94 casos de 100.

La eficiencia de la PP fue excelente por lograr el colapso del 100% de los cerdos aturdidos en los tratamientos T_1 y T_2 . Las principales razones por las cuales depende la insensibilización efectiva mediante la PP son fuerza del proyectil, dirección y posición del disparo en la parte correcta del cráneo (Ríos & Acosta 2008).

Adicionalmente, las causas que pudieron contribuir con la eficiencia de la PP puede estar relacionada con el mantenimiento que recibió la PP después de cada uso para mantener el máximo poder de impacto (Grandin 1998) y por el reducido número de cerdos sacrificados diariamente (2 a 3), por lo tanto, el noqueador siempre estuvo en condiciones adecuadas para realizar el disparo.

La capacitación previa que recibió el noqueador responsable de aplicar el método de insensibilización en el presente estudio también justifica los excelentes resultados obtenidos con la PP. El noqueador tiene un rol fundamental en el proceso de insensibilización, lo que involucra la capacitación para desarrollar su labor eficientemente (Grandin 2003). Debe saber donde colocar el disparo y qué posición debe tener la pistola o mazo con respecto al cráneo.

En los tratamientos con NM, el hecho de que menos del 90% de los animales colapsaron al primer intento de aturdimiento representa un problema serio en la eficiencia del método de insensibilización, ésta se considera excelente cuando se logra el colapso en el 99 a 100% de los animales en el primer intento; es aceptable de 95 a 98%; no aceptable de 90 a 94% y problema serio menos de 90% (Grandin 1998). A pesar de que no existen diferencias por efecto del método, la planta de sacrificio tendría que tomar acciones inmediatas debido a que la eficiencia del primer intento de aturdimiento cae por debajo de 95%.

En cambio, la eficiencia del NM se puede relacionar con la dificultad de colocar el golpe en la posición y dirección correcta en el cráneo del cerdo, y en producir el golpe con la fuerza necesaria para lograr aturdimiento, lo indica que depende del factor humano y que esta sujeto a múltiples variaciones (estado de ánimo, cansancio, condición física).

Otra causa importante de la eficiencia de insensibilización, especialmente para NM, es la falta de un cajón de noqueo que permita inmovilizar al animal; evite movimientos repentinos y facilite la tarea del noqueador. Además, Grandin (1998) señala que en un cajón convencional la eficiencia del proceso de insensibilización puede mejorarse mediante el uso de un sistema de sujeción de cabeza, diseñado de tal manera que el animal entre voluntariamente y sea aturdido inmediatamente después de sujetarle la cabeza. En un estudio realizado con ganado bovino, Teuber (2003) encontró que con la implementación de un sistema de sujeción de cabeza se mejora la eficiencia del proceso de noqueo.

Cuadro 2. Efecto del método de insensibilización y sexo sobre el número de intentos para inducir colapso y signos de sensibilidad durante el aturdimiento en cerdos al momento del sacrificio.

Método de insensibilización ¹	Sexo ²	Trat ³	Intentos ⁴		Signo de sensibilidad (%) ⁵				
			1	≥ 2	RR	PARPA	RC	INC	VOC
PP	M	1	100.0	0.0	14.3 ^b	14.3 ^b	14.3 ^b	14.3	14.3 ^b
	H	2	100.0	0.0	0.0 ^b	0.0 ^b	0.0 ^b	0.0	0.0 ^b
NM	M	3	71.4	28.6	100.0 ^a	85.7 ^a	100.0 ^a	42.9	100.0 ^a
	H	4	85.7	14.3	57.1 ^a	85.7 ^a	100.0 ^a	42.9	57.1 ^a
Chi-cuadrado				4.11	17.50	17.66	24.55	5.14	17.50
Grados de libertad del error				3	3	3	3	3	3
Contrastes ortogonales									
Efecto del método				P=0.06	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.05	P<0.01
Efecto del sexo				P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05

¹PP= pistola de perno cautivo, NM= noqueo con mazo; ²M= macho, H= hembra; ³Trat= tratamientos; ⁴Intentos= número de disparos con PP o golpes mediante NM para inducir colapso del animal; ⁵RR= respiración rítmica, PARPA= parpadeo natural, RC= reflejo corneal, INC= intento de incorporarse, VOC= vocalización; ^{a,b}Literales diferentes en la misma columna son diferentes (P<0.01).

El número de intentos para lograr colapso del cerdo no presentó diferencia (P>0.05) entre los tratamientos T₁, T₂, T₃ y T₄ para dos o más intentos de aturdimiento, con valores de 0.0, 0.0, 28.6 y 14.3%, respectivamente (Cuadro 2). Los contrastes por efecto del método de insensibilización y efecto del sexo no presentaron diferencia (P>0.05). Sin embargo, existe una tendencia (P=0.06) que sugiere realizar mayor número de repeticiones en estudios posteriores y probablemente encontrar diferente respuesta para esta variable por efecto del método y coincidir con Shearer & Nicoletti (2002), quienes mencionan que el noqueo con mazo es un método de insensibilización inaceptable para el sacrificio de animales debido a su baja eficiencia.

6.1.2 Signos de sensibilidad

6.1.2.1 Respiración rítmica

La respiración rítmica fue mayor ($P < 0.01$) en los tratamientos T_3 (100.0%) y T_4 (57.1%) con respecto a los tratamientos T_1 (14.3%) y T_2 (0.0%). La comparación por método mostró diferencias ($P < 0.01$) favoreciendo a los cerdos aturdidos con la PP. La comparación por sexo no presentó diferencias ($P > 0.05$) para la respiración rítmica (Cuadro 2).

Blackmore & Denaly (1988) mencionan que no existe relación de la respiración rítmica con la pérdida de sensibilidad durante el aturdimiento. Sin embargo, diversos autores (Gregory & Grandin 1998, Finnie 1993, Grandin 2002) señalan que después del colapso de un animal correctamente insensibilizado, la respiración rítmica, los reflejos oculares y la vocalización desaparecen, motivo por el cual la eficiencia de insensibilización fue mayor para la PP con relación al NM en el presente estudio.

6.1.2.2 Parpadeo natural

El parpadeo natural fue mayor ($P < 0.01$) en los tratamientos T_3 (85.7%) y T_4 (85.7%) con respecto a los tratamientos T_1 (14.3%) y T_2 (0.0%). La comparación por método mostró diferencias ($P < 0.01$), el parpadeo natural fue mayor en cerdos aturdidos con el NM. La comparación por sexo no presentó diferencias ($P > 0.05$) para el mismo signo (Cuadro 2).

El parpadeo natural durante el aturdimiento es evidencia de una insensibilización incorrecta (Grandin 1994) y esta ausente en cerdos aturdidos correctamente (Grandin 2001, Holst 2001). La eficiencia de insensibilización es mayor para la PP por presentar menor parpadeo natural. Además, éste signo es fácil de evaluar y difícilmente es interpretado de forma incorrecta (Grandin 2001, Holst 2001).

6.1.2.3 Reflejo corneal

Los tratamientos T_3 y T_4 presentaron mayor ($P<0.01$) reflejo corneal (100.0% para ambos) con respecto a los tratamientos T_1 y T_2 (14.3 y 0.0%, respectivamente). La comparación por método mostró diferencias ($P<0.01$) favoreciendo a los cerdos aturdidos con la PP con relación a los cerdos aturdidos con el NM. La comparación por sexo no presentó diferencias ($P>0.05$) para el reflejo corneal (Cuadro 2).

En animales, la ausencia del reflejo corneal indica insensibilidad (Gregory & Grandin 1998), la presencia del reflejo corneal durante el aturdimiento indica incorrecta insensibilización del ganado (Grandin 1998). El reflejo corneal es el signo de sensibilidad de mayor presencia en los cerdos aturdidos con el NM, de esta manera el NM insensibiliza incorrectamente al animal durante este procedimiento. Ninguno de los cerdos que colapsaron al primer intento mediante el NM (T_3 ; 71.4% y T_4 ; 85.7%) fue insensibilizado correctamente debido a que todos presentaron reflejo corneal.

6.1.2.4 Intento de incorporarse

El intento de incorporarse no mostró diferencia ($P>0.05$) entre los tratamientos T_1 , T_2 , T_3 y T_4 con valores de 14.3, 0.0, 42.9 y 42.9%, respectivamente. El intento de incorporarse fue mayor ($P<0.05$) en los cerdos aturdidos con el NM con relación a los cerdos aturdidos con la PP. La comparación por sexo no presentó diferencias ($P>0.05$) para el intento de incorporarse (Cuadro 2).

El intento de incorporarse inmediatamente después de aplicado el método aturdimiento es evidencia de un proceso de insensibilización deficiente (Grandin 1998), por lo tanto, la eficiencia de insensibilización es mayor para la PP por presentar menor intento de incorporarse.

El intento de incorporarse es el signo de sensibilidad de menor presencia para los cerdos aturdidos con el NM, por lo que su interpretación debe apoyarse de otros, como el reflejo corneal. Lo anterior coincide con Grandin (1998), quién menciona que la evaluación de varios signos después del aturdimiento es elemental para determinar la eficiencia del método de insensibilización. Un signo de sensibilidad por sí solo no puede determinar la presencia ó ausencia de sensibilidad en animales (Blackmore & Denaly 1988).

6.1.2.5 Vocalización

La vocalización fue mayor ($P<0.01$) en los tratamientos T_3 (100.0%) y T_4 (57.1%) con respecto a los tratamientos T_1 (14.3%) y T_2 (0.0%). La comparación por método mostró diferencias ($P<0.01$), la vocalización fue mayor en los cerdos aturdidos con el NM con relación a los cerdos aturdidos con la PP. La comparación por sexo no presentó diferencias ($P>0.05$) de vocalización (Cuadro 2).

La vocalización durante el aturdimiento es indicador de insensibilización incorrecta (Grandin 1998). Para este autor, el método de insensibilización es excelente cuando el total de cerdos no emite vocalización durante el aturdimiento; aceptable no más de 1%; no aceptable de 2 a 5% y; problema grave más de 5%. La menor vocalización en la PP en relación al NM, hace del primero un método más eficiente en insensibilizar correctamente. Sin embargo, de acuerdo a lo descrito por Grandin (1998), el hecho de que más del 5 % de los animales vocalicen durante el aturdimiento representa un problema grave.

A pesar de la excelente eficiencia de noqueo para la PP, no logró insensibilizar correctamente el total de cerdos aturdidos, lo que se refleja en la presencia de signos de sensibilidad en los cerdos aturdidos mediante este método. Estos resultados se encuentran fuera del rango aceptable descrito por Grandin (1998), quién señala que la presencia de signos de sensibilidad después de aplicado el método de insensibilización

debe ser menor a 0.01%, lo que representa un problema que requiere de acciones inmediatas para mejorar este porcentaje.

La eficiencia del aturdimiento mediante el NM se encuentra muy distante de los valores aceptables y, es un procedimiento del que no se tienen referencias como método para aturdir cerdos en plantas de sacrificio, lo que concuerda con Grandin (2003) quién menciona que el correcto sacrificio de cerdos debe incluir métodos de insensibilización científicamente aceptados. Si bien la mayoría de los países posee algún reglamento para la insensibilización de animales de abasto, en pocos de ellos se verifica la aplicación del método de insensibilización apropiado para la especie en cuestión y que éste cumpla su objetivo (insensibilizar correctamente al animal), por lo que el uso de métodos de insensibilización no aceptados es común en muchos países en vías de desarrollo (Gallo 2007).

6.2 Características fisicoquímicas y tecnológicas de calidad de la carne de cerdo

6.2.1 pH₄₅

El pH₄₅ presentó una media de 6.05 ± 0.08 . No se observó diferencia ($P > 0.05$) de pH₄₅ entre los tratamientos T₁, T₂, T₃ y T₄ con valores de 6.23, 6.19, 5.85 y 5.92, respectivamente. La comparación por método mostró diferencias ($P < 0.05$), el pH₄₅ fue menor en los cerdos aturdidos con el NM (Cuadro 3).

Esta respuesta desfavorable de pH₄₅ para el NM puede ser ocasionada por el estrés que sufren los cerdos al ser aturdidos mediante éste método, condición que fue observada por la mayor presencia de signos de sensibilidad durante el aturdimiento como la respiración rítmica, parpadeo natural, reflejo corneal y vocalización.

La comparación por sexo no presentó diferencias ($P > 0.05$) para ésta variable (Cuadro 3). Estudios recientes sugieren que el efecto del sexo del animal sobre la calidad de la

carne es mínimo (Pommier *et al.* 1998, van der Wal *et al.* 1999). Sin embargo, Castrillón *et al.* (2007) en un estudio realizado en Colombia, reportaron asociación del sexo con el pH₄₅, siendo los machos los que tuvieron mayores valores de pH₄₅, posiblemente estos resultados difieran por factores como método de insensibilización y genética.

6.2.2 pH₂₄

El pH₂₄ presentó una media de 5.55 ± 0.05 y no mostró diferencias ($P > 0.05$) entre los tratamientos T₁ (5.61), T₂ (5.44), T₃ (5.58) y T₄ (5.60). La comparación por método y por sexo no presentaron diferencias ($P > 0.05$) para ésta variable (Cuadro 3). Carballo & López (1991) mencionan que el pH₂₄ se iguala aún cuando presentan diferencias de pH₄₅, motivo por el cuál la PP y el NM tuvieron valores similares de pH₂₄ aún después de presentar diferencia de pH₄₅. Castrillón *et al.* (2007) reportan que el sexo del animal no tiene efecto sobre el pH₂₄.

6.2.3 T₄₅

La T₄₅ presentó una media de 41.7 ± 0.9 °C, no se observó diferencia ($P > 0.05$) de T₄₅ entre los tratamientos T₁, T₂, T₃ y T₄ con valores de 41.7, 41.7, 41.8 y 41.5 °C, respectivamente. La comparación por método y por sexo no mostró diferencias ($P > 0.05$) de T₄₅ (Cuadro 3). Alarcón *et al.* (2006) y Mendoza (2000) reportan menor T₄₅ (35.5 y 36.7°C, respectivamente) a la obtenida en el presente trabajo, posiblemente ésta diferencia se debe al menor tiempo y temperatura del agua de escalde (62 °C por 5 a 7 min) que utilizaron durante el procedimiento.

Cuadro 3. Método de insensibilización y sexo sobre las características fisicoquímicas y tecnológicas de la carne de cerdo.

Método de insensibilización ¹	Sexo ²	Característica ³								
		Temperatura (°C)				L*	a*	b*	CRA, %	PG, %
		pH ₄₅	pH ₂₄ ⁴	T ₄₅	T ₂₄ ⁵					
PP	M	6.23	5.61	41.7	6.9	52.86	10.96 ^d	9.24	37.02 ^b	3.38
	H	6.19	5.44	41.7	6.0	53.27	11.64 ^{cd}	9.23	59.46 ^a	3.23
NM	M	5.85	5.58	41.8	6.6	53.88	13.16 ^c	11.10	59.29 ^a	3.76
	H	5.92	5.60	41.5	6.4	52.58	12.49 ^{cd}	10.29	60.35 ^a	3.31
Media		6.05	5.55	41.7	6.5	53.15	12.06	10.14	54.03	3.42
Error estándar		0.08	0.05	0.09	0.25	0.68	0.29	0.30	2.06	0.14
Coeficiente de variación		6.61	4.48	1.02	15.34	7.48	10.97	16.97	8.43	18.86
Coeficiente de determinación		0.52	0.49	0.60	0.69	0.33	0.58	0.37	0.90	0.55
Contrastes ortogonales										
Efecto del método		P<0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P<0.01	P>0.05	P<0.01	P>0.05
Efecto del sexo		P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P<0.01	P>0.05

¹PP= pistola de perno cautivo, NM= noqueo con mazo; ²M= macho, H= hembra; ³ pH₄₅= pH medido a los 45 min *post mortem*, pH₂₄ = pH medido a las 24 h *post mortem*, T₄₅= temperatura medida a los 45 min *post mortem*, T₂₄ = temperatura medida a las 24 h *post mortem*, L*= luminosidad, a*= intensidad del rojo, b*= intensidad del amarillo, CRA= capacidad de retención de agua, PG= pérdida de agua por goteo; ⁴pH₂₄ fue afectado (P<0.05) por la covariable reposo *ante mortem*; ⁵T₂₄ fue afectado (P<0.01) por las covariables reposo *ante mortem* y humedad ambiente; ^{a,b} Literales diferentes en la misma columna son diferentes (P<0.01); ^{c,d} Literales diferentes en la misma columna son diferentes (P<0.05).

6.2.4 T₂₄

No se observaron diferencias (P>0.05) de T₂₄ entre los tratamientos T₁, T₂, T₃ y T₄ con valores de 6.9, 6.0, 6.6 y 6.4 °C, respectivamente. La comparación por método y por sexo no mostró diferencias (P>0.05) para el valor de T₂₄ (Cuadro 3). La T₂₄ fue menor a la reportada por Mendoza (2000) y Alarcón *et al.* (2006) (11.3 y 9.2°C, respectivamente) probablemente por que realizaron la medición en el músculo *Semimembranosus* en la

canal dentro de la cámara de refrigeración, mientras que en el presente estudio la medición se realizó con muestras de aproximadamente 600 g del mismo músculo con las mismas características de refrigeración, condición que favoreció menor disminución de T_{24} en una muestra mayor con respecto a una muestra de menor tamaño.

6.2.5 Color (luminosidad, intensidad del rojo y del amarillo)

No se observó diferencia ($P>0.05$) de luminosidad entre los tratamientos T_1 , T_2 , T_3 y T_4 con valores de 52.86, 53.27, 53.88 y 52.58, respectivamente. La comparación por método y por sexo no mostró diferencias ($P>0.05$) para ésta variable (Cuadro 3). Se ha descrito que la luminosidad de la carne no se ve afectada por el sexo del animal (Ring & Kortmann 1989, Pommier *et al.* 1998).

Mendoza (2000) y Alarcón *et al.* (2006) reportan menor luminosidad, éste contraste puede deberse a diferencias en infraestructura de la planta de sacrificio, ya que estos autores utilizaron manga de conducción y cajón de contención durante el sacrificio de los animales de forma que los cerdos estuvieron sometidos a menos factores estresantes en el manejo *ante mortem*. El estrés acelera la caída del pH muscular después de la muerte, incrementando la desnaturalización de proteínas musculares (Fabregas *et al.* 2003), dando lugar a la presencia de mayor cantidad de agua libre en su superficie, reflejando mayor brillantez y dando valores altos de luminosidad (Alarcón *et al.* 2006), por lo que toda mejora que se realice tanto en equipo e instalaciones, repercute favorablemente en la calidad de la carne (Fabregas *et al.* 2003).

El valor de intensidad del rojo en el tratamiento T_1 (10.96) fue menor ($P<0.05$) con relación al tratamiento T_3 (13.16), es decir, los cerdos del tratamiento T_3 presentaron carne más oscura con relación a los cerdos del tratamiento T_1 . No se observó diferencia ($P>0.05$) de intensidad del rojo entre los tratamientos T_1 , T_2 y T_4 (10.96, 11.64 y 12.49,

respectivamente). La comparación por método mostró diferencias ($P < 0.01$), la intensidad del rojo fue menor en los cerdos aturdidos con la PP, es decir, los cerdos aturdidos con el NM presentaron carne más oscura. La comparación por sexo no presentó diferencias ($P > 0.05$) para esta variable (Cuadro 3).

Estos resultados pueden parecer contradictorios con relación a la eficiencia del método de aturdimiento, sin embargo, probablemente la musculatura del material de investigación ya se encontraba afectada por las condiciones de manejo *ante mortem* de la planta de sacrificio (prolongado reposo *ante mortem*, falta de manga para la conducción de los animales al lugar de sacrificio, técnica de contención de los cerdos con las extremidades posteriores amarradas), lo que provocó estrés crónico y consecuentemente, bajas reservas de glucógeno muscular al momento de sacrificio, razón por lo que no se produce disminución adecuada del pH muscular durante las 24 h *post mortem* (Fabregas *et al.* 2003), afectando la apariencia final de la carne y predisponiendo a valores altos de intensidad del rojo. De esta manera, una correcta insensibilización no pudo influir positivamente sobre el color de la carne. Además, los valores de luminosidad e intensidad del rojo no son los indicadores únicos de la calidad final de la carne (Alarcón *et al.* 2005) y deben ser respaldados por el valor de pH₄₅ (Castrillón *et al.* 2007).

No se observó diferencia ($P > 0.05$) de intensidad del amarillo entre los tratamientos T₁, T₂, T₃ y T₄ con valores de 9.24, 9.23, 11.10 y 10.29, respectivamente. La comparación por método y por sexo no presentó diferencias ($P < 0.05$) para ésta variable (Cuadro 3).

6.2.6 Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua fue menor ($P < 0.01$) en el tratamiento T₁ (37.02%) con relación a los tratamientos T₂, T₃ y T₄ (59.46, 59.29 y 60.35%, respectivamente) (Cuadro 3). La PP logró el colapso del total de machos al primer intento, sin embargo, el

14.3% mostró signos de sensibilidad (respiración rítmica, parpadeo natural, reflejo corneal, intento de incorporarse y vocalización), motivo por el cuál pudo haber sido anulado la ventaja de mayor eficiencia de noqueo de la PP sobre la capacidad de retención de agua en machos debido a la presencia de sensibilidad durante el aturdimiento y, por consecuencia de estrés, factor que origina deficiencias de calidad en la carne de cerdo (Troeger & Woltersdorf 1989).

La comparación por método mostró diferencias ($P < 0.01$), la capacidad de retención de agua fue mayor en los cerdos aturdidos con el NM. Esta aparente contradicción se puede deber a la presencia de signos de sensibilidad (respiración rítmica, parpadeo natural, reflejo corneal, intento de incorporarse y vocalización) en cerdos aturdidos con la PP, motivo por el cuál pudo haber sido anulada la ventaja de la mayor eficiencia de insensibilización con la PP sobre la capacidad de retención de agua debido a la presencia de sensibilidad durante el aturdimiento y consecuentemente de estrés, factor que origina deficiencias de calidad en la carne de cerdo (Troeger & Woltersdorf 1989). Además, probablemente la musculatura del material de investigación ya se encontraba afectada por las condiciones de manejo *ante mortem* de la planta de sacrificio, lo que provocó estrés crónico y bajas reservas de glucógeno muscular al momento de sacrificio (Fabregas *et al.* 2003), predisponiendo valores altos de capacidad de retención de agua.

La comparación por sexo presentó diferencias ($P < 0.01$), la capacidad de retención de agua fue mayor en hembras (Cuadro 3). Este comportamiento puede ser atribuido al mayor porcentaje de animales que colapsaron al primer intento de insensibilización y a la menor presencia de signos de sensibilidad (respiración rítmica, parpadeo natural, reflejo corneal, intento de incorporarse y vocalización) que se observó en hembras (92.9, 28.6, 42.9, 50.0, 21.4 y 28.6%, respectivamente) respecto a los machos (85.7, 57.1, 50.0, 57.1, 28.6 y 57.1%, respectivamente).

6.2.7 Pérdida de agua por goteo

No se observó diferencia ($P>0.05$) de pérdida de agua por goteo entre los tratamientos T_1 , T_2 , T_3 y T_4 con valores de 3.38, 3.23, 3.76 y 3.31%, respectivamente. La comparación por método y por sexo no provocó diferencias ($P>0.05$) en la pérdida de agua por goteo (Cuadro 3).

La similar pérdida de agua por goteo para la PP y el NM se relaciona con el nulo efecto del método de insensibilización sobre el número de intentos necesarios para lograr el colapso del animal, de esta manera, la igualdad en eficiencia de noqueo para ambos métodos se relaciona con igualdad de pérdida de agua por goteo.

6.3 Efecto del reposo *ante mortem*, humedad y temperatura ambiente

El valor de pH_{45} no fue afectado ($P>0.05$) por las covariables reposo *ante mortem*, humedad y temperatura ambiente (Cuadro 3). Estos resultados coinciden con lo reportado por Silva *et al.* (2005), quienes señalan que diferencias en el reposo *ante mortem* (0, 2, 4 y 6 h) no provocan diferencias ($P>0.05$) de pH_{45} . Sackmam *et al.* (1989) reportan en un estudio realizado con 1230 cerdos, que el valor de pH_{45} en el músculo *Semimembranosus* no es afectado por diferencias en el reposo *ante mortem* (<30, 31 a 60, 61 a 120, 121 a 240, 241 a 600 y >900 min), no obstante, Castrillón *et al.* (2007) reportaron asociación del reposo *ante mortem* y pH_{45} , ésta diferencia puede deberse al tiempo de ayuno prolongado (24, 30 y 36 h) que proporcionaron. Este mismo autor, encontró que la humedad y temperatura ambiente no se relacionan con el pH_{45} .

El valor de pH_{24} fue afectado ($P<0.05$) por la covariable reposo *ante mortem* (Cuadro 3). El aumento del reposo *ante mortem* provocó disminución de pH_{24} (Gráfica 1), éste comportamiento es similar al reportado por Silva *et al.* (2005) quién encontró que el pH_{24}

disminuye (6.47, 6.43 y 6.21) al incrementar el reposo *ante mortem* (2, 4 y 6 h, respectivamente).

El análisis de regresión con modelo multiplicativo describe ($P < 0.05$) el comportamiento de pH_{24} a partir del reposo *ante mortem*. Los valores de pH_{24} y reposo *ante mortem* se aprecian en la Grafica 1. La ecuación de regresión es la siguiente:

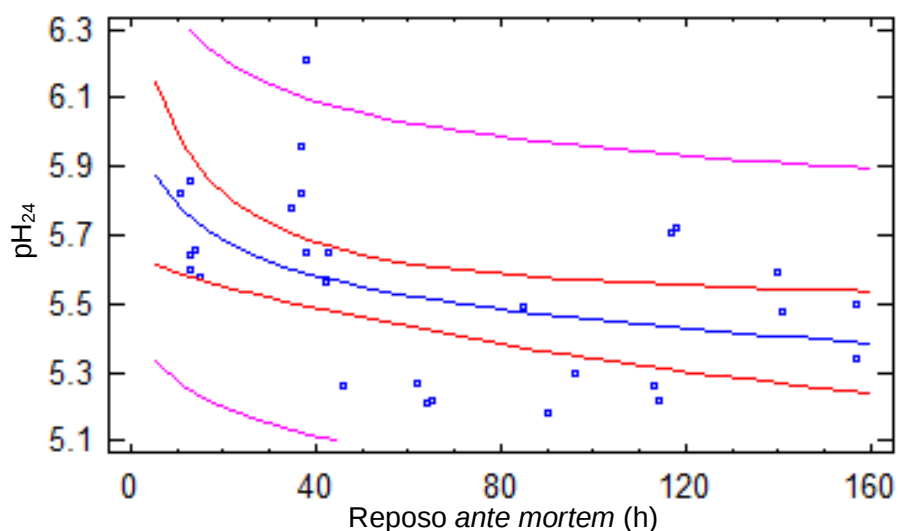
$$Y = 6.13952 * X^{\wedge} - 0.0257848; R^2 = 0.23$$

Donde;

Y= pH medido a las 24 h *post mortem* (pH_{24})

X= reposo *ante mortem*

Castrillón *et al.* (2007) considera que un pH_{24} menor a 5.6 se asocia a defectos de calidad de la carne (alta luminosidad y baja capacidad de retención de agua). Considerando los valores predichos de pH_{24} en la ecuación anterior, cuando el reposo *ante mortem* es superior a 43 h, los valores de pH_{24} son menores a 5.6. A pesar de la diferencia de reposo *ante mortem* en este estudio y otras investigaciones (Silva *et al.* 2005, Castrillón *et al.* 2007), se observó concordancia respecto a la disminución de pH_{24} al aumentar el reposo *ante mortem*, razón por la cuál puede justificarse que el reposo *ante mortem* no debe ser mayor de 43 h para tratar de disminuir defectos de calidad en la carne.



Gráfica 1. Diagrama de dispersión y línea ajustada para pH medido a las 24 h *post mortem* (pH_{24}) y reposo *ante mortem*.

La T_{45} no fue afectada ($P>0.05$) por las covariables reposo *ante mortem*, humedad y temperatura ambiente. La T_{24} fue afectada ($P<0.01$) por las covariables reposo *ante mortem* y humedad ambiente (Cuadro 3). El aumento del reposo *ante mortem* provocó incremento de T_{24} (Gráfica 2), motivo por el cuál el enfriamiento de la canal requiere de atención para disminuir el efecto negativo de la temperatura alta de la musculatura sobre la calidad de la carne (Woltersdorf & Troeger 1990), debido a que la disminución del pH combinado con alta temperatura muscular causa aumento de la desnaturalización de la proteína muscular, conduciendo al desarrollo de carne con característica PSE (Schilling *et al.* 2004). Además, el incremento de T_{24} provocado por el reposo *ante mortem* puede estar asociado al deterioro de calidad de la carne, lo que coincide con Sackmam *et al.* (1989), quienes mencionan que la prolongación del reposo *ante mortem* por más de 4 h no mejora la calidad de la carne, posiblemente la deteriora.

El análisis de regresión con modelo doble inverso describe ($P < 0.01$) el comportamiento de T_{24} a partir del reposo *ante mortem*. Los valores de T_{24} y reposo *ante mortem* se aprecian en la Gráfica 2. La ecuación de regresión es la siguiente:

$$Y = 1 / (0.134894 + 0.891618 / X); R^2 = 0.53$$

Donde;

Y= temperatura medida a las 24 h *post mortem* (T_{24})

X= reposo *ante mortem*

El aumento de la humedad ambiente provocó ($P < 0.01$) incremento de T_{24} (Gráfica 3), motivo por el cuál el enfriamiento de la canal requiere de atención específica para disminuir el efecto negativo de la temperatura alta de la musculatura sobre la calidad de la carne (Woltersdorf & Troeger 1990).

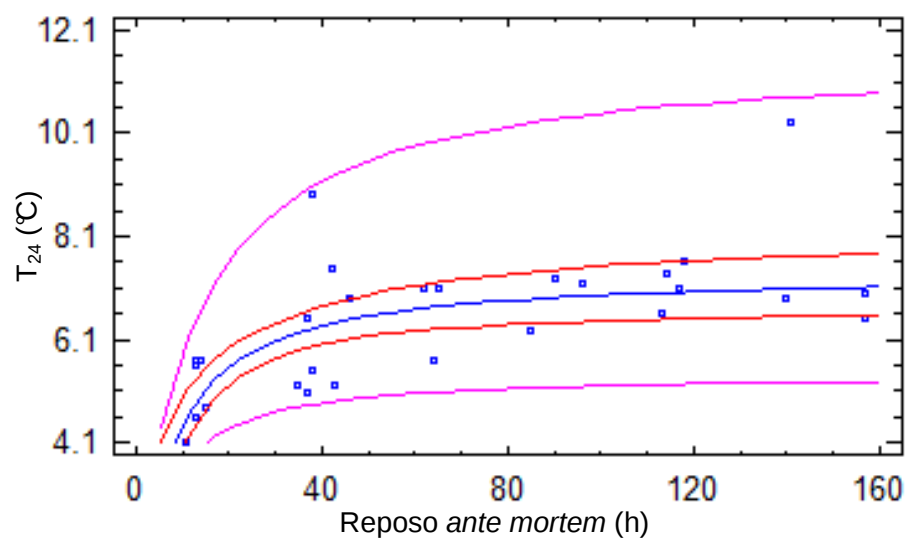
El análisis de regresión con modelo inverso de Y describe ($P < 0.01$) el comportamiento de T_{24} a partir de la humedad ambiente. La ecuación de regresión se muestra a continuación:

$$Y = 1 / (0.334547 - 0.00214993 * X); R^2 = 0.34$$

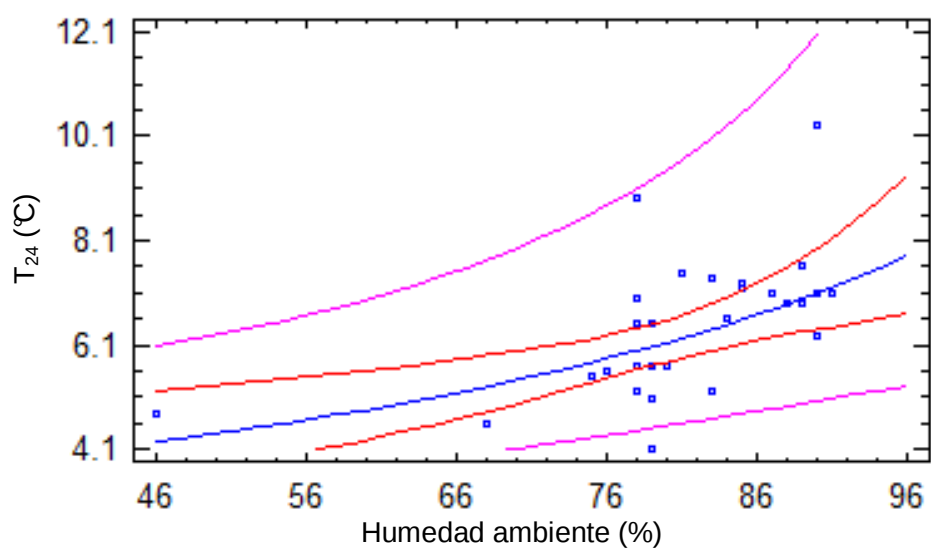
Donde;

Y= temperatura medida a las 24 h *post mortem* (T_{24})

X= humedad ambiente al momento del sacrificio



Gráfica 2. Diagrama de dispersión y línea ajustada para temperatura medida a las 24 h post mortem (T_{24}) y reposo ante mortem.



Gráfica 3. Diagrama de dispersión y línea ajustada para temperatura medida a las 24 h post mortem (T_{24}) y humedad ambiente al momento del sacrificio.

La luminosidad, intensidad del rojo y amarillo no fueron afectados ($P>0.05$) por las covariables reposo *ante mortem*, humedad y temperatura ambiente (Cuadro 3). Resultados semejantes fueron reportados por Silva *et al.* (2005), quienes mencionan que el reposo *ante mortem* no tiene efecto sobre la luminosidad, intensidad del rojo y del amarillo.

La capacidad de retención de agua y la pérdida de agua por goteo no fueron afectadas ($P>0.05$) por las covariables reposo *ante mortem*, humedad y temperatura ambiente (Cuadro 3). Este resultado coincide al reportado por Duarte (1998), quién no encontró diferencia en la pérdida de agua por goteo al incrementar el reposo *ante mortem* de 8 a 24 h.

6.4 Canales con características PSE, NOR y DFD

La característica PSE fue menor ($P<0.05$) en los tratamientos T_1 y T_2 (0.0 y 14.3%, respectivamente) con relación a los tratamientos T_3 y T_4 (57.1 y 42.9%, respectivamente). La comparación por método mostró diferencias ($P<0.05$), la característica PSE fue mayor en los cerdos aturridos con el NM (Cuadro 4). La carne de los cerdos aturridos con la PP presentó valores adecuados de pH_{45} para canales NOR (> 5.9 y < 6.4), mientras que el NM provocó valores de pH_{45} de canales consideradas PSE (≤ 5.9) (Stecchini *et al.* 1990, Kauffman 1991, van Laack *et al.* 1994).

Éste resultado puede ser atribuido a la respuesta desfavorable de pH_{45} para el NM, comportamiento que es ocasionado por el estrés que sufren los cerdos al ser aturridos mediante éste método, condición que es explicada por la baja eficiencia de noqueo del NM y mayor presencia ($P<0.01$) de signos de sensibilidad durante el aturdimiento (respiración rítmica, parpadeo natural, reflejo corneal y vocalización) en cerdos aturridos mediante el NM, lo que se traduce en incorrecto aturdimiento y mayor sensibilidad y, por

lo tanto, de estrés durante el aturdimiento, el cuál es considerado como uno de los factores que origina deficiencias de calidad en la carne de cerdo (Troeger & Woltersdorf 1989).

La característica PSE para los cerdos aturridos con el NM se encuentra por encima del rango reportado por Owen *et al.* (2000), quienes informaron fluctuación de 6 a 33%, dependiendo de las condiciones de la planta de sacrificio.

La comparación por sexo no provocó diferencias ($P>0.05$) para la característica PSE (Cuadro 4). Éste resultado coincide con Ring & Kortmann (1989), quienes reportan que la calidad de la carne no es afectada por el sexo del animal. Información semejante es reportada por Pommier *et al.* (1998) y van der Wal *et al.* (1999), quienes señalan que el efecto del sexo sobre la calidad de la carne es mínimo.

Cuadro 4. Clasificación de canales de cerdo por método de insensibilización y sexo, tomando el valor de pH₄₅ y luminosidad como indicadores¹.

Método de insensibilización ²	Sexo ³	Clasificación ⁴		
		PSE	NOR	DFD
PP	M	0.0 ^b	85.7 ^a	14.3
	H	14.3 ^b	85.7 ^a	0.0
NM	M	57.1 ^a	28.6 ^b	14.3
	H	42.9 ^a	57.1 ^b	0.0
Chi-cuadrado			9.44	
Grados de libertad del error			6	
Contrastes ortogonales				
Efecto del método			P<0.05	
Efecto del sexo			P>0.05	

¹pH₄₅= pH medido a los 45 min *post mortem*, L*= luminosidad; ²PP= pistola de perno cautivo, NM= noqueo con mazo;

³M= macho, H= hembra; ⁴PSE= carne pálida, suave y exudativa. NOR= carne normal. DFD= carne oscura, firme y seca;

^{a,b}Literales diferentes en la misma columna son diferentes ($P<0.05$).

La característica NOR fue mayor ($P < 0.05$) en los tratamientos T_1 (85.7%) y T_2 (85.7%) con relación a los tratamientos T_3 (28.6%) y T_4 (57.1%). La comparación por método provocó diferencias ($P < 0.05$), la característica NOR fue mayor en los cerdos aturridos con la PP (Cuadro 4). Éste resultado puede ser atribuido a la excelente eficiencia de noqueo de la PP y menor presencia ($P < 0.01$) de signos de sensibilidad (respiración rítmica, parpadeo natural, reflejo corneal y vocalización) en los cerdos aturridos con la PP, lo que se traduce en correcto aturdimiento y menor sensibilidad y, por lo tanto, de estrés durante el aturdimiento, el cuál es considerado como uno de los factores que origina deficiencias de calidad en la carne de cerdo (Troeger & Woltersdorf 1989).

La comparación por sexo no mostró diferencias ($P > 0.05$) para la característica NOR (Cuadro 4) debido a que la calidad de la carne no es afectada por el sexo del animal (Ring & Kortmann 1989).

La característica DFD no presentó diferencia ($P > 0.05$) entre los tratamientos T_1 , T_2 , T_3 y T_4 con valores de 14.3, 0.0, 14.3 y 0.0%, respectivamente. La comparación por método y por sexo no mostró diferencias ($P > 0.05$) para esta característica.

6.5 Correlación entre variables

En el Cuadro 5 se presentan los coeficientes de correlación (r) entre las variables evaluadas. La variable pH_{24} posee asociación negativa ($P < 0.05$) con la luminosidad ($r = -0.39$) e intensidad del amarillo ($r = -0.46$) menor a la reportada por Alarcón *et al.* (2005) ($r = -0.57$ y $r = -0.59$, respectivamente). Además, no son lo suficientemente contundentes para usarlas como indicadores únicos de calidad final de la carne (Alarcón *et al.* 2005) debido a que la asociación no es marcada. Aunado a lo anterior, se debe de tener en cuenta que, tal como lo reporta Castrillón *et al.* (2005), 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 carne PSE es la velocidad de descenso del pH.

La intensidad del amarillo posee asociación positiva ($P < 0.001$) con la luminosidad ($r = 0.70$) e intensidad del rojo ($r = 0.75$). El grado de asociación de intensidad del amarillo y luminosidad fue similar al observado por Alarcón *et al.* (2005) ($r = 0.78$), mientras que para intensidad del amarillo y del rojo, fue mayor al reportado por este mismo autor ($r = 0.57$). Sin embargo, el reconocimiento de carne PSE en la primera hora, sólo en base a la medición del color no tendría mucho éxito; la medición del color en todo caso puede servir como respaldo para el diagnóstico de carne PSE (Woltersdorf & Troeger 1988). Finalmente, PG presentó un importante grado de asociación positiva ($P < 0.01$) con la intensidad del rojo ($r = 0.52$) y del amarillo ($r = 0.50$).

Cuadro 5. Coeficientes de correlación entre las características de calidad de la carne en cerdos de diferente sexo aturdidos con dos métodos de insensibilización durante el sacrificio.

Característica ¹	pH ₂₄	T ₄₅	T ₂₄	L*	a*	b*	CRA	PG
pH ₄₅	-0.08	0.10	0.05	-0.07	0.03	-0.04	-0.19	0.13
	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05
pH ₂₄		0.27	-0.37	-0.39	-0.02	-0.46	-0.03	-0.14
		P>0.05	P>0.05	P<0.05	P>0.05	P<0.05	P>0.05	P>0.05
T ₄₅			-0.27	-0.20	0.20	0.05	-0.02	0.14
			P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05
T ₂₄				0.22	-0.23	-0.04	-0.22	-0.29
				P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05	P>0.05
L*					0.24	0.70	-0.11	0.25
					P>0.05	P<0.001	P>0.05	P>0.05
a*						0.75	0.31	0.52
						P<0.001	P>0.05	P<0.01
b*							0.19	0.50
							P>0.05	P<0.01
CRA								-0.18
								P>0.05

¹pH₄₅= pH a los 45 min *post mortem*, pH₂₄ = pH a las 24 h *post mortem*, T₄₅= temperatura a los 45 min *post mortem*, T₂₄ = temperatura a las 24 h *post mortem*, L*= luminosidad, a*= intensidad del rojo, b*= intensidad del amarillo, CRA= capacidad de retención de agua, PG= pérdida de agua por goteo.

VII. CONCLUSIONES

La eficiencia de noqueo de la PP es excelente por lograr el colapso del total de cerdos aturdidos, sin embargo presenta de signos de sensibilidad en un bajo porcentaje.

El NM debe ser considerado como un método de insensibilización inadecuado para cerdos, debido a la presencia de signos de sensibilidad en alto porcentaje.

El método de insensibilización y sexo del cerdo no provocaron diferencia de pH_{24} , T_{45} , T_{24} , luminosidad, intensidad del amarillo y pérdida de agua por goteo.

El NM provocó menor pH_{45} , predisponiendo a valores bajos de esta variable, característicos de carne PSE.

El NM provocó mayor intensidad del rojo y capacidad de retención de agua, predisponiendo a valores altos de estas variables, característicos de carne DFD.

La PP produce menos canales con defectos de calidad.

Existe asociación negativa entre el reposo *ante mortem* y pH_{24} sobre la característica PSE. El reposo *ante mortem* no debe ser mayor de 43 h para disminuir la presencia de ésta condición.

El incremento del reposo *ante mortem* y de la humedad ambiente provocaron retraso en la disminución de T_{24} , éste comportamiento puede estar asociado con la rápida disminución de pH_{24} , motivo por el cuál el enfriamiento de la canal requiere de atención especial.

VIII. RECOMENDACIONES

Sustituir el uso del NM por la PP como método de insensibilización, ya que está aprobado por la normativa correspondiente, insensibiliza correctamente casi al total de cerdos aturdidos y produce menos características indeseables en la carne.

Reducir el reposo *ante mortem* de los cerdos en los corrales de espera, por que su prolongación posiblemente deteriora la calidad de la carne.

Instalar una manga de conducción de los corrales de espera al lugar de sacrificio y un cajón de noqueo, para facilitar el arreo de los cerdos e inmovilizar correctamente al animal, con la finalidad de disminuir el estrés durante éstas etapas y la probabilidad de error en la aplicación del método de aturdimiento.

IX. LITERATURA CITADA

- Adeola, A. & R.O. Ball. 1992. Hypothalamic neurotransmitter concentrations and meat quality in stressed pigs offered excess dietary tryptophan and tyrosine. *J. Anim. Sci.* 70(6):1888-1894.
- Alarcón, R.A.D., J.O. Duarte, F.A. Rodríguez & V.H. Janacua. 2005. Incidencia de carne pálida-suave-exudativa (PSE) y oscura-firma-seca (DFD) en cerdos sacrificados en la región del Bajío en México. *Tec. Pec. Méx.* 43(3):335-346.
- Alarcón, R.A.D., J.G. Gamboa & V.H. Janacua. 2008. Factores que afectan la calidad de la carne de cerdo. *Nacameh* 2(1):63-77.
- Alarcón, R.A.D., J.G. Gamboa, F.A. Rodríguez, J.A. Urado & V.H. Janacua. 2006. Efecto de variables críticas del sacrificio sobre las propiedades fisicoquímicas de la carne de cerdo. *Tec. Pec. Méx.* 44(1):53-66.
- Alarcón, R.A.D, C. Pérez, J.A. García & V.H. Janacua. 2007. Propiedades físico-químicas de jamones elaborados con carne pálida, suave y exudativa de cerdo. *Tecnociencia Chihuahua* 1(1):17-25.
- Allen, E., J.C. Forrest, A.B. Chapman, N. First, R.W. Bray & E.J. Briskey. 1966. Phenotypic and genetic associations between porcine muscle properties. *J. Anim. Sci.* 25(4):962-966.
- Álvarez, D., M.D. Garrido, S. Bañón & J. Laencina. 2005. Bienestar animal y calidad de la canal porcina según el sistema de aturdimiento. *Anales de Veterinaria* 21:77-85.
- Álvaro, R.G., V.G. Pérez, U.A. Bayardo, H.J. Correa & J.A. Cuarón. 2001. Pasta de canola como suplemento proteico en dietas para la finalización de cerdos. *Tec. Pec. Méx.* 39(3):79-192.

- Anónimo. 2005. Eutanasia en la granja: opciones para el productor. American Association of Swine Veterinarians. Consultado el 5 de mayo de 2008: www.aasv.org/aasv/euthanasiaSpanish.pdf
- Anónimo. 2011. Aturdimiento de cerdos con CO₂. Praxair España S.L. Consultado el 18 de mayo de 2011: [www.praxair.es/eu/es/esp.nsf/0/C7C615B112D38C0085256F8C0042B446/\\$file](http://www.praxair.es/eu/es/esp.nsf/0/C7C615B112D38C0085256F8C0042B446/$file)
- Becerril, H.M., R.D. Mota & L.I. Guerrero. 2009. Aspectos relevantes del bienestar del cerdo en tránsito. Vet. Méx. 40(3):315-329.
- Bendall, J. R. 1951. The shortening of rabbit muscle during rigor mortis: Relation to the breakdown of adenosine triphosphate and creatine phosphate and to muscular contraction. J. Physiol. 114(1-2):71-88.
- Bereskin, B., D.K. Rough & R.J. Davey. 1978. Some factors affecting the evaluation of pork quality. J. Anim. Sci. 47(2):389-397.
- Berg, E.P. 1998. Critical points affecting fresh pork quality within the packing plant. National Pork Producers Council, Iowa, EU, 7 pp.
- Boakye, J.R. & G.S. Mittal. 1993. Changes in pH and water holding properties of *Longissimus dorsi* during beef ageing. Meat Sci. 34(3):335-349.
- Blackmore, D.K. & M.W. Delany. 1988. Slaughter of stock, a practical review and guide. Massey University, New Zealand.
- Calkins, C. R. & S. C. Seideman. 1988. Relationships among calcium-dependent protease, cathepsins B and H, meat tenderness and the response of muscle to aging. J. Anim. Sci. 66(5):1186-1193.
- Cáraves M. & C. Gallo. 2007. Caracterización y evaluación de la eficacia de los sistemas de insensibilización utilizados en equinos en Chile. Arch. Med. Vet. 39(2):105-113.

- Carballo, G.B. & D.G. López. 1991. Manual de bioquímica y tecnología de la carne. A. Madrid Vicente, España, 171 pp.
- Cartes, S.M. 2000. Evaluación de la eficiencia en el uso de la pistola de proyectil retenido para insensibilizar ganado bovino en tres plantas faenadoras de carne de la Décima Región. Tesis de Licenciatura, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Castrillón W.E., J.A. Fernández & L.F. Restrepo. 2007. Variables asociadas con la presentación de la carne PSE (Pálida, Suave, Exudativa) en canales de cerdo. Rev. Col. Cienc. Pec. 20(3):327-338.
- Cavitt, L.C., B.M. Hargis & C.M. Owens. 2004. The Use of Halothane and succinylcholine to identify broilers prone to developing pale, soft, exudative meat. Poult. Sci. 83(8):1440–1444.
- Charpentier, J. 1969. Effect of temperature and pH on physicochemical properties of sarcoplasmic proteins of pork muscle: practical consequences. Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys 9:101-110.
- Chaves, J. 1999. Guía técnica para productores de cerdos: Manejo del cerdo post sacrificio. Fittacori. Consultado el 8 de mayo de 2008: www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_animal
- Chorné, R. & C. Chávez. 1996. La estructura de la cadena porcícola y la calidad de sus productos. Midia Relaciones, México, DF, 75 pp.
- Davis, C.E., W.E. Townsend & A.J. Mercuri. 1975. Effect of Polyphosphates on Low Quality (PSE) Hams during Processing. J. Anim. Sci. 41(6):1632-1637.
- Diario Oficial de la Federación. 1997. NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres.
- Duarte, A.J.O. 1998. Incidencia de carne PSE y DFD y efecto del tiempo de reposo *ante mortem* sobre la calidad fisicoquímica y tecnológica de la carne de cerdos sacrificados

- en la región del Bajío en México. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chih., México.
- D'Souza, D.N., R.D. Warner, B.J. Leury & F.R. Dunshea. 1998. The effect of dietary magnesium aspartate supplementation on pork quality. *J. Anim. Sci.* 76(1):104-109.
- Eusse, G.J.S. 2009. Calidad de la carne de cerdo. Sitio Argentino de Producción Animal. Consultado el 5 de mayo de 2010: www.produccion-animal.com.ar
- Fabregas, E., A. Velarde, & A. Diestre, 2003. El bienestar animal durante el transporte y sacrificio como criterio de calidad. Sitio Argentino de Producción Animal. Consultado el 1 de mayo de 2008: www.produccionbovina.com/etologia_y_bienestar/bienestar_en_general
- Finnie, J. 1993. Brain damage caused by a captive bolt pistol. *J. Comp. Path.* 109(3): 253-258.
- Flores, R.C., R.M. Leal, G.A. Rodas, M.J. Arnguren, B.R. Román & R.J. Ruiz. 2009. Efecto de la condición sexual y pesos al sacrificio sobre las características de la canal y la calidad de la carne de cerdo. *Rev. Cient.* 19(2):165-172.
- Gallo, C. 2007. Animal Welfare in the Americas. Pp: 151-166, *In*: 18th Conference of the OIE Regional Commission for the Americas, Florianopolis, Brasil.
- García, M.E. 1989. Apuntes de climatología. Capítulo V. 6^a ed. Offset Larios. Pp. 103-114.
- García, M.J.A., C.I. Ruíz, J.A. Ortega & F.A. Núñez. 2000. Efecto de la materia prima y de las características del proceso en la calidad del jamón cocido. *Prod. Sanid. Anim.* 15(1): 69-80.
- Garrido, M.D., S. Bañón, J. Pedauyé & J. Laencina. 1994. Objective meat quality measurements of ham: a practical classification method on the slaughter line. *Meat Science* 37(1):421-428.

- Goldspink, G. & J.V. McLoughlin. 1964. The effect of temperature on the solubility of the sarcoplasmic proteins in relation to color changes in post-rigor muscle. *J. Agric. Res.* 3(1):9-16.
- Gondret, F., L. Lefaucheur, H. Juin, I. Louveau & B. Lebreton. 2006. Low birth weight is associated with enlarged muscle fiber area and impaired meat tenderness of the longissimus muscle in pigs. *J. Anim. Sci.* 84(1):93-103.
- Goutefongea, R. 1971. Influence of pH and temperature on solubility of muscle protein in pigs. *Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys* 11:233-244.
- Grandin, T. 1991. Recomendaciones para el manejo de animales en las plantas de faena. Sitio Argentino de Producción Animal. Consultado el 11 de mayo de 2008: www.produccionbovina.com.ar
- Grandin T. 1994. Guías recomendadas para el manejo de animales para empacadoras de carne. American Meat Institute, 22 pp.
- Grandin, T. 1997. Assessment of stress during handling and transport. *J. Anim. Sci.* 75(1):249-257.
- Grandin, T. 1998. Buenas prácticas de trabajo para el manejo e insensibilización de animales. Sitio Argentino de Producción Animal. Consultado el 22 de julio de 2010: www.produccion-animal.com.ar
- Grandin, T. 2000. Manejo y bienestar del ganado en los rastros (frigoríficos). Sitio Argentino de Producción Animal. Consultado el 30 de junio de 2008: www.produccion-animal.com.ar.
- Grandin, T. 2001. Perspectives on transportation issues: The importance of having physically fit cattle and pigs. *J. Anim. Sci.* 79(E. Suppl.):E201-E207.

- Grandin, T. 2002. Return-to-sensibility problems after penetrating captive bolt stunning of cattle in commercial beef slaughter plants. J. Amer. Vet. Med. Assoc. 221(9):1258-1261.
- Grandin, T. 2003. El bienestar de los cerdos durante su transporte y faena. Sitio Argentino de Producción Animal. Consultado el 31 de julio de 2010: www.produccion-animal.com.ar
- Grau, R. & R. Hamm. 1953. Eine einfache methode zur bestimmung der wasserbindung im mukul. Naturwissenschaften 40(1):29-31.
- Gregory, N.G. & T. Grandin. 1998. Animal welfare and meat science. CABI Publishing, Wallingford, EU, 304 pp.
- Hambrecht, E., J.J. Eissen, D.J. Newman, C.H.M. Smits, L.A. den Hartog & M.W.A. Verstegen. 2005. Negative effects of stress immediately before slaughter on pork quality are aggravated by suboptimal transport and lairage conditions. J. Anim. Sci. 83(2):440-448.
- Hasty, J.L., E. van Heugten, M.T. See & D.K. Larick. 2002. Effect of vitamin E on improving fresh pork quality in Berkshire- and Hampshire-sired pigs. J. Anim. Sci. 80(12):3230-3237.
- Hicks, T.A., J.J. McGlone, C.S. Whisnant, H.G. Kattesh & R.L. Norman. 1998. Behavioral, endocrine, immune, and performance measures for pigs exposed to acute stress. J. Anim. Sci. 76(2):474-483.
- Honikel, K.O. & C.J. Kim. 1986. Causes of the development of PSE pork. Fleischwirtsch 66:349-351.

- Holst, S. 2001. CO² stunning of pigs for slaughter, practical guidelines for good animal welfare. Pp: 32-40, *In*: 47th International Congress of Meat Science and Technology, Krakow, Poland.
- Jaud, D., K. Weibe, K. Huelen & A. Fischer. 1993. pH y conductividad. *Fleishwirtsch.* (Español) 2:13-16.
- Karlsson, A., A.C. Enfalt, B. Essen-Gustavsson, K. Lundstrom, L. Rydhmer & S. Stern. 1993. Muscle histochemical and biochemical properties in relation to meat quality during selection for increased lean tissue growth rate in pigs. *J. Anim. Sci.* 71(4):930-938.
- Kauffman, R.G. 1991. Electronic evaluation of meat quality. Pp. 99, *In*: Symposium Electronic Evaluation of Meat in Support of Value-based Marketing, Purdue University West Lafayette, Indiana, EU.
- Kauffman, R.G., D. Wachholz, D. Henderson & J.V. Lochner. 1978. Shrinkage of PSE, normal and DFD hams during transit and processing. *J. Anim. Sci.* 46(5):1236-1240.
- Klont, R.E., E. Lambooy & J. G. van Logtestijn. 1993. Effect of preslaughter anesthesia on muscle metabolism and meat quality of pigs of different halothane genotypes. *J. Anim. Sci.* 71(6):1477-1485.
- Leheska, J.M., D.M. Wulf & R.J. Maddock. 2002. Effects of fasting and transportation on pork quality development and extent of postmortem metabolism. *J. Anim. Sci.* 80(12):3194-3202.
- Lonergan, S.M., K.J. Stalder, E. Huff-Lonergan, T.J. Knight, R.N. Goodwin, K.J. Prusa & D.C. Beitz. 2007. Influence of lipid content on pork sensory quality within pH classification. *J. Anim. Sci.* 85(4):1074-1079.

- Mallia, J.G., S. Barbut, J.P. Vaillancourt, S.W. Martin & S.A. McEwen. 2000. A Dark, Firm Dry-Like Condition in Turkeys Condemned for Cyanosis. *Poult. Sci.* 79(2):281–285.
- Martínez, Q.J.A., A.D. Alarcón, J.A. Ortega & H. Janacua. 2006. Incidencia de los genes halotano y rendimiento napole y su efecto en la calidad de la carne. *Univ. Cienc.* 22 (2):131-139.
- Mendoza, M.S.R. 2000. Efecto de la adición de electrólitos en el agua de bebida y temperatura de refrigeración sobre la calidad tecnológica, fisicoquímica y microbiológica de la carne de cerdo. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chih., México.
- Milligan, S. D., B. Ramsey, M.F. Miller, C.S. Kaster & L.D. Thompson. 1998. Resting of pigs and hot-fat trimming and accelerated chilling of carcasses to improve pork quality. *J. Anim. Sci.* 76(1):74-86.
- Mirallas, M.A. 2007. La carga de los cerdos con destino al matadero 3ª Parte: Influencia del bienestar animal en la calidad de la carne. *Rev. Téc. Agri. Gan. Alim.* 164:61-64.
- Moreira, R., P. Gecele, G. Leyton & V. Zúñiga. 2009. Uso de distintas combinaciones de tiempo y concentración de CO₂ en el aturdimiento de cerdos. *Bol. Vet. Ofic.* 10(2):1-17.
- Newcom, D.W., K.J. Stalder, T.J. Baas, R.N. Goodwin, F.C. Parrish & B.R. Wiegand. 2004. Breed differences and genetic parameters of myoglobin concentration in porcine longissimus muscle. *J. Anim. Sci.* 82(8):2264-2268.
- Offer, G. 1991. Modeling of the formation of pale, soft, and exudative meat: effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis. *Meat Science.* 30(2):157-184.
- OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal). 2010. Código Sanitario para los Animales Terrestres. Consultado el 12 de junio de 2010: web.oie.int/esp/normes/mcode/e_index.htm

- Owen B.L., J.L. Montgomery, C.B. Ramsey & M.F. Miller. 2000. Preslaughter resting and hot-fat trimming effects on the incidence of pale, soft and exudative (PSE) pork and ham processing characteristics. *Meat Science*. 54(3):221-229.
- Pommier S.A., C. Pomar & D. Godbout. 1998. Effect of the halothane genotype and stress on animal performance, carcass composition and meat quality of crossbred pigs. *J. Anim. Sci.* 78:257-264.
- Recuerda, P., R. Moyano & F. Castro. 2003. Bienestar animal: experimentación, producción, compañía y zoológicos. Universidad de Córdoba, España, 71 pp.
- Renaudeau, D., E. Huc & J. Noblet. 2007. Acclimation to high ambient temperature in large white and caribbean creole growing pigs. *J. Anim. Sci.* 85(3):779-790.
- Ring, C. & R. Kortmann. 1989. Efecto de la insensibilización eléctrica en cerdos sobre la calidad de la carne. *Fleischwirtsch.* (Español) 1:21-23.
- Ríos, R.F.G. & S.D.C. Acosta. 2008. Sacrificio humanitario de ganado bovino. *Nacameh* 2(2):106-123.
- Sackmam, G., F.A. Stolle & G. Reuter. 1989. Influencia de los diferentes tiempos de descanso previo al sacrificio sobre la calidad de la carne de cerdos con una evaluación de las características clínicas. *Fleischwirtsch.* (Español) 1:3-12.
- Sánchez, C., D.R. Villagómez, D. Galindo & J. Ayala. 2008. Comportamiento productivo de cerdos portadores del gen halotano en condiciones medioambientales no controladas. *Rev. Elec. Vet.* 9(5):1-15.
- Scanga, J.A., K.E. Belk, J.D. Tatum, T. Grandin & G.C. Smith. 1998. Factors contributing to the incidence of dark cutting beef. *J. Anim. Sci.* 76(8):2040-2047.
- Schmidt, G.R., G. Goldspink, T. Roberts, L.L. Kastenschmidt, R.G. Cassens & E.J. Briskey. 1972. Electromyography and resting membrane potential in longissimus muscle of stress-susceptible and stress-resistant. *J. Anim. Sci.* 34(3):379-383.

- Schilling M.W., N.G. Marriott, J.C. Acton, C. Anderson-Cook, C.Z. Alvarado, C.Z. Alvarado & H. Wang. 2004. 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* 66(2): 371-381.
- Schwab, C.R., T.J. Baas, K.J. Stalder & J.W. Mabry. 2006. Effect of long-term selection for increased leanness on meat and eating quality traits in Duroc swine. *J. Anim. Sci.* 84(6):1577-1583.
- Shearer, J.K. & P. Nicoletti. 2002. Procedimientos para una eutanasia humanitaria de ganado enfermo, herido y/o debilitado. Universidad de Florida, EU, 12 pp.
- Shen, Q.W., K.R. Underwood, W.J. Means, R.J. McCormick & M. Du. 2007. The halothane gene, energy metabolism, adenosine monophosphate-activated protein kinase, and glycolysis in postmortem pig longissimus dorsi muscle. *J. Anim. Sci.* 85(4):1054-1061.
- Silva, J.R., G. Tomic, E. Cavieres, A. Mansilla & P. Oviedo. 2005. Estudio de la incidencia del reposo *ante mortem* en cerdos y la influencia en el pH, capacidad de retención de agua y color de músculo. *Cien. Inv. Agr.* 32(2): 125-132.
- Smith, J., J. Buoboan & G. Baldres. 2003. Importancia de la calidad de la carne de cerdo. Washington State University, EU, 2 pp.
- Stahl, C.A., H. Heymann, K. Adhikari & E.P. Berg. 2006. Pork quality attributes associated with bilateral carcass variation. *J. Anim. Sci.* 84(2):456-462.
- Statistical Analysis System. 2010. SAS Education Analitical Suite for Windows Release 9.2.
- Stecchini, M.L., F. Mascarello & A. Falaschini. 1990. Influence the breeding system on pH and histochemical properties of muscle fibres in porcine *M. Semimembranosus*. *Mear Sci.* 28(4):279-287.

- Swatland, H.J. 1980. Postmortem changes in electrical capacitance and resistivity of pork. *J. Anim. Sci.* 51(5):1108-1112.
- Swatland, H.J. 1991. Estructura y desarrollo de los animals de abasto. Acribia, Zaragoza, España, 450 pp.
- Tan, F.J., M.T. Morgan, L.I. Ludas, J.C. Forrest & D.E. Gerrard. 2000. Assessment of fresh pork color with color machine vision. *J. Anim. Sci.* 78(12):3078-3085.
- Teuber, N.C.S. 2003. Evaluación de la eficiencia en el uso de la pistola de proyectil retenido para insensibilizar ganado bovino usando cajón de noqueo con fijación de cabeza. Tesis de Licenciatura. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Timm, M.K. 2003. Indicadores de estrés. Sitio argentino de producción animal. Consultado el 15 de mayo de 2011: www.produccion-animal.com.ar
- Troeger, K. & W. Woltersdorf. 1989. Medición del estrés de los cerdos durante el sacrificio. *Fleischwirtsch.* (Español) 2:3-8.
- Unruh, J. A., K.G. Friesen, S.R. Stuewe, B.L. Dunn, J.L. Nelssen, R.D. Goodband & M. D. Tokach. 1996. The influence of genotype, sex, and dietary lysine on pork subprimal cut yields and carcass quality of pigs fed to either 104 or 127 kilograms. *J. Anim. Sci.* 74(6):1274-1283.
- van Arendonk, J. A. & B. W. Kennedy. 1990. Efficiency of selection strategies for halothane-negative gene. *J. Anim. Sci.* 68(6):1569-1576.
- van der Wal, P.G, B. Engel & H.G. Reimert. 1999. The effect of stress, applied immediately before stunning, on pork quality. *Meat Science* 53(2):101-106.
- van Laack, R.L., C. Faustman & J. G. Sebranek. 1993. Pork quality and the expression of stress protein Hsp 70 in swine. *J. Anim. Sci.* 71(11):2958-2964.

- van Laack, R.L., R.G. Kauffman, W. Sybesma, F.J.M. Smulders, G. Eikelenboom, & J.C. Pinheiro. 1994. Is color brightness (L-value) a reliable indicator of water-holding capacity in porcine muscle?. *Meat Science* 38(2):193-201.
- Velazco, J. 2000. Problemas de calidad en el sacrificio de porcinos. *Carnetec* 18(3): 22-25.
- Warris, P.D. 2003. *Ciencia de la carne*. Acribia S.A., Zaragoza, España, 320 pp.
- Woltersdorf, W. & K. Troeger. 1988. Técnica de faena para reducir el porcentaje de PSE en credos. *Fleischwirtschaft (Español)* 2:9-15.
- Woltersdorf, W. & K. Troeger. 1990. Mejoramiento de la calidad de la carne PSE de cerdos mediante refrigeración extrarápida. *Fleischwirtschafts (Español)* 1:45-51.
- Wykle, B., T.A. Gillett & P.B. Addis. 1978. Myoglobin heterogeneity in pigs with PSE and normal muscle by an improved isoelectric focusing technique. *J. Anim. Sci.* 47(6):1260-1264.
- Zimmerman, M. 2008. Capítulo 11: pH de la carne y factores que lo afectan. Pp. 141-152. *In*: Sañudo, A.C. & C. González (ed.), *Aspectos estratégicos para obtener carne ovina de calidad en el cono sur americano*, Universidad Nacional del Centro de Buenos Aires, Tandil.