

T  
1161

 XOCHIMILCO SERVICIOS DE INFORMACION  
ARCHIVO HISTORICO

124064

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA



**Factores *ante-mortem* y *post-mortem* y su efecto en el bienestar animal, metabolismo bioquímico y calidad de la canal de cerdos sacrificados en una planta TIF**

**T E S I S**

Que para obtener el grado de  
Doctor en Ciencias Biológicas

**P R E S E N T A**

**Marcelino Becerril Herrera**

Comité Tutorial:

Director: Dr. Daniel Mota Rojas

Asesora: Dra. María de Lourdes Alonso Spilsbury

Asesor: Dr. Clemente Lemus Flores

JUNIO, 2010



“El Doctorado en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma Metropolitana pertenece al Padrón de Posgrados de Excelencia del CONACYT y además cuenta con el apoyo del mismo Consejo, con el convenio PFP-20-93”

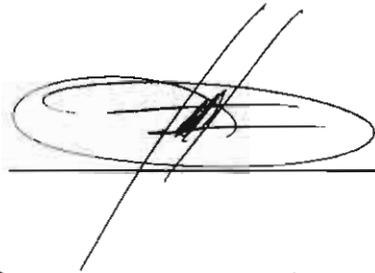
El jurado designado por las Divisiones de Ciencias Biológicas y de la Salud  
de las Unidades Iztapalapa y Xochimilco  
aprobó la tesis que presentó

**Marcelino Becerril Herrera**

El día 9 de Junio del año de 2010

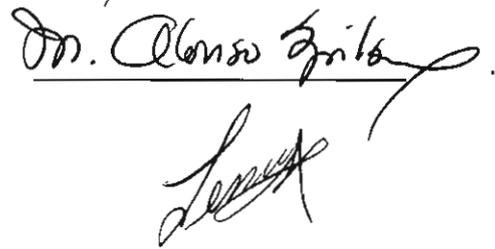
Jurado:

Director: Dr. Daniel Mota Rojas



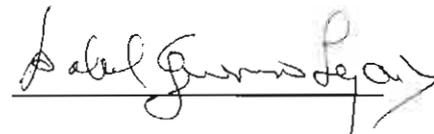
A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'D' and 'M' followed by 'ota Rojas', written over a horizontal line.

Asesora: Dra. Ma. de Lourdes Alonso Spilsbury



A handwritten signature in black ink, starting with 'Dra. Ma. de Lourdes Alonso Spilsbury' and ending with a flourish, written over a horizontal line.

Asesor: Dr. Clemente Lemus Flores

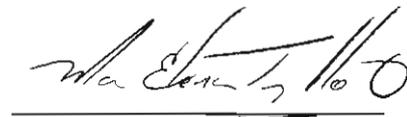


A handwritten signature in black ink, starting with 'Dr. Clemente Lemus Flores' and ending with a flourish, written over a horizontal line.

Sinodal: Dra. Isabel Guerrero Legarreta

≡

Sinodal: Dra. María Elena Trujillo Ortega



A handwritten signature in black ink, starting with 'Dra. María Elena Trujillo Ortega' and ending with a flourish, written over a horizontal line.

## DEDICATORIA

Ipan siuatl uan yolikniuj

Ipan no koneu, no chikauaak

Ipan no tatajuan iuan nokniguan, no tlalitetl

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta sección es, sin lugar a dudas, una de las que más dificultades me llevó escribir. Debido, principalmente al problema de encontrar las palabras exactas, pero sobretodo suficientemente vastas, para expresar mi agradecimiento hacia todas aquellas personas e instituciones que hicieron posible la materialización de este arduo trabajo.

### **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)**

No. Becario 205509

**Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP-SEP)** a través de la Solicitud de Apoyo a la Incorporación de **Nuevos Profesores de Tiempo Completo (PTC) No. UAM-PTC-028, cuenta 2115-34019**, gestionado por el **Dr. Daniel Mota Rojas**

### **Universidad Autónoma Metropolitana**

Plantel Xochimilco

### **Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**

Unidad Académica de Ingeniería Agrohidráulica

Ahora paso a una sección todavía más complicada, al expresar mi total y absoluta gratitud hacia todas aquellas personas que han dado el soporte físico y moral, pero sobre todas las cosas, le han dado el motivo de ser, a este proyecto doctoral.

**Dr. Daniel Mota Rojas.** Mi Director y maestro. Pocas palabras encuentro para poder expresarle mi gratitud, por creer incondicionalmente en mí y por permitirme el honor de aprender, convivir y trabajar con usted. ¡Muchísimas gracias, mi estimado amigo!

**Dra. María de Lourdes Alonso Spilsbury.** Mi Asesora y maestra. Por todo su apoyo y enseñanzas, su tolerancia hacia mi persona, por permitirme colaborar en su cuerpo académico durante todo este tiempo, ¡Gracias!

**Dr. Clemente Lemus Flores.** Mi Asesor y maestro. Por su absoluta confianza, su apoyo depositado en mí y permitirme realizar con Usted nuevamente una investigación; por todo ello, le estaré siempre agradecido.

**Dra. Isabel Guerrero y Dra. María Elena Trujillo.** Mis Sinodales. Por su enorme disponibilidad para corregir la presente investigación y poder finalizarla de la mejor manera.

**M. en C. Silvia Adriana Olmos** Mi amiga. Por haber sido la persona que hizo más fácil la investigación y por continuar brindándome el placer de tu amistad y cordialidad durante todos estos años.

A todos mis **compañeros** que participaron en la toma de variables durante la fase experimental de la presente investigación.

Finalmente, agradezco a esas queridas personas a quienes dedique esta Tesis. A mis **padres y hermanos**, por creer siempre en mí y haberme dado su apoyo de manera incondicional. A **Yazz** por tu amor, por ser siempre la persona capaz de “aterrizarme” en este mundo, por otorgarme tu hombro para apoyarme y soportar ecuánimemente mis defectos. A **Leo**, por brindarme el honor de aprender de tí acerca de la vida y el amor, y por haber sido encantadoramente latoso durante el tiempo que podemos estar juntos. A todos ustedes les manifiesto mi amor y eterno agradecimiento.

**Marcelino Becerril**

## RESUMEN

La presente investigación se planteó con la finalidad de evaluar el efecto del tiempo de transporte, método de aturdimiento y sexo, sobre el desequilibrio ácido-base, perfil energético, gasometría sanguínea, atributos de la calidad de la canal y bienestar de hembras y machos de ganado porcino. El estudio se realizó en las instalaciones de una planta TIF ubicada en la región centro del país. Se utilizaron un total de 1,721 cerdos mexicanos y 996 cerdos híbridos procedentes de los EEUU. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 3x2x3, considerando tres tiempos de transporte (8, 16 y 27 h), dos métodos de aturdimiento (electronarcosis (sistema sólo cabeza) y por anestesia con CO<sub>2</sub>) y 3 sexos (macho entero, macho castrado y hembra). Los resultados señalan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los tiempos de transporte para todas las variables evaluadas; el transporte originó alteraciones fisiológicas y *post mortem*; desencadenando estados de acidosis respiratoria y metabólica, hipocapnia, hipoxia, hipernatremia, hipercalcemia, hiperglucemia, hiperlactatemia e incremento del hematocrito. En los animales transportados por 16 h se afectó en mayor escala el bienestar animal en comparación con los otros tiempos de transporte evaluados. Los machos enteros del grupo con 27 h de transporte, tuvieron hipotermia e hipoglucemia. El estímulo estresante agudo (aturdimiento en cámara de CO<sub>2</sub>) originó mayores alteraciones fisiológicas en comparación con el tiempo de transporte, considerado como un estresor crónico; así, hubo un incremento significativo en los resultados obtenidos en los niveles de cortisol (64.4 ng/ml) y creatincinasa (6899.7 UI/L) por efecto del estrés agudo en comparación con el estímulo crónico (56.95 ng/ml y 5652.5 UI/L, respectivamente). Al comparar los métodos de aturdimiento, hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos para todas las variables, los animales aturdidos con CO<sub>2</sub> presentaron hipercapnia [PCO<sub>2</sub> (96.39±0.93 mmHg)], hiperpotasemia [K<sup>+</sup> (14.20±0.14 mmol/L)], hipercalcemia [Ca<sup>++</sup> (1.45±0.006 mmol/L)], hiperglucemia [Glu (201.49±4.41 mg/dL)], lactoacidemia [Lac (129.49±0.57 mg/dL)] e incremento del hematocrito [Htc (51.67±0.38 %)], aunado a una disminución en el pH, pO<sub>2</sub> y Na; para el caso del aturdimiento eléctrico hubo un aumento del pH sanguíneo (7.14±0.007), pCO<sub>2</sub> (53.04±0.63 mmHg) y pO<sub>2</sub> (27.48±0.52 mm/Hg). El aturdimiento con CO<sub>2</sub> alteró en mayor escala el bienestar animal en comparación con la electronarcosis; sin embargo, el aturdimiento eléctrico afectó negativamente los atributos de la calidad de la canal en comparación con el CO<sub>2</sub>. En términos de sexo, dichos atributos resultaron mejores para las hembras en comparación con los otros sexos evaluados. Se concluye que no es recomendable realizar transportes superiores a 8 h; en especial, tratándose de las hembras, pues se compromete en mayor escala su bienestar, estos animales presentaron valores más elevados que los machos castrados, en las variables PO<sub>2</sub>, Ca<sup>2+</sup> y lactato; con excepción del porcentaje de PCO<sub>2</sub>, K<sup>+</sup> y hematocrito en donde ocurrió lo contrario. Sin embargo, los machos presentaron valores más elevados de cortisol en comparación con las hembras; comportamiento inverso al que se dio para la variable creatincinasa. Se recomienda realizar más estudios comparando métodos de insensibilización que permitan encontrar un punto medio entre calidad del producto y el bienestar animal.

**Palabras clave:** cerdo, transporte, aturdimiento, bienestar animal.

## ABSTRACT

The present study was carried out with the aim to evaluate the effect of transport time, stunning method and sex, over acid-base imbalance, energetic profile, hemodynamic gas exchange, some carcass quality traits and animal welfare in both female and male finishing pigs. The study was carried out in a Federal Inspection Plant located in Central Mexico. A total of 1,721 Mexican and 996 American hybrid pigs were monitored in different experiments. A completely randomized factorial 3x2x3 design was used, considering three times of transport (8, 16 and 27 h), two stunning methods (electronarcosis ("head only") and CO<sub>2</sub> anesthesia) and three genders (intact male, barrow and female). Overall, results showed significant differences for all the traits monitored in the study for the three transit periods, causing physiological and *post mortem* disorders in the pigs such as respiratory and metabolic acidosis, hypocapnia, hypoxia, hypernatremia, hypercalcemia, hyperglycemia, hyperlactatemia and increased hematocrit rate. The 16 h transportation period had a greater effect on animal welfare than the other transit periods. Intact males transported over 27 hours showed hypothermia and hypoglycemia. CO<sub>2</sub> stunning (acute stimuli) caused major physiological disorders compared to transportation time, considered a chronic stressor; results of cortisol and creatin kinase were higher for the former group (64.4 ng/ml and 6899.7 UI/L vs. 56.95 ng/ml and 5652.5 UI/L, respectively). Comparison between stunning methods showed significant differences ( $p \leq 0.05$ ) for all variables measured. CO<sub>2</sub> stunned pigs showed hypercapnia [PCO<sub>2</sub> (96.39±0.93 mmHg)], hyperpotasemia [K<sup>+</sup> (14.20±0.14 mmol/L)], hypercalcemia [Ca<sup>++</sup> (1.45±0.006 mmol/L)], hyperglucemia [Glu (201.49±4.41 mg/dL)], lactoacidemia [Lac (129.49±0.57 mg/dL)] and an increase in hematocrit [Htc (51.67±0.38 %)], coupled with reduced pH, pO<sub>2</sub> and Na; whereas electric stunned pigs had higher blood pH, (7.14±0.007), pCO<sub>2</sub> (53.04±0.63 mmHg) and pO<sub>2</sub> (27.48±0.52 mm/Hg). Thus CO<sub>2</sub> stunning lead to poor animal welfare compared to electronarcosis, however, when both stunning method were compared, electric stunning negatively affected the quality traits measured in this study. In regard to the gender, females showed better quality traits compared to males and barrows. We conclude that it is not advisable to have transportation times over 8 hours, specially for females, since among genders they are the most susceptible to transport stress; females showed higher values (PO<sub>2</sub>, Ca<sup>2+</sup> and lactate) than barrows, whereas for PCO<sub>2</sub>, K<sup>+</sup> and hematocrit the opposite occurred. However, males had higher cortisol values and creatin kinase was the other way around for the females. Further research needs to be done in terms of stunning methods in order to pursuit a balance between carcass quality and animal welfare.

**Key words:** pigs, transportation, stunning, animal welfare.

## ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO DE REFERENCIA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Concepto de estrés .....	5
2.1.1 Reguladores neuroendocrinos del estrés .....	5
2.1.2 Liberación de cortisol post-estrés .....	8
2.1.3 Creatinina post-estrés .....	11
2.1.4 Lactato post-estrés .....	14
2.2 Transporte .....	16
2.2.1 El estrés del transporte.....	17
2.2.2 Respuesta fisiológica del cerdo al estrés originado por el transporte ....	19
2.3 Bienestar animal y transporte al rastro .....	22
2.3.1 Bienestar antes del transporte.....	26
2.3.2 Bienestar durante el transporte .....	27
2.3.4 Densidad de carga.....	28
2.3.5 Comportamiento durante el transporte .....	29
2.3.6 Posición social.....	31
2.3.7 Vibración del vehículo.....	32
2.3.8 Duración del transporte .....	33
2.3.8.1 Transporte corto .....	33
2.3.8.2 Transporte largo .....	34
2.3.9 Regulaciones mexicanas para el transporte del cerdo .....	36
2.4 Bienestar del cerdo aturdido eléctricamente <i>versus</i> CO <sub>2</sub> .....	37
2.4.1 Aturdimiento eléctrico .....	38
2.4.2 Aturdidores de CO <sub>2</sub> .....	41
2.4.3 Comparación de la eficiencia de los métodos de aturdimiento en ganado porcino.....	43
2.5 Calidad de la carne.....	45
2.5.1 Carne PSE y DFD.....	48
2.5.2 Factores que inciden sobre la carne PSE.....	50
<b>III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>56</b>

<b>IV. HIPÓTESIS .....</b>	<b>59</b>
<b>V. OBJETIVOS .....</b>	<b>60</b>
5.1 Objetivo general .....	60
5.2 Objetivos particulares .....	60
<b>VI. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>61</b>
6.1 Localización.....	61
6.2 Manejo experimental .....	61
6.2.1 Primer experimento .....	61
6.2.2 Segundo experimento.....	61
6.2.3 Tercer experimento.....	62
6.2.4 Cuarto experimento .....	62
6.3 Mediciones pre-sacrificio .....	63
6.3.1 Temperatura corporal .....	63
6.3.2 Medición del perfil energético, desequilibrio ácido-base y gasometría sanguínea.....	63
6.3.3 Técnicas de muestreo y de registro para las observaciones conductuales .....	63
6.4. Sacrificio y faenado .....	64
6.4.1 Medición del perfil energético, desequilibrio ácido-base y gasometría sanguínea.....	64
6.4.2 Método de aturdimiento .....	64
6.4.3. pH y temperatura de la canal.....	64
6.4.4 Medición de color .....	65
6.5. Mediciones sanguíneas pre- y durante el sacrificio .....	65
6.5.1 Creatincinasa.....	65
6.5.2 Cortisol .....	66
6.6 Análisis estadísticos .....	66
<b>VII. RESULTADOS .....</b>	<b>68</b>
7.1. Evaluación del tiempo de transporte .....	68
7.2 Evaluación de la interacción sexo y tiempo de transporte en cerdos nacionales .....	71
7.3 Evaluación de la interacción sexo y tiempo de transporte en cerdos importados.....	77

7.4 Evaluación de dos métodos de aturdimiento .....	81
7.5 Evaluación de la interacción sexo y tipo de aturdimiento en cerdos nacionales .....	87
7.6 Evaluación de la interacción sexo y tipo de aturdimiento en cerdos importados.....	93
7.7 Valores de cortisol y creatincinasa post arribo y post aturdimiento en cerdos nacionales e importados .....	97
7.8 Atributos de la calidad de la canal .....	103
7.9 Observaciones conductuales.....	108
<b>VIII. DISCUSIÓN.....</b>	<b>110</b>
8.1 Transporte .....	110
8.1.1 Interacción sexo-transporte .....	113
8.2 Aturdimiento .....	115
8.2.1 Tiempo aturdimiento-desangrado.....	116
8.2.2 Aturdimiento en cámaras de CO <sub>2</sub> .....	116
8.2.3 Aturdimiento por electronarcosis .....	118
8.2.4 Interacción sexo-aturdimiento.....	120
8.3 Niveles de cortisol y creatincinasa post transporte y post aturdimiento..	120
8.4 Atributos de la calidad de la canal .....	122
8.5 Observaciones conductuales.....	126
<b>IX. CONCLUSIONES.....</b>	<b>127</b>
<b>X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>129</b>
<b>XI ANEXOS .....</b>	<b>158</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Contenido	Página
<b>Cuadro 1.</b> Media y error estándar del metabolismo energético, equilibrio ácido - base y gases sanguíneos al arribo de cerdos transportados por 3 períodos.....	69
<b>Cuadro 2.</b> Media y error estándar del metabolismo energético, equilibrio ácido - base y gases sanguíneos al arribo de cerdos transportados por 2 períodos.....	73
<b>Cuadro 3.</b> Variables correlacionadas significativamente en 250 animales transportados 8 h.....	76
<b>Cuadro 4.</b> Variables correlacionadas significativamente en 234 animales transportados 16 h.....	77
<b>Cuadro 5.</b> Media y error estándar del metabolismo energético, equilibrio ácido - base y gases sanguíneos al arribo de cerdos transportados por 27 horas y divididos por sexo.....	78
<b>Cuadro 6.</b> Variables correlacionadas significativamente en 105 hembras transportadas por 27 h.....	79
<b>Cuadro 7.</b> Variables correlacionadas significativamente en 80 cerdos castrados transportados por 27 h.....	80
<b>Cuadro 8.</b> Variables correlacionadas significativamente en 137 cerdos enteros transportados por 27 h.....	81
<b>Cuadro 9.</b> Media y error estándar de la media del tiempo entre aturdimiento e inicio del desangrado.....	82
<b>Cuadro 10.</b> Media y error estándar del metabolismo energético, equilibrio ácido - base y gases sanguíneos al desangrado de cerdos aturridos por 2 métodos.....	83
<b>Cuadro 11.</b> Variables correlacionadas significativamente en 247 animales aturridos en cámara de CO <sub>2</sub> .....	86
<b>Cuadro 12.</b> Variables correlacionadas significativamente en 252 animales aturridos eléctricamente.....	87
<b>Cuadro 13.</b> Media y error estándar estándar de las variables	

sanguíneas evaluadas en animales transportados por 16 h y sacrificados por dos diferentes métodos.....	89
<b>Cuadro 14.</b> Variables correlacionadas significativamente en 247 animales aturdidos en cámara de CO <sub>2</sub> .....	92
<b>Cuadro 15.</b> Variables correlacionadas significativamente en 252 animales aturdidos eléctricamente.....	93
<b>Cuadro 16.</b> Media y error estándar de la media del metabolismo energético, equilibrio ácido-base y gases sanguíneos post-transporte y post-desangrado de cerdos americanos.....	94
<b>Cuadro 17.</b> Variables correlacionadas significativamente en 88 hembras aturdidas en cámaras de CO <sub>2</sub> .....	95
<b>Cuadro 18.</b> Variables correlacionadas significativamente en 106 cerdos castrados aturdidos en cámaras de CO <sub>2</sub> .....	96
<b>Cuadro 19.</b> Variables correlacionadas significativamente en 78 cerdos enteros aturdidos en cámaras de CO <sub>2</sub> .....	97
<b>Cuadro 20.</b> Valores de cortisol basal, post transporte y post insensibilizado en diferentes períodos y en diferentes sexos.....	99
<b>Cuadro 21.</b> Valores de CK basal, post transporte y post insensibilizado en diferentes períodos y en diferentes sexos.....	102
<b>Cuadro 22.</b> Mediana e intervalo del pH de canal caliente y fría de cerdos transportados por tres períodos.....	104
<b>Cuadro 23.</b> Mediana e intervalo del pH de canal caliente y fría de cerdos nacionales sacrificados por dos métodos.....	104
<b>Cuadro 24.</b> Mediana e intervalo del pH de canal caliente y fría de cerdos americanos sacrificados por dos métodos.....	106
<b>Cuadro 25.</b> Media y error estándar de la media del color de la canal caliente de cerdos transportados por tres períodos.....	107
<b>Cuadro 26.</b> Media y error estándar de la media del color de la canal caliente de cerdos transportados por tres períodos.....	108
<b>Cuadro 27.</b> Intervalo aturdimiento desangrado considerando el orden de manipulación.....	109

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
<b>Figura 1.</b> Efecto del tiempo de transporte en la pCO <sub>2</sub> , Ca <sup>2+</sup> , Glucosa y lactato en ganado porcino. Los datos se presentan como medias ± error típico estándar. a, b, c, Literales diferentes entre columnas indican diferencias significativas a la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).....	71
<b>Figura 2.</b> Efecto del tiempo de transporte y sexo en el pCO <sub>2</sub> , Ca <sup>2+</sup> , glucosa y lactato en ganado porcino nacional. Los datos se presentan como medias ± error típico estándar. a, b, c, d Literales diferentes entre columnas indican diferencias significativas a la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).....	75
<b>Figura 3.</b> Efecto del método de aturdimiento en el pH sanguíneo, K <sup>+</sup> , glucosa y lactato en ganado porcino. Los datos se presentan como medias ± error típico estándar. a, b, c, Literales diferentes entre columnas indican diferencias significativas a la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).....	85
<b>Figura 4.</b> Efecto del método de aturdimiento en el pH sanguíneo, pCO <sub>2</sub> , glucosa y lactato en ganado porcino nacional. Los datos se presentan como medias ± error típico estándar. a, b, c, d Literales diferentes entre columnas indican diferencias significativas a la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).....	91
<b>Figura 5.</b> Efecto del tiempo de transporte y método de aturdimiento sobre los valores de cortisol en ganado porcino nacional. Los datos se presentan como medias ± error típico estándar. a, b, c, Literales diferentes entre columnas indican diferencias significativas a la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).....	98
<b>Figura 6.</b> Efecto del tiempo de transporte y método de aturdimiento sobre los valores de creatinin cinasa en ganado porcino nacional. Los datos se presentan medias ± error típico estándar. a, b, c, Literales diferentes entre columnas indican diferencias significativas a la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).....	100

**Figura 7.** Efecto del método de aturdimiento sobre los valores de pH de la canal caliente y fría de ganado porcino nacional. Los datos se presentan como medianas  $\pm$  error típico estándar..... 103

---

## I. INTRODUCCIÓN

Previo al sacrificio varios factores afectan la calidad de la carne de cerdo, entre ellos destacan la duración del transporte, el manejo de la carga y descarga, y el periodo de reposo (Quiroga y García, 1994; Chevillon, 2000; Fortín, 2002; Mota-Rojas *et al.*, 2005ab). En la medida que se incrementa el grado de estrés en el cerdo, hay un desequilibrio metabólico que repercute en el potencial glucolítico *post mortem*, alterando el grado de acidez muscular y el color de la carne (Leheska *et al.*, 2003; Hambrecht *et al.*, 2004).

En el transporte se conjugan numerosos factores de perturbación, como son: la exposición a un nuevo ambiente, la agrupación de animales desconocidos, el hacinamiento, el ruido, los movimientos del vehículo, el hambre y la sed (Dantzer y Morméde, 1984). La distancia en el transporte varía desde unos pocos a varios cientos de kilómetros. Durante la carga, transporte y descarga de los animales, es común que éstos presenten problemas de traumatismos, pérdida de peso, hematomas e inclusive la muerte (Mota-Rojas *et al.*, 2005abc); sin embargo, un buen manejo en estas etapas puede contribuir considerablemente a aminorar la incidencia de estos problemas. Así, los cerdos que van a ser transportados deben juntarse 12 h antes del viaje, no deben recibir alimento; la carga y la descarga deben realizarse sin grandes traumas para los animales, y los vehículos deben ser los adecuados para transportarlos (Quiroga y García, 1994, Gallo *et al.*, 2001, 2003).

El cerdo es muy sensible al estrés; sin embargo, es capaz de adaptarse a situaciones nuevas que impliquen esfuerzo extra, como por ejemplo durante el transporte realizado en malas condiciones. Entre las respuestas fisiológicas de adaptación sobresale el aumento en la secreción de catecolaminas, lo que da lugar a un aumento del gasto cardiaco, del consumo de oxígeno y de la temperatura corporal; disminución del pH, acumulación de ácido láctico (Hambrecht *et al.*, 2003, 2004), y aumento de la gluconeogénesis, con lo que se incrementa el metabolismo basal (Mota-Rojas *et al.*, 2005b; Mota-Rojas *et al.*,

2006a). Todo esto conduce a una pérdida de peso y a una canal de mala calidad (Cárdenas *et al.*, 1987). Otros agentes que pueden alterar el perfil metabólico y ocasionar desajustes ácido-base y repercutir sobre la calidad de la carne, son la genética del animal, el estrés social, la estimulación eléctrica, el estrés calórico, y la privación de agua y alimento (Dantzer, 1982; McGlone *et al.*, 1993; Shaw y Trout, 1995; Bradshaw *et al.*, 1996b; Chevillon, 2000).

Sin duda, el problema más grave en esta fase previa a la matanza es el síndrome del estrés porcino, que puede dar lugar a la muerte debida a un ataque cardíaco, y consecuentemente a la incidencia de carne pálida, suave y exudativa (PSE) (Mota-Rojas *et al.*, 2000ad; Hambrecht *et al.*, 2003, 2004). Las altas temperaturas, así como los cambios extremos en las condiciones climáticas, y las peleas entre los animales inmediatamente antes del sacrificio, aumentan la incidencia de carnes PSE (Stalder *et al.*, 1998).

Otro factor *pre mortem*, pero que incide de manera positiva sobre la calidad de la canal, es el periodo de descanso, que permite al animal recuperar los niveles plasmáticos de glucosa y restablecer el equilibrio hídrico (Pérez *et al.*, 2002ab; Warriss; 2002). La ingestión de agua en este periodo facilita una sangría más completa, da lugar a un color más brillante de la carne, y hace que el aturdimiento eléctrico sea más eficaz; durante el periodo de reposo, los animales pueden recobrar más del 1% de su peso perdido durante el transporte (Mota-Rojas *et al.*, 2005ab). Cuando no reciben alimento, los cerdos pierden peso con facilidad y pronto pueden llegar a perder peso en canal, especialmente en forma de agua. Por ello, los cerdos no deben estar más de 16 a 24 h en ayuno antes de ser sacrificados (Quiroga y García, 1994; Dall y Barton, 2001).

Se ha demostrado que la carga y descarga de los animales durante el transporte, el estrés social, la estimulación eléctrica, el estrés calórico, y la privación de agua y alimento, son factores que aumentan las concentraciones plasmáticas de cortisol en los cerdos (Dantzer, 1982; McGlone *et al.*, 1993; Shaw y Trout, 1995; Bradshaw *et al.*, 1996a).

La pérdida de peso durante el transporte ha sido estudiada en relación con la función de las glándulas adrenales, y esta a su vez, con la intensidad y duración del estrés. La glándula adrenal es controlada por la hormona adrenocorticotropica secretada por la hipófisis. También la pérdida de peso durante el transporte puede deberse a que la liberación de hormonas glucocorticoides promueve la gluconeogénesis a partir de los carbohidratos disponibles de la síntesis de los aminoácidos resultantes de la separación de proteínas y grasas (Trejo, 1973).

El aumento de cortisol favorece un decremento en la infiltración leucocitaria tisular. Hay un incremento de trombocitos y neutrófilos en cerdos transportados durante 6 a 18 h o una distancia de 400 km. Además, hay deshidratación por efecto de la adrenalina, que promueve el incremento de varias enzimas de la sangre como resultado de células dañadas durante el estrés. Existen consecuencias adversas en animales de 107 a 165 kg transportados a una distancia de 266 a 310 km (Trunkfield y Broom, 1990; Hicks *et al.*, 1998).

Cuando el desangrado es correcto se obtiene carne de muy buena calidad. El desangrado en los cerdos se debe efectuar 10 s después de la insensibilización y debe durar de 6 a 8 min. Un cerdo de 90 kg proporciona entre 2.5 y 3.5 kg de sangre líquida; del total de la sangre contenida en el cuerpo del animal, 60% se libera durante la sangría, 20 a 25% permanece en las vísceras, y 15 a 20% se encuentra en la carne, grasa y hueso de la canal (Quiroga y García, 1994).

Terminado el control sanitario y pesaje, las medias canales aptas para el consumo deben introducirse en el cuarto de refrigeración, con la finalidad de bajar el calor interno y permitir una mayor duración de la vida de anaquel. La temperatura del cuarto de refrigeración debe ser de -1 a 0°C; el tiempo que permanece la canal en el cuarto de refrigeración es el necesario para que su temperatura disminuya a 2 ó 3°C. El flujo de aire es un factor crítico en el enfriamiento de las canales, aunque es difícil de medir y controlar; los efectos

combinados de humedad relativa, temperatura, movimiento de aire y cubierta de grasa, determinan en conjunto la pérdida de humedad de la superficie. La carne enfriada con excesiva rapidez antes de alcanzar el *rigor mortis* puede aumentar su grado de dureza como consecuencia del frío.

En México existen pocos estudios en especies en las que se ha valorado el grado de estrés que experimentan los animales durante su traslado al rastro y durante su muerte (Mota-Rojas *et al.*, 2006ab; Becerril-Herrera *et al.*, 2007; González *et al.*, 2007; Guerrero *et al.*, 2007; Maldonado *et al.*, 2007; Carrillo del Valle *et al.*, 2008; Mota-Rojas *et al.*, 2008; Becerril-Herrera *et al.*, 2009ab), en ellos se reflejan las alteraciones previamente descritas, aunado a que constituyeron un antecedente importante en el planteamiento y elaboración de la presente investigación.

Dado que existe una gran cantidad de factores que alteran la calidad de la canal y de la carne, en el presente estudio se pretendió evaluar de manera integral el efecto del periodo de transporte y método de aturdimiento, sobre el desequilibrio ácido-base, perfil energético, intercambio gaseoso y bienestar del cerdo, así como los efectos sobre la calidad de la canal caliente y fría.

## II. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 Concepto de estrés

El estrés (*stress*) o reacción de alarma es una respuesta inespecífica del organismo ante condiciones ambientales adversas, que produce ajustes fisiológicos y metabólicos para mantener la homeostasis; las principales áreas afectadas en la producción, por dicho problema son: el crecimiento, la reproducción y la resistencia a enfermedades, aunado a la calidad de la canal (Bonelli y Schifferli, 2001). Esto se explica en la teoría de estrés, propuesta por Seyle, ya que los mecanismos responsables al darse la respuesta neuroendocrinológica de estrés, provocan un incremento de hormonas catabólicas (catecoloaminas y glucocorticoides) y esto es incompatible con el aumento de hormonas anabólicas (hormona de crecimiento y hormonas gonadales) (Dantzer, 1988; Ramírez, 2005). Esta respuesta fisiológica se ha descrito en todas las especies de animales mamíferos (Ramírez, 2005).

#### 2.1.1 Reguladores neuroendocrinos del estrés

La acción estresante tiene un mecanismo interno en el cual intervienen los órganos de los sentidos, la corteza cerebral, el hipotálamo, la glándula hipófisis y la glándula adrenal; ella genera una respuesta fisiológica (nociva para el organismo cuando es muy intensa o se hace crónica o permanente que incluso puede conducir a la muerte). Esa respuesta se caracteriza por altos niveles de la hormona cortisol en la circulación. La base anatómico-funcional de este fenómeno biológico lo constituye el llamado eje hipotálamo-hipófisis-adrenal con intervención del sistema nervioso simpático. La comunicación entre las distintas partes de este eje se realiza a través de las sustancias químicas llamadas hormonas y el medio de transporte es la sangre. Es así como ante un estímulo estresante en el hipotálamo, se produce la hormona liberadora de corticotrofina (CRH), que lleva un mensaje a la glándula hipófisis ubicada unos centímetros más abajo, la cual libera la hormona adrenocorticotrofina (ACTH) que actúa en la corteza de la glándula adrenal y esta libera el cortisol, responsable por una parte del estrés (Ganong, 1996; Guyton, 2001).

Los ajustes neuroendócrinos y los cambios conductuales permiten la adaptación del organismo animal al presentarse algún agente inductor de estrés. Para evaluar la influencia de los factores inductores de estrés sobre la producción animal, se han utilizado parámetros de medición de las hormonas relacionadas; por ejemplo, la producción de hormonas como las catecolaminas y el cortisol o en respuestas de órganos blancos, reflejados en el incremento de la presión sanguínea o velocidad del corazón, hiperglicemia y cambio en el conteo de las células blancas de la sangre (Dantzer, 1988).

La respuesta de los animales hacia un agente inductor de estrés se vale de tres componentes principales. El primero es el reconocimiento de la amenaza, que ocurre en el sistema nervioso central y que culmina en una organización de defensa biológica de tipo homeostático. El segundo es la respuesta al estrés que confiere cambios conductuales, autonómicos y neuroendocrinos que llevan al individuo a presentar cambios biológicos que afectan su economía corporal y es compensada por actividades biológicas como la gluconeogénesis. Si los estímulos inductores de estrés son prolongados, entonces se desarrollará el tercer componente que es un estado prepatológico en el cual se altera la capacidad individual para mantener las funciones normales y se desarrolla alguna enfermedad, aunado a la presencia de alteraciones conductuales como la agresividad, la falta de actividad o el desarrollo de conductas anormales (Dantzer, 1988; Caballero *et al.*, 1995).

Durante el estrés, la activación neuroendócrina se inicia al incrementar la concentración plasmática de norepinefrina y epinefrina como resultado de la activación del sistema nervioso simpático, y esta es una característica de la respuesta aguda al estrés. Por otra parte, la consiguiente estimulación del sistema hipotálamo-hipófisis-adrenal (H-H-A) está relacionada con la respuesta crónica al estrés, del cual surge la producción de glucocorticoides y la biosíntesis de catecolaminas en la médula adrenal está determinada por la cantidad de glucocorticoides circulantes, y son las concentraciones de catecolaminas

sanguíneas las que estimulan la liberación de adrenocorticotropina por la hipófisis anterior.

Los glucocorticoides inducen una disminución en la resistencia del animal ante diferentes enfermedades y también son causa de activación de infecciones latentes. Tienen un potente efecto inmunosupresor, ya que son linfolíticos y disminuyen la producción de anticuerpos (inmunidad humoral). Los glucocorticoides participan en la supresión de la respuesta inflamatoria (por lo que existe una disminución en las concentraciones de fibrinógeno sanguíneo) y alérgica (disminución de eosinófilos), diapedéisis leucocitaria y la formación de granulomas, y a consecuencia de estos efectos interfieren con la respuesta del individuo frente a infecciones bacterianas y suprimen las reacciones de sensibilidad retrasada. Existe también una hipertrofia adrenal e involución tímica. También ocasiona una disminución en la promoción de la excreción de ácido úrico y de agua libre para ser eliminado del organismo, los cuales para ser eliminados del organismo son inicialmente desactivados y posteriormente conjugados para formar derivados hidrosolubles que se excretan en orina (Dantzer, 1988; Caballero *et al.*, 1995).

Durante el estrés agudo y crónico, las catecolaminas circulantes presentan concentraciones altas en plasma. La medición del estrés se puede llevar a cabo mediante la cuantificación de las catecolaminas y es posible también, cuantificar las concentraciones de catecolaminas de manera indirecta midiendo las concentraciones de los metabolitos de estas en orina, así por ejemplo, el ácido vanilmandélico es un metabolito de las catecolaminas de excreción urinaria (Dantzer, 1988; Caballero *et al.*, 1995).

Los cambios conductuales atribuidos a la presencia de estrés pueden ser variables según la intensidad de estrés presentado por ejemplo en la conducta de miedo, el intento de escape, emitir vocalizaciones, tornarse agresivo e hiperactivo, son en general instancias relacionadas al estrés agudo. Sin embargo, cuando un animal se encuentra en un ambiente poco familiar y se ve frustrado para

desarrollar conductas de escape, puede bloquear completamente la actividad y desarrollar apatía o depresión (Luescher *et al.*, 1989).

### **2.1.2 Liberación de cortisol post-estrés**

El estrés activa el eje hipotálamo-pituitaria-adrenal y el aumento en la secreción de glucocorticoides de la corteza suprarrenal; a su vez, la elevación de glucocorticoides estimula la ruptura de músculo esquelético (Tomás, *et al.*, 1979; Odedra *et al.*, 1983). Los glucocorticoides ejercen plenamente su efecto sobre la degradación de las proteínas miofibrilares en presencia de la hormona tiroidea en la rata (Hayashi *et al.*, 2000). El músculo esquelético contiene múltiples mecanismos de degradación, entre ellos la proteína lisosomal, calpainas y proteasomas (Sekikawa *et al.*, 1998). Los glucocorticoides pueden activar tanto las calpainas como los proteasomas (Hayashi *et al.*, 2000). Por otro lado se ha observado que las altas concentraciones en sangre de glucocorticoides y triyodotironina (T3) puede referirse a la carne de cerdo pálida, suave y exudativa en animales heterocigotos al gen halotano (Sekikawa *et al.*, 2004). Por estas razones, la hipótesis de que mayores niveles de glucocorticoides y T3 debido al estrés previo al sacrificio puede desempeñar un papel importante en el aumento de la proteólisis en el músculo esquelético de cerdos, y la aceleración de la proteólisis a su vez puede inducir la condición PSE. Sin embargo, no existen datos que describen de manera satisfactoria el efecto de los glucocorticoides en la proteólisis muscular y la calidad de la carne en cerdos.

Al menos, el 95% de la actividad glucocorticoidea de las secreciones de la corteza suprarrenal procede de la secreción de cortisol, conocido también como hidrocortisona. El efecto metabólico mejor conocido del cortisol y de otros glucocorticoides es su capacidad para estimular la gluconeogénesis (formación de hidratos de carbono a partir de las proteínas y de algunas otras sustancias) en el hígado, a menudo aumentando la velocidad de la misma hasta 6 a 10 veces. Ello es consecuencia fundamental de dos efectos: primero el cortisol aumenta todas las enzimas necesarias para convertir a los aminoácidos en glucosa dentro de las células hepáticas. Ello es consecuencia del efecto activador por parte de los

glucocorticoides, de la transcripción de ADN en los núcleos de las células hepáticas, del mismo modo que actúa la aldosterona en las células tubulares renales, con formación de ARN mensajeros que, a su vez, dan lugar al conjunto de enzimas necesario para la gluconeogénesis. Segundo, el cortisol provoca la movilización de aminoácidos procedentes de tejidos extrahepáticos, sobre todo del músculo. En consecuencia, se dispone de más aminoácidos en el plasma para entrar en el proceso de gluconeogénesis hepática, y por tanto, para promover la formación de glucosa (Dallman *et al.*, 1993).

El cortisol también produce una disminución moderada de la utilización de glucosa por las células de todo el organismo. Aunque se desconoce la causa, la mayoría de los investigadores opinan que el cortisol retrasa directamente la utilización de glucosa en algún lugar entre el punto de entrada de la misma en las células y su degradación final. Un posible mecanismo se basa en la observación de que los glucocorticoides deprimen la oxidación de nicotinamida-adenina dinucleótico (NADH) para formar  $\text{NAD}^+$ . Dado que el NADH debe oxidarse para permitir la glucólisis, este efecto podría explicar la menor utilización de glucosa por las células (Guyton, 2001).

Tanto el aumento de la gluconeogénesis como la reducción moderada de la utilización de glucosa por las células, hacen que se eleven las cifras de glucemia. Este aumento es en ocasiones bastante grande (50% o más sobre lo normal) como para que el proceso reciba el nombre de diabetes suprarrenal (Guyton, 2001).

Uno de los principales efectos del cortisol sobre los sistemas metabólicos del organismo consiste en la reducción de los depósitos de proteínas en casi todas las células corporales a excepción de las hepáticas. Ello se debe tanto a la disminución de la síntesis proteica como el aumento del catabolismo de las proteínas ya existentes en las células. Ambos efectos suelen ser debidos a una disminución del transporte de aminoácidos a los tejidos extrahepáticos, aunado a que el cortisol también deprime la formación de ARN y la consiguiente síntesis de

proteínas en numerosos tejidos extrahepáticos, sobre todo en el músculo y en tejido linfoide (Guyton, 2001).

En presencia de un exceso de cortisol, los músculos pueden llegar a ser tan débiles que el animal no es capaz de levantarse. Coincidiendo con la reducción de proteínas en todo el organismo, las proteínas hepáticas aumentan. Además las proteínas plasmáticas (producidas por el hígado y liberadas posteriormente a la sangre) también están aumentadas (Guyton, 2001).

El aumento de la concentración plasmática de aminoácidos, unido al hecho de que el cortisol favorece su transporte al interior de las células hepáticas, podría explicar la mayor utilización de aminoácidos por el hígado para producir efectos tales como: 1) aumento de la tasa de desaminación de aminoácidos por el hígado; 2) aumento de la síntesis de proteínas por el hígado; 3) aumento de la formación de proteínas plasmáticas por el hígado, y 4) aumento de la conversión de aminoácidos en glucosa, es decir, aumento de la gluconeogénesis (Guyton, 2001).

En una forma muy similar a la utilizada para promover la movilización de aminoácidos del músculo, el cortisol promueve la movilización de ácidos grasos del tejido adiposo. Ello aumenta la concentración de ácidos grasos libres en el plasma, lo que también aumenta su utilización para obtener energía. El cortisol parece poseer también un efecto directo favorecedor de la oxidación de los ácidos grasos en las células (Guyton, 2001).

El aumento de la movilización de grasas por el cortisol, combinado con la mayor oxidación de ácidos grasos en las células, ayudan a desplazar los sistemas metabólicos de éstas, en épocas de inanición o frente a otras tensiones, de modo que se sustituye la utilización de glucosa por la de ácidos grasos como fuente energética (Guyton, 2001).

El cortisol, la hormona principal liberada por la corteza suprarrenal, favorece la acumulación de grasa a expensas de las proteínas (Devenport *et al.*, 1989). En efecto, las razas de cerdo en canal con un mayor contenido de materia grasa como Meishan (Bidanel *et al.*, 1993) o Duroc (Smith *et al.*, 1986), también producen más cortisol (Bergeron *et al.*, 1996; De'saute's *et al.*, 1997; 1999; Hay *et al.*, 1998; Weiler *et al.*, 1996; Morméde *et al.*, 1994).

### **2.1.3 Creatincinasa post-estrés**

La creatinina está en el cuerpo principalmente en forma de fosfato de alta energía. En los músculos es fuente de energía. Se le encuentra en mayores cantidades en animales jóvenes en crecimiento. La creatinina es una sustancia muy difusible y distribuida de manera uniforme en el agua corporal y se elimina del plasma aproximadamente en la tasa de filtración glomerular (Bush, 1982).

Anteriormente fue conocida con el nombre de creatina fosfokinasa (CPK). Es producida primordialmente en las células del músculo estriado. Es considerada una de las enzimas más útiles para la evaluación clínica. Cuando el músculo esquelético, incluyendo el músculo cardíaco, es dañado o destruido, la creatincinasa (CK) se filtra fuera de la célula y produce una elevada concentración de los niveles CK en la sangre, pero los niveles regresan rápidamente a la normalidad después de efectuado el daño muscular (Kaneko *et al.*, 1997; Pratt, 1997).

La CK es liberada dentro del plasma debido a un estímulo estresante y ocasiona daño al tejido muscular (Kannan *et al.*, 2000); su actividad se basa principalmente en reacciones bioquímicas, fisiológicas y en aspectos patológicos donde se involucran al metabolismo de fosfatos de energía dentro de la célula y los tejidos (Wyss *et al.*, 2000).

Esta enzima cataliza la reacción de la creatina fosfatasa (CPK) a creatina mediante la cual el organismo obtiene energía de forma rápida en situaciones en las cuales las vías normales de obtención de energía no son suficientes para

suplir sus necesidades energéticas, además la CK es la responsable de la catalización reversible de la fosforilación de creatina para formar fosfato de creatina (Lehninger, 1995; Buxadé, 1997; Kaneko *et al.*, 1997). Otra de las sustancias que se utilizan como indicativo del bienestar animal es el lactato, el cual es el resultado final del proceso metabólico de la glucólisis, para obtener energía de forma rápida (Buxadé, 1999).

Como se mencionó antes, los músculos más activos demandan una mayor cantidad de ATP, lo cual trae como consecuencia que el flujo sanguíneo no puede suministrar el O<sub>2</sub> y los combustibles lo bastante de prisa para producir el ATP necesario tan solo por medio de la glucólisis, dando lugar a una fuente emergente de energía, la fosfocreatina, un derivado de la creatina, que constituye una importante reserva energética en el músculo esquelético (Lehninger, 1995).

El músculo esquelético contiene una cantidad considerable de fosfocreatina, que puede regenerar rápidamente ATP a partir de ADP mediante una reacción catalizada por una enzima, la CK. Durante la contracción activa y la glucólisis esta reacción está orientada hacia la síntesis de ATP, pero durante la recuperación del ejercicio físico, la CK se utiliza para sintetizar de nuevo fosfocreatina a partir de creatina y ATP (Wilson, 1989; Lehninger, 1995; Kaneko *et al.*, 1997).

Como el análisis de CK es un análisis órgano-específico, este no puede determinar cuál músculo ha sido dañado o indicar la severidad del daño muscular. Cualquier cosa que dañe la membrana celular del músculo puede causar un incremento sérico de los niveles de CK. Tal daño puede ser causado por una inyección intramuscular, postura lateral persistente, cirugía, ejercicio vigoroso, shock eléctrico, laceración, magulladuras, convulsiones e hipotermia; miositis y otras miopatías también causan elevados niveles de CK en sangre (Kaneko *et al.*, 1997; Pratt, 1997).

El incremento de la actividad de algunas enzimas, como la CK, lactato deshidrogenasa y aspartato aminotransferasa presentes en plasma, pueden ser utilizadas para determinar la degeneración y necrosis de la célula muscular, dando como resultado un daño muscular, que se ve reflejado en la carne (Valberg y Hodgson, 1996; citados por Shpigel *et al.*, 2003).

Pratt (1997) además, señala que hay que considerar que los niveles de CK en la sangre, pueden incrementarse por varios factores, tanto químicos como físicos. Debido a que la CK es una enzima inestable, la muestra colectada debe ser analizada lo más pronto como sea posible. Hay que mantener la muestra lejos de cualquier luz ultravioleta (exposición a la luz solar) y sin congelar. Algunos de los químicos que incrementan los niveles de CK son los antioxidantes, el EDTA y citrato, entre otros. También es importante señalar que la hemólisis no afecta los valores de CK en sangre (Pratt, 1997).

Cuando existe alguna afección que produzca una falta del oxígeno, y en última instancia, la degeneración de una porción localizada del músculo cardíaco (infarto cardíaco) como la oclusión de una arteria por depósitos grasos, hace que la CK pase de las células cardíacas lesionadas al torrente sanguíneo, lo que traería como consecuencia un aumento de la concentración sanguínea de creatincinasa, cuyos niveles séricos de concentración pueden proporcionar datos sobre la gravedad y estado de la lesión. La CK es la primera enzima cardíaca que aparece en la sangre después de un ataque al corazón; también desaparece muy rápido de la sangre (Lehninger, 1995).

La creatincinasa es producida por un incremento progresivo por largas jornadas de viaje; la creatincinasa, urea, albúmina y niveles de osmolaridad, se recobran más lentamente después de periodos prolongados de viaje (Warris *et al.*, 1995).

Oliver *et al.* (1994), encontraron que existe una relación entre los parámetros bioquímicos (cortisol, CK y lactato) al momento del desangrado y los

daños encontrados en la piel de la canal. Algunas enzimas celulares como la lactato deshidrogenasa (LDH) y la creatincinasa se filtran a la sangre como resultado de daño tisular o por esfuerzo muscular (Pollard *et al.*, 2002). La media de los valores de cortisol, CPK y lactato fue significativamente más alta en las animales con daños de piel moderados y severos, que en las que no tuvieron daño alguno en la piel. Estos daños reflejan por un lado la lucha entre animales y por otro, el maltrato recibido por parte de las personas que manejan a los cerdos (Buxadé, 1999). Por su parte Warriss *et al.* (1994), descubrieron que el nivel sonoro de cerdos chillando en un matadero comercial está altamente correlacionado con las mediciones de CPK (Grandin, 1997). Aparte se ha observado que los niveles de CK se ven aumentados cuando existe una deficiencia de vitamina E y/o selenio en cerdos (Kaneko *et al.*, 1997). Estos niveles son más altos en porcinos susceptibles a estrés (nn) y se consideran útiles para la identificación de dicha susceptibilidad. Las diferencias del nivel sérico de creatincinasa entre el gen heterocigoto y el gen negativo (NN) no son significativas. Esta prueba puede utilizarse como criterio selectivo para estimar la resistencia al estrés y la calidad de la carne, ya que los cerdos susceptibles al estrés poseen mayor cantidad de niveles séricos de CK que los cerdos resistentes al estrés, antes y después de un estímulo estresante. Se ha observado un incremento de las enzimas séricas durante el periodo del transporte de la granja al matadero (Hallberg *et al.*, 1983; Blood *et al.*, 1986; Duthie *et al.*, 1988; Thoren, 1991), aunque por otro lado, los niveles de CK no se encuentran elevados en todos los cerdos que presentan carne PSE (Blood *et al.*, 1986).

#### **2.1.4 Lactato post-estrés**

El estrés durante el transporte se ha reportado como un factor que eleva el nivel de glucosa en plasma y que se ve influenciado en la destrucción de glicógeno (Kannan *et al.*, 2000).

La disminución del pH es determinada por las condiciones fisiológicas de los músculos y por el tiempo de exposición, y esto puede ser relacionado con la producción de lactato, para ser más específicos, la capacidad del músculo para

producir energía en forma de ATP a partir de la glucólisis aeróbica (Newel *et al.*, 1993); esto varía por el tipo y el tiempo que se somete al animal a periodos de estrés antes del sacrificio (Henckel *et al.*, 2000; Immonen *et al.*, 2000).

En periodos de ayuno, los ácidos grasos se constituyen como una fuente única de energía. La oxidación de los ácidos grasos se da por medio de la beta oxidación (Henckel *et al.*, 2000), donde se oxidan carbonos para obtener una *beta-oxacidae*. Esto se incorpora al ciclo de los ácidos tricarbónicos y la oxidación se da en las mitocondrias, donde la glucólisis aeróbica además de generar ATP en las mitocondrias por la respiración y la fosforilación oxidativa, causa una gran formación de ATP por la glucólisis en la membrana extramitocondrial, dando como resultado la producción de ácido láctico (Lehninger, 2005).

La elevada demanda de energía excede la capacidad aeróbica de las células musculares y por una gran fracción de ATP requerido para el metabolismo aeróbico, la interrupción anaerobia del glicógeno conduce a una acumulación intracelular de los ácidos orgánicos, en mayor proporción al lactato. Los iones del lactato tienen poco efecto en la contracción muscular; sin embargo, aumentan el pH, el cual provoca la fatiga muscular. Otro mecanismo que ocurre por la acidosis muscular es que puede inducir a la fatiga muscular por medio de la inhibición del metabolismo energético (Westerblad *et al.*, 2002).

La composición química del trabajo muscular cambia drásticamente durante las condiciones anaerobias en la formación de ATP por las elevadas tasas de glucólisis y el agotamiento de CK (Walsh *et al.*, 2002); la velocidad de la glucólisis, ajusta el ritmo de utilización del piruvato por el ciclo de los ácidos tricarbónicos (Lehninger, 2005).

Este desequilibrio metabólico consiste en la utilización de una gran cantidad de glucosa sanguínea y en la liberación de grandes cantidades de lactato en sangre. Este lactato es reciclado en el hígado y se transforma en

glucosa sanguínea por el proceso de gluconeogénesis (Lehninger, 2005). El incremento de las concentraciones de lactato circulatorio ocurre porque el ritmo de producción de lactatos, es más grande que el de adquisición de lactatos por el músculo esquelético y el hígado (Apple *et al.*, 1995).

El lactato es un intermediario metabólico que aumenta durante el ejercicio de alta intensidad, como consecuencia de una actividad glicolítica elevada. En esas condiciones la formación de ATP se asocia con generación de iones lactato e H<sup>+</sup> y se reduce el pH de la célula activa. Si hay fatiga, el aumento en los niveles de lactato se correlaciona con la magnitud en la caída de la fuerza y los niveles de lactato alcanzados a un determinado nivel de actividad dependen del tipo de la fibra muscular. La salida de lactato de la fibra ocurre principalmente por tres mecanismos, de los cuales el más importante es el co-transporte acoplado de lactato-H<sup>+</sup>, cuya actividad depende del tipo de fibra y del patrón de activación así como del pH y de la concentración del amortiguador (*buffer*) externos. De los varios factores responsables de la fatiga muscular, la disminución de pH se ha señalado como uno de los más importantes. No obstante, a pesar de la relación entre fatiga muscular y disminución de pH, esta no parece ser suficiente para explicar el grado de reducción de la fuerza durante la fatiga. Recientemente se han realizado experimentos que muestran un efecto inhibitor del lactato sobre el canal de liberación de calcio del retículo sarcoplásmico, lo que sugiere fuertemente que el lactato *per se*, y no necesariamente el cambio de pH asociado, puede jugar un papel importante en el mecanismo de la fatiga. Asimismo, el aumento de lactato podría jugar un papel protector de la fibra durante la fatiga, mediante la activación de los canales de K<sup>+</sup> sensibles a ATP. El músculo produce y consume lactato y al aumentar sus niveles en la sangre, este ion lo pueden capturar y utilizar los músculos inactivos y también otros tejidos (Giraldo *et al.*, 1998).

## 2.2 Transporte

El transporte de los cerdos al centro de sacrificio es un tema que involucra la participación de todos los agentes productivos del sector e implica importantes

connotaciones económicas, considerando el volumen de cerdos sacrificados anualmente. El transporte y la manipulación asociados puede causar importantes pérdidas a la industria del ganado (Grandin, 2000). Aunado a lo anterior, la preocupación social acerca de las consecuencias del transporte sobre el bienestar de los animales ha aumentado paulatinamente durante las últimas décadas, especialmente a raíz de los tratados de libre comercio entre regiones.

### 2.2.1 El estrés del transporte

Existe una amplia bibliografía sobre el efecto estresante del transporte previo al sacrificio de los cerdos; las primeras investigaciones fueron realizadas por Hails (1978). El conocimiento de la influencia del transporte sobre la calidad de la carne fue resumida por Warriss (1987) y Tarrant (1989), y tanto los aspectos de bienestar y la calidad, por Lambooy y van Putten (1993), Bradshaw *et al.* (1996), Fábrega *et al.* (2002), Pérez *et al.* (2002) y Mota-Rojas *et al.* (2006), entre otros. En tanto que las recomendaciones y directrices para el manejo de los cerdos *ante mortem*, incluida la de transporte, se mencionan en las recopilaciones de Warriss (1994, 1995), von Borell y Schäffer (2005) y Gregory (2008). Sin embargo, para el caso de Latinoamérica, y México en particular, son escasos los trabajos al respecto (Becerril-Herrera *et al.*, 2007).

El transporte de cerdos es un proceso inherentemente estresante. Se pueden identificar evidentes tensiones físicas tales como condiciones ambientales (temperaturas extremas, cambios bruscos en la velocidad del aire y humedad relativa); características del vehículo (vibraciones y cambios en la aceleración, el ruido, densidad de carga y el hacinamiento de los animales) (Dantzer y Morméde, 1984; Warriss, 1998); aunado a la presencia de tensiones psicológicas, como la mezcla de animales desconocidos, o presencia de olores desconocidos, nuevos entornos, el hambre, la sed, y la fatiga. Se ha observado que el manejo y transporte causan deshidratación (Schaefer *et al.*, 1997; Brown *et al.*, 1999; Tadich *et al.*, 2000); esto es claramente un resultado lógico de factores como privación del agua, pérdidas de líquido en forma de orina, excesiva sudoración de los animales, con incremento en la frecuencia respiratoria. De igual forma se da la

presencia de problemas de traumatismos, pérdidas de peso, hematomas e inclusive la muerte (González-Lozano, 2004; Mota-Rojas *et al.*, 2005a; Mota-Rojas *et al.*, 2005b). Por si fuera poco, también intervienen factores como el genotipo y su susceptibilidad al estrés.

Evidentemente el bienestar animal se verá influido por la combinación de la magnitud de todos estos factores y por la duración del viaje. Al respecto, habrá que tomar en cuenta toda la información inherente a la jornada de transporte; así por ejemplo, se ha señalado que un viaje corto en malas condiciones puede afectar en mayor escala el bienestar del animal que incluso un viaje prolongado en buenas condiciones (Warriss, 1998).

El efecto de las condiciones climáticas durante el transporte de los cerdos se ha estudiado, aunque con resultados contradictorios. Algunos autores encontraron que el frío y el estrés térmico puede tener un efecto negativo sobre la calidad de la carne (O'Neill *et al.*, 2003; Guardia *et al.*, 2004, 2005; dalla Costa *et al.*, 2006), y que las altas temperaturas incrementan la mortalidad durante el transporte (Smith y Allen, 1976; Abbott *et al.*, 1995; Vecerek *et al.*, 2006), aunque otros investigadores no encontraron esa diferencia (Palacio *et al.*, 1996; Gosálvez *et al.*, 2006), observando una mayor incidencia de hematomas en la piel de los animales transportados en invierno (dalla Costa *et al.*, 2006).

Si bien actualmente se han disminuido o eliminado algunos de los estresores del transporte, no se han podido controlar en su totalidad debido principalmente a los costos económicos que generan. Un ejemplo de ello es la densidad de población en tránsito: entre mayor sea la densidad de carga (mayor cantidad de animales en el vehículo), menor será el costo unitario, situación de la cual se aprovechan muchos transportistas en Latinoamérica. Sin embargo, hay que recordar que la mayor densidad está asociada con una mayor evidencia de estrés físico y mayor mortalidad (Lendfers, 1971).

Tradicionalmente el estrés se mide a través de las concentraciones plasmáticas de cortisol o catecolaminas (Foury *et al.*, 2005); sin embargo, el cortisol varía mucho y su vida media es muy corta, de ahí que haya resultados contradictorios. Actualmente, otros indicadores de estrés consisten en la evaluación del volumen del paquete celular, cuenta leucocitaria, concentración de glucosa, lactato y cuerpos cetónicos, o bien, a través de la actividad enzimática (CPK, LDH, AST, ALT) o la presencia de proteínas de fase aguda de los animales en tránsito.

### **2.2.2 Respuesta fisiológica del cerdo al estrés originado por el transporte**

El cerdo es muy sensible al estrés; no obstante, es capaz de adaptarse a situaciones nuevas que impliquen esfuerzo extra, como por ejemplo durante el transporte realizado en malas condiciones. Entre las respuestas fisiológicas de adaptación sobresale el aumento en la secreción de catecolaminas, lo que da lugar a un aumento del gasto cardíaco, del consumo de oxígeno y de la temperatura corporal; disminución del pH, acumulación de ácido láctico (Hambrecht *et al.*, 2003, 2004), y aumento de la gluconeogénesis, con lo que se incrementa el metabolismo basal (Mota-Rojas *et al.*, 2005, 2006). Todo esto conduce a una pérdida de peso y a una canal de mala calidad (Cárdenas *et al.*, 1987). Otros agentes que pueden alterar el perfil metabólico y ocasionar desajustes ácido-base y repercutir sobre la calidad de la carne, son la genética del animal, el estrés social, la estimulación eléctrica, el estrés calórico, y la privación de agua y alimento (Dantzer, 1982; McGlone *et al.*, 1993; Shaw y Trout, 1995; Bradshaw *et al.*, 1996; Chevillon, 2000).

El estrés psicológico promueve la liberación de corticoides de la corteza suprarrenal. Varios estudios han reportado incrementos de los niveles de cortisol en cerdos transportados (Dantzer 1982; Spencer *et al.*, 1984; Becker *et al.*, 1985; Nyberg *et al.*, 1988; McGlone *et al.*, 1993; Bradshaw *et al.* 1996), o la correspondiente disminución en los niveles de ácido ascórbico suprarrenal (Warriss *et al.*, 1983).

McGlone *et al.* (1993) encontraron que en cerdos transportados por 4 h, la pérdida individual de peso se correlacionó negativamente con la concentración de cortisol en sangre. En otras palabras, los cerdos que tuvieron una mayor respuesta adrenal al transporte también perdieron más peso. Resulta difícil poder diferenciar las pérdidas de peso causadas por el transporte, de los efectos de la privación de alimentos y agua durante el viaje. Sin embargo, Warriss *et al.* (1983) han señalado en cerdos sin ayuno, pérdidas de peso del 0.6% después de 1 h de transporte y 2.3% después de 6 h.

Las pérdidas en el peso vivo, reflejan la pérdida de orina y las heces en lugar de tejido corporal. El rendimiento en canal es el mejor indicador de las pérdidas de sustancia corporal del animal. El rendimiento en canal se redujo significativamente en un 2.1% en el grupo de animales transportados por 6 h, en comparación con los rendimientos de los cerdos del grupo control que no se transportaron. Parte de esta reducción puede haber sido causada por la deshidratación, ya que posterior al transporte los animales bebieron más agua en los corrales de espera y había una mayor concentración de proteínas plasmáticas totales en las muestras de sangre al momento del sacrificio (Warriss, 1998).

Lambooy *et al.* (1985) señalan en cerdos transportados por 44 h, una reducción en el contenido de agua de la grasa subcutánea en la parte posterior y sugieren que los cerdos metabolizaron el agua para compensar la reducción de la ingesta durante el transporte. El transporte también condujo a un aumento de volumen celular (PCV), y altas concentraciones de glicerol y cuerpos cetónicos en la sangre, en tanto que la gravedad específica de la orina y el aumento de niveles de glucosa en sangre se disminuyeron. Los cambios en la composición de la grasa dorsal, PCV y densidad de la orina, apoyaron la hipótesis de que los animales se iban deshidratando progresivamente durante el viaje. Los cambios en la concentración de glicerol, glucosa y cuerpos cetónicos indican que los cerdos se ven obligados a movilizar las grasas para abastecer las necesidades metabólicas.

Respecto a las proteínas de fase aguda, éstas son proteínas que modifican su concentración en respuesta a la inflamación causada por daño tisular, infecciones, desordenes inmunológicos o estrés (Murata *et al.*, 2004). Su síntesis ocurre principalmente en el hígado y es mediada por citocinas pro-inflamatorias. Recientemente, Piñeiro *et al.* (2007) observaron un aumento del 15% en la concentración total de proteínas en cerdos transportados durante 24 h.

Además del transporte en si, la carga y descarga son a menudo episodios de estrés para los cerdos, en particular cuando el manejo es deficiente. Las rampas de carga que son demasiado empinadas ( $> 20^\circ$  con la horizontal) son un claro ejemplo de estas deficiencias (Warriss *et al.*, 1991). Van Putten y Elshof (1978) observaron incrementos de la frecuencia cardiaca en la mayor medida en que los cerdos eran sometidos a diferentes procedimientos de simulación de la práctica comercial. A menudo se han reportado fluctuaciones en la frecuencia cardiaca, es decir incrementos al momento del embarque, descenso gradual durante el transporte y un nuevo incremento al momento de la descarga (Augustini y Fischer, 1982; Barton Gade y Christensen, 1996).

Desafortunadamente, en los países latinoamericanos, las malas prácticas de manejo al embarcar y desembarcar, aunadas a diseños inadecuados o pobre mantenimiento de las instalaciones y de los vehículos de carga, contribuyen a estresar a los animales de abasto. Adicionalmente, los retrasos por condiciones climáticas desfavorables (calor, lluvia y tormentas) y la mala condición de los caminos, incrementan el tiempo de tránsito (Gallo, 2008) con las consecuencias ya señaladas.

La genética de los animales también contribuye agravando los efectos negativos del transporte. Está bien documentado que los cerdos portadores del gen halotano son más sensibles a una situación estresante como el transporte (Rundgren *et al.*, 1990; Geers *et al.*, 1994) y tanto su bienestar como la calidad de la carne serán afectadas (Gispert *et al.*, 2000; Fábrega *et al.*, 2002, 2004, Pérez *et al.*, 2002). Este efecto negativo no sólo se ha informado en cerdos homocigotos

positivos (nn), sino también para los individuos portadores (Nn) en comparación con los cerdos no enfermos (NN) (Murray y Johnson, 1998).

Los efectos del transporte sobre la calidad de la carne han sido investigados por numerosos autores y revisados por Warriss (1987) y Rosenvold y Anderssen (2003). Los resultados dependen en gran medida de la susceptibilidad de los cerdos al estrés. El estrés asociado con trayectos muy cortos, puede incluso aumentar la incidencia de la carne PSE en cerdos muy susceptibles al estrés, pero en genotipos más resistentes pueden mostrar poco o ningún efecto de transporte para distancias moderadas en buenas condiciones. Sin embargo, todos los cerdos muestran evidencias de agotamiento de glucógeno muscular después de viajes largos, sobre todo en condiciones adversas, y una mayor incidencia de carne DFD (seca, firme y oscura). Como analogía, en el hombre, el agotamiento de glucógeno muscular se asocia con signología de fatiga (Newsholme *et al.*, 1992). El transporte asociado con el aumento de los niveles de DFD (*dry, firm & dark*, por sus siglas en inglés; seca, firme y oscura), por lo tanto, podría reflejar una mayor fatiga en los animales. Por ejemplo, Malmfors (1982) observó que la incidencia de DFD se duplicó en los transportes prolongados (superior a 90 km) en comparación con los trayectos cortos (menos de 35 km).

### **2.3 Bienestar animal y transporte al rastro**

La comercialización del ganado y el bienestar animal hoy en día son asuntos globales que afectan todos los sectores de la industria del ganado, particularmente en lo referente a comercio internacional y a la demanda (Kusina *et al.*, 2003).

En algunos países de Sudamérica, como es el caso de Chile, ya se ha tomado conciencia de los cambios que en pro del bienestar animal y la calidad de la carne, deben realizarse. Esto ha sido logrado gracias al resultado de conferencias, cursos de adiestramiento, material impreso para los productores, transportistas y personal de rastros. A nivel gubernamental existe evidencia científica que muestra que las regulaciones, generalmente basadas en

información de países más desarrollados, necesitan ser complementadas o adaptadas por condiciones locales en cada país. En la mayoría de los países sudamericanos existe una legislación general sobre bienestar animal, pero son pocos los casos basados en estándares de la Organización Mundial de Salud Animal (*World Organization of Animal Health*) o la Organización Internacional de Epizootias (*Office International of Epizoties*), los que incluyen apartados específicos de transporte de los animales (Gallo, 2008). Por otro lado es importante mencionar que el equipo de investigadores de la Dra. Gallo en la Universidad Austral de Chile ha promovido y ha investigado de manera abundante el bienestar animal en diferentes especies; en el aspecto de transporte en ovinos (Tadich *et al.*, 2009; Tarumán *et al.*, 2008; Carter *et al.*, 2008; ); en bienestar del transporte en ganado bovino (Gallo *et al.*, 2003, 2005; Tadich *et al.*, 2003; Amtmann *et al.*, 2006; Arraño *et al.*, 2007; Hettich *et al.*, 2007; Flor *et al.*, 2008; Schettler *et al.*, 2008; Strappini *et al.*, 2009) en peces (Gatica *et al.*, 2008) y en equinos (Cáraves *et al.*, 2007; Werner *et al.*, 2008).

Para el caso de México, se tienen avances importantes, resultando en un proyecto de Iniciativa de Ley General de Bienestar Animal que tendrá que ser discutida por las partes interesadas antes de ser aprobada en la Cámara de Senadores.

Recientemente, el interés se ha centrado en el bienestar de los animales transportados en general, en parte debido a la posibilidad de viajes con mayor duración (sobre todo en exportaciones), con cerca de 7 millones de cerdos que se exportan cada año dentro de la Unión Europea (Christensen *et al.*, 1994). En México prevalece un sistema de comercialización del ganado productor de carne que se inicia con el transporte realizando distancias variables a distintos mataderos, como en el caso del D. F. y Estado de México que reciben animales de abasto de Puebla (12.84%), Jalisco (38.26 %), Guanajuato (19.15%), y otros (29.75%) (Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados, 2003). Por otro lado, existe la importación de cerdos vivos transportados por hasta 27 horas desde los EEUU al centro del país (Becerril-Herrera *et al.*, 2007).

La vigilancia del bienestar animal durante el transporte evita el sufrimiento innecesario durante la carga, descarga, y en general de las etapas de producción y sacrificio (Gallo *et al.*, 2000). Más aún, se señala que el bienestar animal podría ser utilizado como una barrera comercial no arancelaria para la importación de productos pecuarios o de animales que no fueron criados, manejados o sacrificados de acuerdo con estándares apropiados de bienestar (Vanda, 2007). Si el avance se hace en esta área, el bienestar animal deberá ser definido y medido objetivamente (Manteca, 2005). Así mismo, es necesario un concepto de bienestar claramente definido para que pueda aplicarse en mediciones científicas, y usarse en documentos legales y en discusiones públicas (Broom, 2004).

La calidad de vida del animal aumenta al incrementarse o ampliarse la oportunidad de expresar sus comportamientos naturales, lo que implica más que satisfacer sus necesidades fisiológicas y conductuales, y va más allá de la definición negativa de bienestar, como la de Dawkins (1980), quien considera el bienestar animal, como la ausencia de sufrimiento. El sufrimiento ha sido definido por la experta, como una serie de estados emocionales no placenteros que incluyen miedo, frustración y dolor. Sin embargo, estas emociones son difíciles de cuantificar, de ahí que hayan sido señaladas como un tanto subjetivas y se prefieran otros métodos de medición. Hughes (1976) define el bienestar como un estado de completa salud, física y mental donde el animal está en armonía con su ambiente. De acuerdo con Broom (1986), el bienestar animal es el estado de un individuo con relación a sus intentos por afrontar o sobrellevar su ambiente. Esta definición toma en cuenta no sólo cómo el animal puede competir, sino también, cuánto esfuerzo tiene que poner en el intento. Según Webster (1998), el bienestar animal es el estado determinado por la capacidad del animal para evadir estados de sufrimiento y mantener su habilidad inclusiva. Como se puede apreciar hay definiciones que conciben el bienestar como un término absoluto, “existente o ausente”, y quienes lo definen como un término relativo “estado”. Actualmente, la definición acuñada por el gremio veterinario en nuestro país es “el estado en que un animal tiene satisfechas sus necesidades fisiológicas básicas, de salud y de comportamiento, frente a los cambios en su ambiente”.

Independientemente de la definición que se adopte, es esencial que el concepto bienestar animal sea definido de una manera que permita su medición (Broom, 2004). Las mediciones son generalmente de tipo fisiológico o conductual. Así por ejemplo, el análisis de los niveles de glucocorticoides en plasma resulta ser un indicador útil del bienestar animal de individuos sometidos a procedimientos de corto plazo, tales como el manejo y transporte (Fraser y Broom, 1990). La evaluación del estrés durante el transporte requiere de métodos no invasivos; éstos contrarios a los análisis tradicionales, se basan en la colecta de la muestra con baja interferencia humana (e.g. colección de la sangre y monitores del ritmo cardíaco); sin embargo, estos métodos pueden alterar indirectamente la respuesta del estrés. Los dispositivos telemétricos para medir frecuencia respiratoria y cardíaca, temperatura corporal y presión arterial, son herramientas útiles para obtener respuestas imperturbadas. Recientemente, se han desarrollado y validado medidas no invasivas del estrés, a través de los metabolitos en saliva, heces u orina (von Borell y Schäffer, 2005).

El bienestar animal durante el transporte y sacrificio debe medirse usando una variedad de parámetros, incluyendo la tasa de mortalidad, heridas, calidad de la carne, cambios en el comportamiento y valores fisiológicos (Warriss, 1998), así como actividad del encéfalo (en caso de aturdimiento) (Manteca, 2005). Broom (2005) a su vez, profundiza el concepto anterior de bienestar animal considerando el grado de fracaso en una competencia y la facilidad o dificultad de la misma. Considera también que la salud es un componente importante del bienestar, mientras que las emociones como el dolor, el miedo y varias formas de placer, son componentes de los mecanismos para intentar competir, y por ello deben considerarse, cuando sea posible, en una evaluación del bienestar.

El bienestar de los animales es importante también desde el punto de vista económico. El manejo cuidadoso y callado de los animales, por personas entrenadas, haciendo uso de instalaciones adecuadas para los animales, reduce los golpes y ayuda a mantener la calidad de la carne (Grandin, 2004). Esto es importante, no solo desde el punto de vista del bienestar animal, sino desde el

económico; la industria de cerdos en los EEUU pierde \$0.34 dólares por cerdo debido a la carne tipo PSE, y \$0.08 por cerdo, debido a los golpes (NPPC, 1994; citado por Grandin, 1996), llegando a pérdidas por decomiso de animales traumatizados, de \$12.50 dólares (Morgan y Smith, 1995). Por otro lado, se ha señalado que la muerte en tránsito, para el caso del Reino Unido, representa 10,500 cerdos al año (Warris y Brown, 1994). Es importante que se tome en cuenta mejorar las condiciones de los animales durante el transporte; indirectamente, al mejorar el bienestar animal, también mejorará la seguridad de los empleados debido a que el ganado que es tranquilo, es menos probable que lesione a los operarios (Grandin, 1996).

Tanto las leyes como los códigos de práctica pueden tener un gran impacto en la forma en la que la gente maneja a los animales, y por ende, sobre el bienestar de los animales durante el transporte. Para generar guías que puedan usarse para prevenir o minimizar el bienestar deficiente en animales durante el transporte, es necesario estar conciente del funcionamiento biológico de los animales, y las actitudes o acciones de las personas involucradas en el proceso de manejo y transporte; para lo cual, Broom (2005) ha creado una guía completa para las personas involucradas y los pasos a seguir para el bienestar de los animales durante el transporte.

### **2.3.1 Bienestar antes del transporte**

El transporte de los animales debe planearse, esto implica preparar a los animales antes del viaje, escoger la mejor ruta de transporte, naturaleza y duración del viaje, diseño y mantenimiento del vehículo, tramitar los documentos necesarios, proporcionar el espacio permitido, reposo, agua y alimento, y la observación de los animales durante la ruta a seguir, control de enfermedades y los pasos a seguir en caso de una emergencia. Por otro lado, es importante inspeccionar a los animales que serán transportados para asegurar que los animales no aptos y probables a transmitir enfermedades, no sean transportados (Broom, 2005). Así por ejemplo, se sabe de la diseminación de *Salmonella* por cerdos durante el transporte y en los corrales de espera (Hurd *et al.*, 2002).

Durante el transporte pueden registrarse notables mermas en el peso final de la canal (Prändl *et al.*, 1994). Las alteraciones en el transporte, carga y descarga traen como consecuencia pérdidas de peso del animal, del orden del 2 al 7%, lo que determina una reducción en el aprovechamiento del producto final. Schaefer *et al.* (1997), determinaron que una carencia de alimento y agua reduce el peso vivo en los animales, y esta pérdida es por heces del llenado en tracto gastrointestinal, orina y deshidratación, que también causan una reducción en el peso de la canal.

### **2.3.2 Bienestar durante el transporte**

Debido a su naturaleza temperamental, el cerdo es una especie susceptible al estrés, incluso con el disturbio más leve (Kusina *et al.*, 2003). Los problemas del bienestar durante el transporte se relacionan con la naturaleza del estrés agudo y crónico. Webster (1994), resume las causas de estrés durante el transporte en: 1) miedo y dolor asociado al manejo y mezcla de animales, 2) la temperatura o el movimiento durante el viaje, 3) hambre, sed y agotamiento, y 4) malestar causado por procesos infecciosos.

Por otro lado, la experiencia práctica demuestra que las causas más comunes de lesiones, muertes y golpes durante el transporte, son el manejo brusco y la sobrecarga de los camiones (Grandin, 2004). De ahí que la forma cómo se maneja un vehículo tiene efectos sobre el bienestar de los animales que son transportados. Cuando los operarios se suben a un vehículo, por lo regular van sentados o asidos de un pasamano; en los animales sucede algo similar, los animales que se sostienen sobre sus cuatro patas son menos capaces de enfrentar perturbaciones como aquellas causadas por el desequilibrio alrededor de las esquinas o freno repentino (Broom, 2005). Si un camión es sobrecargado y un animal se llega a caer le puede resultar imposible levantarse (Grandin, 2004).

La presencia de golpes en los cerdos indica que los animales se sometieron a procesos estresantes en un cierto punto a lo largo de la cadena de

producción-transporte-comercialización, lo que sugiere que el bienestar estuvo comprometido.

#### **2.3.4 Densidad de carga**

La carga previa al transporte, es quizás el evento más estresante cuando se transporta animales (Bradshaw *et al.*, 1996b); de igual forma, el espacio que ocupan los animales durante el transporte. Warriss (1998), asegura que el espacio mínimo requerido para cerdos de engorda, de 90 a 100 kg de peso vivo, es de 250 kg/m<sup>2</sup>; este dato sin embargo no se aplica para cerdos muy pequeños o muy grandes. Una densidad de carga de 322 kg/m<sup>2</sup> conduce a una clara evidencia de estrés físico, y el espacio es insuficiente para que todos los cerdos se acuesten al mismo tiempo.

Durante viajes largos ( $\geq 25$  h), la calidad de la carne se reduce a consecuencia de densidades de carga elevadas ( $> 322$  kg/m<sup>2</sup>), lo que implica agotamiento del glucógeno muscular y posible fatiga. Las densidades altas también se asocian con alta mortalidad. En camiones de tres pisos, la altura entre pisos tiende a ser reducida y puede ser tan corta como de 90 cm Warriss (1998).

Se recomienda que la temperatura del vehículo no exceda los 30°C para no desestabilizar la zona termoneutral; sin embargo, esto es difícil de controlar. En un día caluroso, la temperatura en el vehículo puede incrementarse hasta niveles mortales en menos de 30 min. En días calientes y húmedos, los cerdos deben transportarse ya sea por la noche, o muy temprano en la mañana. Grandin (2004), la experta mundial en diseñar las directrices que deben emplearse en la movilización y transporte de animales, ha señalado que la combinación de alta temperatura con alta humedad es especialmente peligrosa para los cerdos. De acuerdo con Grandin (1994), factores como transporte durante el verano ( $>30$  min), hacinamiento de animales, y la mezcla de cerdos de distintas procedencias, producen un incremento en la incidencia de carne PSE, por lo que recomienda que los animales de un peso alrededor de los 100 kg deben disponer de al menos 0.35 m<sup>2</sup> durante el transporte.

Guise *et al.* (1998), y Gade y Christianson (1998; citados por Sears, 2003), encontraron que cerdos de 100 kg permanecen parados durante viajes cortos de 1 ½ h a 3 h. Gade y Christiansen (1998; citado por Sears, 2003) mencionan que en clima moderado en Dinamarca, proveer espacio adicional en viajes cortos, no resultó en una disminución de los daños en la piel ni en los indicadores de estrés de la sangre, tales como CPK, lactato y cortisol. En viajes más largos o durante temperaturas muy calurosas, los cerdos necesitarán más espacio para poder acostarse sin que tengan que yacer unos sobre otros.

Lee *et al.* (2004), estudiaron 57 cerdas nulíparas y 57 cerdos castrados de aproximadamente 110 kg; los asignaron en 6 grupos de acuerdo a un diseño con arreglo factorial de 3 (densidad de carga: alta, 0.31; mediana, 0.35 y baja, 0.39 m<sup>2</sup>/100 kg) x 2 (1 h vs. 3 h de transporte). Las concentraciones de lactato deshidrogenasa fueron menores en la densidad de carga baja, comparadas con la mediana o alta. La incidencia de canales PSE fue mucho mayor en los grupos con alta densidad de carga animal. Así mismo, la incidencia de PSE aumentó en el transporte de 3 h vs. 1 h en la densidad baja pero no en la media. De ahí que la densidad media de carga animal podría ser preferible sobre la de baja densidad en transportes de distancias largas.

El espacio adicional para los cerdos durante el transporte mejora el bienestar animal, sin afectar considerablemente la calidad de la canal. Un incremento en el espacio durante el transporte promueve una baja incidencia de carne pálida. Sin embargo, en algunos países, principalmente en vías de desarrollo, la calidad final de la carne no es el criterio de selección pues no hay un beneficio económico que motive dicha práctica (Becerril-Herrera *et al.*, 2007).

### **2.3.5 Comportamiento durante el transporte**

El conocimiento del comportamiento básico y fisiológico de los animales durante transporte, es necesario para definir los requisitos mínimos de espacio y ambiente. La mayoría de los países desarrollados han publicado pautas y leyes para los requisitos mínimos, incluyendo guías sobre el cuidado para los animales

de granja (SCARM, 1998; Code for Recommendation for the Welfare of Pigs, 2003; von Borell y Schäffer, 2005).

Existe evidencia de que el viaje en un vehículo es más estresante que permanecer el mismo tiempo a bordo pero estacionado. Después de un viaje de 25 min o de una espera con el camión estacionado, Geverink *et al.* (1998) informaron que al ser desembarcados, los cerdos que viajaron estaban menos activos y emplearon menos tiempo explorando su ambiente. El cortisol en la saliva fue significativamente más alto en el grupo que fue transportado. Igualmente, los valores de vasopresina-lisina han sido relacionados con malestar durante el transporte, lo que posibilita su inclusión como un indicador de bienestar en cerdos transportados (Bradshaw *et al.*, 1996a).

Respecto a las posturas de los animales, el porcentaje de cerdos que permanecen de pie durante el transporte es menor cuando se manejan densidades bajas ( $0.39 \text{ m}^2/100 \text{ kg PV}$ ), que en altas o medianas (densidad de carga: alta,  $0.31 \text{ m}^2/100 \text{ kg PV}$ ; mediana,  $0.35 \text{ m}^2$ ); lo opuesto se observa en la posición de sentado (Lee *et al.*, 2004).

Grandin (1997), señala que hacia el final de un viaje largo por carretera, los animales tienden a echarse durante las últimas horas de viaje bajo cualquier densidad de carga, lo que coincide con resultados recientes de Mota-Rojas *et al.* (2006), quienes evaluaron la posición de llegada de tres grupos de cerdos que habían sido transportados por períodos de 8, 16 y 24 h, y observaron que a mayor tiempo de traslado, se aumentó el número de animales que llegaron en posición decúbito ventral, e incluso el número de machos que arribaron en dicha posición fue diferente estadísticamente ( $p < 0.001$ ) al compararse con las hembras transportadas en un mismo período. Así mismo, Gallo *et al.* (2000) señalan que al aumentar las horas de viaje, los animales se cansan y tienden a echarse o están más predispuestos a sufrir caídas. De ahí la importancia de realizar observaciones del comportamiento detalladas por video grabación, que combinadas con parámetros fisiológicos del estrés, faciliten la interpretación de

los resultados en las diferentes condiciones específicas de transporte de animales.

### **2.3.6 Posición social**

La posición social de un animal dentro de un grupo también puede afectar los niveles de estrés. McGlone *et al.* (1993), observaron que los cerdos sumisos se estresaron más en un periodo de transporte de 4 h que los dominantes. Los cerdos que son tomados de diferentes grupos sociales de la misma o diferente granja, y se mezclan con extraños justo antes del transporte, presentan mayor riesgo de un comportamiento de amenaza o pelea; sin embargo, los cerdos en general no pelean durante el transporte, principalmente establecen dominancia social en el orden que toman lugar en los corrales pre-sacrificio (Geverink *et al.*, 1996). Los individuos en grupos mezclados luchan con frecuencia para establecer nuevas jerarquías de dominancia, lo cual origina laceraciones de la piel, de vez en cuando severas, particularmente en la región del hombro (Warriss, 1998). El problema en términos económicos y de bienestar algunas veces es muy severo, pero se resuelve manteniendo los animales en grupos con individuos familiares en vez de mezclarlos con extraños (Broom, 2005).

El agotamiento del glucógeno asociado con las amenazas, las peleas o la monta, que se presentan al desembarque de animales, por lo regular resulta en carne DFD, y los daños como los golpes, se asocian a bienestar pobre (Grandin, 1997). Las principales causas a nivel mundial para castigar las canales porcinas incluyen la contusión, enfermedad y la carne PSE. Los daños en las canales resultan en pérdida de peso y valor comercial, lo que afecta negativamente las ganancias de los productores, e incrementa los costos fijos para el matadero (Kusina *et al.*, 2003).

El análisis de las proteínas de fase aguda de las muestras de la sangre de los animales en la granja antes del transporte, así como en el matadero, se ha relacionado con las lesiones y el estrés causados por el manejo, transporte y la duración del mismo (Saco *et al.*, 2003).

Shea-More (1998) encontró que los cerdos con muy poca grasa eran más temerosos y exploraban menos un área abierta, que los cerdos de línea pesada. Los cerdos de líneas magras también se peleaban más después de mezclarse (Buss y Shea-Moore, 1999).

Con respecto al tiempo de ayuno previo al transporte, De Smet *et al.* (1996) reportaron que el ayuno previo al sacrificio puede reducir la cantidad de glucógeno muscular presente en el músculo esquelético, debido a que es movilizado con fines energéticos durante ese periodo. El ayuno prolongado también puede implicar disminuciones del rendimiento en canal ya que puede estar influenciado por el tiempo de transporte y espera en el rastro.

### **2.3.7 Vibración del vehículo**

La vibración en un vehículo es molesta para los cerdos y éstos vomitarán durante el transporte (Bradshaw *et al.*, 1996a). La vibración puede ser más adversa que el ruido (Stephens *et al.*, 1985). Perremans *et al.* (2001) observaron que las vibraciones de baja frecuencia, de 2 a 4 Hz son más estresantes que las de 8 a 18 Hz, dado que los animales con las vibraciones de baja frecuencia tuvieron 10 veces menos tiempo para acostarse. En un trabajo previo, Perremans *et al.* (1998), recomiendan evitar vibraciones de baja frecuencia y aceleraciones altas ya que aumentan la frecuencia cardíaca de los animales durante el transporte. El estrés por vibración se reduce a medida que se utilizan más vehículos con suspensión neumática.

En una investigación realizada por Peeters *et al.* (2005), compararon el efecto de suplementar Mg, triptofano, vitamina E y vitamina C, ante una simulación de transporte. Sometieron a un total de 126 cerdos a vibraciones en un simulador de transporte (8 hz, 3 m/s) por 2 h, y se les dejó descansar por el mismo tiempo; las concentraciones de cortisol salival (tomadas antes y después de las vibraciones y después de su recuperación) de los cochinos suplementados con vitamina E, fueron menores, aunado a una menor concentración de lactato antes de las vibraciones. La concentración estable del lactato y la creatina-cinasa

con el suplemento de vitamina E, fue muy evidente mientras que otros tratamientos disminuyeron el lactato por lo menos 4 mg/dl, o aumentaron la creatincinasa por lo menos 500 IU/L. Hubo una relación entre la fuga de la creatincinasa y el daño de la membrana del tejido muscular, por lo que se señala que la vitamina E estabiliza la membrana especialmente durante las situaciones de estrés.

### **2.3.8 Duración del transporte**

La duración del transporte también afecta el bienestar de los cerdos (Hambrech *et al.*, 2005). Animales transportados por menos de 100 km de distancia, exhibieron más contusiones en comparación con los transportados >100 km; a pesar de esta observación, la anomalía se puede atribuir a las diferencias en el manejo de los cerdos en las diversas granjas (Kusina *et al.*, 2003).

Como ya se ha señalado, el estrés durante el transporte afecta la calidad de la canal de los cerdos al mercado, de ahí que las concentraciones de glucosa en sangre, CK y LDH son buenos indicadores del estrés al transporte (Lee *et al.*, 2004). Abraham *et al.* (2005), analizaron los niveles de cortisol plasmático de cerdos libres del gen halotano, y hallaron que aumentó significativamente ( $p < 0.001$ ) como un efecto del transporte. También aumentaron los valores de ácidos grasos no esterificados ( $p < 0.001$ ), glucosa ( $p < 0.001$ ) y ácido láctico ( $p < 0.01$ ). En ambos grupos de 1 y 16 h de espera, los cerdos aumentaron sus niveles de ácido láctico, glucosa y ácido ascórbico. Con respecto a la calidad, encontraron diferencias significativas en el pH 45 ( $p < 0.001$ ) y temperatura interna ( $p < 0.05$ ).

#### **2.3.8.1 Transporte corto**

Hambrech *et al.* (2005), indican que el transporte corto (50 min) incrementa el cortisol en cerdos libres del gen halotano, cuando va seguido de un periodo corto (< 45 min) en los corrales de espera al rastro (transporte X corrales de espera,  $p < 0.01$ ). El estrés agudo del transporte corto disminuyó ( $p < 0.001$ ) el

potencial glicolítico del músculo y aumentó ( $p < 0.001$ ) el lactato en plasma, cortisol, temperatura del músculo, en tanto que hubo una disminución de los niveles de pH. Por otro lado, el color de la carne no se afectó ( $p > 0.4$ ) por el estrés agudo (Hambrech *et al.*, 2005).

Bradshaw *et al.* (1999), transportaron 50 cerdos en un camión de chasis rígido por un periodo de 4.5 h, los animales tenían un peso promedio de 80 kg en un espacio de 0.49 m<sup>2</sup>, y observaron que 26% de los cerdos vomitaron, 52% presentaron espuma, y 64% una combinación de ambos signos; 13 de los cochinos se clasificaron como pertenecientes a cada uno de los grupos de niveles bajos o altos de hormonas (cortisol, beta-endorfina y LVP). No hubo una relación significativa entre la incidencia del estrés causado al transporte y las concentraciones altas o bajas de hormonas. 34% de los cerdos mostraron carne PSD en el músculo *Longissimus dorsi*, 24% con DFD en uno o más músculos (*m. Longissimus dorsi*, *m. Semimembranosus*, *m. Adductor*), y cuatro de ellos presentaron DFD en más de un músculo. No hubo correlación significativa entre la calidad y la concentración de cortisol en plasma.

#### **2.3.8.2 Transporte largo**

De acuerdo con Hambrech *et al.* (2005), los transportes prolongados (3 h), incrementan el potencial glicolítico del músculo ( $P = 0.06$ ) y la conductividad eléctrica ( $p = 0.08$ ). Las concentraciones de CK y LDH fueron mayores en los grupos de transporte de 3 h vs. 1 h (Lee *et al.*, 2004). Leheska *et al.* (2002) concluyeron que los tiempos de transporte prolongado, reducen la presencia de PSE y mejoran la calidad de la carne, al ser comparados con viajes cortos de 30 min. También encontraron que ayunos de 48 h mejoran la calidad del cerdo.

Para medir el cortisol, Bradshaw *et al.* (1996b) utilizaron cerdos de 80 kg transportados en un tráiler para equinos, por un periodo de 1,640 min (8 horas por camino áspero y 8 por camino suave), recorriendo una distancia de 761 km; durante el viaje se les administró paja fresca por las mañanas. La mayor parte del tiempo los puercos permanecieron echados pero en diferentes porcentajes.

Durante el periodo de viaje sinuoso, 67.8% de los animales permanecieron echados, 26% parados y 6% caminando. Durante el periodo de viaje suave hubo más cerdos que permanecieron echados (79.6%), le siguieron los parados (15.2%), y 4.4% caminaron. Todos los animales transportados por el camino sinuoso vomitaron, mientras que tres de cuatro vomitaron cuando viajaron por el camino suave. Los niveles de cortisol que se tomaron al principio y al final de cada viaje fueron: 14.6 (mmol/L), la media para los cochinos que viajaron por el camino áspero, del cual el cerdo con mayor nivel de cortisol fue de 21.4 (mmol/L) y 9 (mmol/L) el menor. La media para los que viajaron por el camino suave fue de 8.5 (mmol/L), en tanto que el grupo control tuvo 2.4 (mmol/L).

Hambrecht *et al.* (2005), utilizaron cochinos libres del gen halotano para evaluar los niveles de cortisol y el lactato en plasma y músculo. La densidad de carga durante el transporte fue de  $0.45\text{m}^2/100\text{ kg PV}$  para todos los puercos. La densidad en los corrales de espera fue de  $0.75\text{ m}^2/100\text{ kg PV}$ . En esta investigación se consideró como óptimos el transporte corto (menor a 45 min), y suave con tres horas en el corral de espera y el menor estrés posible. El cortisol y el lactato aumentaron (77.9 ng/mL y 30.9 mmol/L, respectivamente) por el tratamiento con estresores altos, pero no se afectó con el tipo de transporte o la duración en los corrales de espera en el rastro. Las concentraciones de lactato siempre se mantuvieron elevadas en el plasma de los puercos sujetos a estresores altos pre-sacrificio, comparados con el manejo mínimo de los cerdos; sin embargo los autores no muestran los resultados. A pesar de que el glucógeno del *Longissimus* no se afectó por el transporte largo y accidentado (3 h), las concentraciones de lactato en músculo aumentaron por el transporte más largo y accidentado y como resultado del incremento en el potencial glicolítico. El tratamiento con estresor alto disminuyó el glucógeno del músculo y aumentó las concentraciones de lactato en el *Longissimus*, que se vio reflejado por un descenso del potencial glicolítico. Comparado con los efectos del estrés alto solo, el lactato en plasma, el cortisol y la temperatura en músculo empeoraron, y/o la duración en los corrales de espera disminuyó, lo que resultó en un incremento de la tasa de la acidificación del músculo *post mortem*. De acuerdo con estas

conclusiones, el incremento del lactato en plasma, la temperatura del músculo y la tasa de la glucólisis *post mortem* temprana, se asocian con una disminución de la calidad de la canal cerdo.

### **2.3.9 Regulaciones mexicanas para el transporte del cerdo**

Las leyes y los estatutos pueden tener un gran impacto en el manejo animal y, por lo tanto, en el bienestar animal durante el transporte. Para publicar las pautas que mejoren el bienestar animal durante el transporte, es necesario, como se ha señalado con anterioridad, entender las funciones biológicas de la especie, y las actitudes y los hábitos de la gente implicada en el proceso del manejo y del transporte.

Actualmente, el transporte se considera un factor estresante importante para los animales de granja y puede tener efectos negativos en la salud, bienestar y en última instancia, en la calidad del producto (von Borell y Schäffer, 2005). La legislación actual de la Unión Europea puso en las reglas generales de las guías de buenas prácticas para el transporte internacional de los animales domésticos, al ganado porcino entre otros (Code of Recommendations for the Welfare of Livestock: Pigs, 2003). La mayoría de los países en vías de desarrollo, incluyendo México, consideran necesario que se publiquen leyes de aplicaciones en materia del transporte animal. En México, la Secretaría de la Agricultura, Ganadería y del Desarrollo Rural, con la Dirección Legal General, publicó nuevas regulaciones sobre el transporte animal en la Norma Oficial Mexicana (Reglamento Oficial Mexicano) NOM-024-ZOO-1995: "Especificaciones y características zoosanitarias para el transporte de animales, sus productos y subproductos, productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumos por éstos". Las autoridades mexicanas están muy interesadas en asegurar el transporte apropiado. Hay también esfuerzos realizados por investigadores mexicanos e instituciones educativas, tales como la Universidad Autónoma Metropolitana, clínicas de salud y otros centros e instituciones, en desarrollar y crear acceso a la información que asista en la creación de los procedimientos y las condiciones apropiadas para el transporte animal.

El cuidado animal y el manejo son importantes y deben ser considerados en los reglamentos mexicanos. Las autoridades que publican la ley deben entender que los transportes del ganado y de las aves de corral por periodos prolongados, implican malestar para el animal, y detrimento de la calidad y de la cantidad de la carne. Por lo tanto, los mataderos se deben instalar cerca de los centros de producción animal. Los cambios en los sistemas de producción animal intensivos deben también ser abordados. En México, las iniciativas en el bienestar animal están en camino con una Ley General de Bienestar Animal. Esta ley pretende legislar el bienestar óptimo de los animales; se diseñó para regular el alojamiento, mantenimiento, manejo, uso, explotación, comercialización, transporte, matanza y eutanasia, de los animales vertebrados domésticos y silvestres, independientemente de su especie o función (Vanda, 2007). Una vez que sea aprobada por el Senado Mexicano, se espera que pueda ayudar a sensibilizar y concientizar al público, a los productores, y a las autoridades, acerca del bienestar animal en nuestro país (Mota-Rojas *et al.*, 2006).

#### **2.4 Bienestar del cerdo aturdido eléctricamente *versus* CO<sub>2</sub>**

Mantener un alto estándar de bienestar en los animales durante el transporte y faena de los cerdos, requiere tanto de equipo apropiado así como de la supervisión de los empleados. Se recomienda dejar inconsciente al animal antes de su muerte, con el fin de evitar el dolor, el estrés y la incomodidad del procedimiento (Gracey, 1989; Grandin, 2003). La mayoría de los países desarrollados, y muchos en vías de desarrollo, cuentan con leyes que exigen el aturdimiento anterior al sacrificio (FAO, 2001). El aturdimiento se basa en una perturbación de los sentidos, ocasionado por un golpe u otra causa física o moral.

El sacrificio del porcino se realiza por desangrado en el pecho. La sección de las arterias y venas del tronco braquiocefálico interrumpe el aporte de nutrientes y oxígeno al cerebro, provocando la muerte del animal. Dicha muerte no es inmediata, sino que requiere un periodo de hasta 24 seg. Por lo tanto, un correcto sistema de aturdimiento debe garantizar una inducción rápida de la

inconsciencia, sin causar dolor hasta la muerte del animal (Quiroga y García, 1994).

Un sistema de aturdimiento puede ser reversible o irreversible. En el primer caso, los animales pueden recuperar la sensibilidad antes de que ocurra la muerte. Por tanto, el tiempo transcurrido entre el aturdimiento y el desangrado es un factor determinante de la eficacia del aturdimiento. En los sistemas irreversibles, por el contrario, es el propio aturdimiento el que causa, además de la inconsciencia, la muerte del animal. En este último caso, el sacrificio tiene tan sólo la finalidad de evacuar la sangre de la canal, por lo que su retraso no será crítico desde un punto de vista de bienestar animal (Quiroga y García, 1994, Velarde *et al.*, 2000).

#### **2.4.1 Aturdimiento eléctrico**

Este método consiste en el paso a través del cerebro, de una corriente eléctrica con una intensidad lo suficientemente alta como para provocar una despolarización del sistema nervioso central y una desorganización de la actividad eléctrica normal (Velarde *et al.*, 2000).

Para producir una insensibilidad instantánea, el aturdimiento eléctrico debe inducir un estado epiléptico (Croft, 1952; Warrington, 1974; Hoenderken, 1978, 1983; Lambooij *et al.*, 1996; Gregory, 1998). Hay dos formas básicas de aturdimiento eléctrico: "sólo en la cabeza", en el que las pinzas se colocan a través de la cabeza, y el "ataque cardíaco"; en el que se pasa una corriente a través de ambos, la cabeza y el corazón. El aturdimiento sólo en la cabeza es reversible y el cerdo puede retornar a la sensibilidad a menos que se le desangre rápidamente. El aturdimiento por ataque cardíaco matará a la mayoría de los cerdos deteniendo su corazón. Para inducir epilepsia en los cerdos, el amperaje requerido es de 1.25 Amp (Hoenderken, 1978, 1983). Debe haber de igual forma suficiente voltaje para utilizar la corriente eléctrica necesaria, siendo el mínimo voltaje recomendado de 250 V (Troeger y Woltensdorf, 1989).

Para colocar al cerebro en el camino de la corriente, los electrodos se deben ubicar en la posición correcta (Croft, 1952; Warrington, 1974; Anil y McKinstry, 1998). Si los electrodos se colocan muy atrás en el cuello, habrá un período de insensibilidad más corto (Velarde *et al.*, 2000). Grandin (2001a) ha observado que colocando el electrodo cabeza de un aturdidor por paro cardíaco, muy atrás en el cuello, resulta en el parpadeo de los cerdos. Si se coloca el electrodo en la depresión detrás de la oreja se eliminan los reflejos de los ojos.

Para reducir los derrames de sangre en la piel y en la carne, algunos centros de sacrificio emplean aturdidores de alta frecuencia. Sin embargo, frecuencias tan altas como 2000 a 3000 hz han fallado en inducir la insensibilidad instantánea (Croft, 1952; Warrington, 1974; van der Wal, 1978). Anil y McKinstry (1994) encontraron que la onda sinusoide de 1592 hz o la onda cuadrada de 1642 hz de los aturdidores de "sólo cabeza" a 800 ma, inducen ataques en cerdos pequeños. La principal desventaja es que con frecuencias sobre 50 hz, el retorno a la sensibilidad ocurrirá más rápidamente. Debido al pataleo, el aturdimiento de sólo cabeza con altas frecuencias no es práctico, a menos que se combine con una corriente adicional para detener el corazón. En cambio, el aturdimiento sólo cabeza con 800 hz, en conjunción con una corriente de 50 hz aplicada al cuerpo, resulta efectivo (Lambooj *et al.*, 1996; Berghaus y Troeger, 1998; Wenzlawowicz *et al.*, 1999).

En los EEUU, la mayoría de las plantas aplican una sola corriente que se transmite desde la cabeza al cuerpo. Es importante que se aplique la suficiente corriente para inducir tanto el paro cardíaco como el ataque epiléptico. En animales de desecho se ha observado la aplicación de suficiente corriente para inducir el paro cardíaco, pero sin lograr la insensibilidad. En esta situación, las cerdas han parpadeado después del aturdimiento por 5 seg, de manera natural y espontánea; el parpadeo desapareció luego debido al paro cardíaco (Grandin, 2001). Elevar el amperaje sobre los 1.25 Amp eliminó el parpadeo en las cerdas; el tipo de parpadeo era como el de un cerdo no aturdido y no un movimiento involuntario o parpadeo de ojos desviados (nistagmo).

McKinstry y Anil (2004), demostraron que el uso de una repetición en el aturdimiento es aceptable como procedimiento de emergencia en circunstancias inevitables para que el animal no recupere la sensibilidad, sin embargo se debe manejar un intervalo de tiempo menor a 15 seg para evitar que el animal tenga una recuperación después del primer aturdimiento.

Actualmente se dispone de sistemas electrónicos para controlar los picos de amperaje que causan derrames en la piel y la carne, mientras el operador aplica las pinzas del aturdidor. Gregory (2001) controló las trazas eléctricas de descargas para detectar problemas tales como malos contactos iniciales con el animal o descargas interrumpidas y concluyó que ocurrieron problemas con el bienestar de los animales en aproximadamente el 9% de las descargas. Ross (2002) ha desarrollado un sistema microprocesador electrónico que controla la forma de la onda, su frecuencia y el tiempo de descarga. Este sistema computarizado también registra los errores del operador que podrían comprometer el bienestar de los cerdos, tales como descargas interrumpidas y dar energía a los electrodos antes de que éstos estén en completo contacto con el cerdo.

Dar energía prematuramente a los electrodos causará quejidos, que están correlacionados con indicadores psicológicos de estrés (Warriss *et al.*, 1994). Así mismo, White *et al.* (1995) señalan que los gritos están asociados con pérdida del bienestar.

Grandin (2001a) concluye que los problemas relacionados con el retorno a la sensibilidad después del aturdimiento eléctrico se pueden corregir fácilmente. Las causas más comunes de problemas con el retorno a la sensibilidad, responden a la posición incorrecta de las pinzas y técnicas deficientes de desangrado. La autora concluye que al mejorar el diseño ergonómico de las pinzas en el sistema cabeza a espalda de los aturdidores cardíacos eléctricos o la estación de trabajo del empleado, eliminan el problema del retorno a la sensibilidad en los animales.

#### 2.4.2 Aturdidores de CO<sub>2</sub>

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas que al ser inhalado produce insensibilidad sin dejar residuos químicos inaceptables en la canal. Los cerdos son introducidos a un pozo con una concentración atmosférica entre 80% y 90% de CO<sub>2</sub>, durante un tiempo suficiente para mantenerlos inconscientes hasta la posterior muerte del animal por desangrado. El sistema de aturdimiento con CO<sub>2</sub>; no requiere la sujeción de los animales y permite el aturdimiento en grupo, reduciendo así el nivel de estrés. El aturdimiento se produce por una depresión de la función neuronal a consecuencia de una hipoxia hipercápnica y una disminución del pH del sistema nervioso central (Velarde *et al.*, 2000).

La inducción de la anestesia en una atmósfera del 80% de CO<sub>2</sub> incluye tres fases. La primera etapa tiene una duración aproximada de 20 seg y se denomina etapa de analgesia. Durante este periodo la respuesta del animal al dolor y al estrés se reduce gradualmente. En el aparato respiratorio, la inhalación de CO<sub>2</sub> provoca hiperventilación, que se manifiesta con inspiraciones cortas y profundas asociadas a jadeos o chillidos. Inmediatamente después de la pérdida de consciencia viene la etapa de excitación, y posteriormente, entre los 26 y 35 seg de exposición al CO<sub>2</sub>, el animal entra en la fase de anestesia. Durante esta fase, el animal pierde la postura normal y desaparecen el reflejo corneal, la sensibilidad al dolor y la ritmicidad respiratoria. Si el animal continúa inhalando CO<sub>2</sub> se produce la muerte. Concentraciones del 95% inducen anestesia entre los 10 y 15 seg (Velarde *et al.*, 2000).

Existe controversia acerca de la calidad humanitaria del aturdimiento mediante CO<sub>2</sub>, debido a que la insensibilidad no es instantánea. Con este método le toma aproximadamente 21 seg a un cerdo para que pierda su potencial de sensibilidad somática (Raj *et al.*, 1997). Este es el punto en el cual el cerebro de un cerdo no responde a una descarga en la pata. Gregory *et al.* (1987) encontraron que la narcosis comienza 30 a 39 seg después de comenzar la inmersión. La exposición al CO<sub>2</sub> estimula la frecuencia de la respiración y puede conducir a angustia respiratoria (Raj y Gregory, 1995). Raj *et al.* (1997) afirman

que el aturdimiento de cerdos con argón resulta en una pérdida de conciencia más rápida que con CO<sub>2</sub>.

Investigaciones holandesas indican que la fase de excitación ocurre en el aturdimiento con CO<sub>2</sub> antes del comienzo de la inconsciencia (Hoenderken, 1978, 1983). Estos estudios dieron lugar a las primeras preguntas sobre un potencial de angustia en los cerdos durante la inducción de la anestesia con CO<sub>2</sub>. Sin embargo, investigaciones realizadas por Forslid (1987) indican que la inconsciencia ocurre antes del comienzo de la fase de excitación, y que el aturdimiento con CO<sub>2</sub> no era estresante para el animal. En cerdos híbridos Yorkshire x Landrace, la exposición al CO<sub>2</sub> fue menos adversa que los choques eléctricos aplicados con una picana (Jongman *et al.*, 2000). Dodman (1977) informó que la forma que los cerdos reaccionan al CO<sub>2</sub> varía; así por ejemplo, Grandin (1988) observó en una planta comercial de faenado de los EEUU, que los cerdos blancos híbridos (con características del tipo de raza Yorkshire) tenían una reacción más suave al CO<sub>2</sub>, que los cerdos híbridos negros con franjas blancas, coloración típica de la raza Hampshire. Igualmente, Grandin (1994) observó que cerdos daneses (que tienen una muy baja incidencia del gen halotano) permanecieron tranquilos cuando respiraron CO<sub>2</sub>, pero los cerdos irlandeses (los cuales tienen una alta incidencia del gen halotano) se agitaron violentamente a los pocos segundos de haber olfateado el gas.

Experimentos con cerdos Pietrain x Landrace alemán, indican que los cerdos halotano-positivos tienen una reacción más fuerte al CO<sub>2</sub>, que los cerdos halotano-negativos (Troeger y Woltersdorf, 1991). Esos cerdos tenían o no reacción durante el contacto inicial con el gas; la reacción comenzaba aproximadamente 20 seg después de que los animales tuvieran contacto con el gas. Setenta por ciento de los cerdos halotano-positivos tenían reacciones motoras, mientras que sólo el 29% de los cerdos halotano-negativos reaccionaban de esta manera. Troeger y Woltersdorf (1991) concluyeron que el uso de altas concentraciones de CO<sub>2</sub> (80% o más), reduce la incidencia de reacciones vigorosas en cerdos halotano-positivos.

Por otro lado, Raj y Gregory (1995) descubrieron que los cerdos expuestos a CO<sub>2</sub> eran más reacios que antes, al volver a entrar a un cubículo a comer manzanas, que los cerdos expuestos al argón. Hartung *et al.* (2002) señalan en cerdos alemanes que 80% de CO<sub>2</sub>, no es suficiente para eliminar todos los reflejos después de 70 seg de exposición. Raj y Gregory (1995) informaron que no ocurrieron intentos de fuga con 80% a 90% de CO<sub>2</sub>, pero uno de cada seis lechones intentaron escapar con mezclas de aire y 40% a 50% CO<sub>2</sub>. De ahí que el uso de una mezcla de CO<sub>2</sub> y gas argón puede crear un mejor sistema de aturdimiento de los cerdos con gas (Raj *et al.*, 1997; Raj, 1999). Es posible que una combinación de CO<sub>2</sub> y argón, contribuya a que el aturdimiento con CO<sub>2</sub> sea menos estresante para los cerdos de tipos genéticos que reaccionan mal al CO<sub>2</sub>.

#### **2.4.3 Comparación de la eficiencia de los métodos de aturdimiento en ganado porcino**

Anil y McKinstry (1994) mostraron que cerdos aturridos con el método reversible "solo cabeza", retornan a la sensibilidad, bajo el siguiente orden: 1) respiración rítmica, 2) reflejos en la córnea del ojo, 3) respuesta a pinchazos con una aguja en el hocico, 4) reflejo para pararse, 5) totalmente sensible. Holst (2001), encontró que hay retorno a la sensibilidad después de ocurrido el aturdimiento con CO<sub>2</sub>, en el siguiente orden: 1) reflejos en la córnea del ojo, 2) respiración rítmica, 3) nistagmos 4) parpadeo natural y espontáneo sin tocar el ojo, y 5) reflejo para pararse. Sin embargo, Gregory (1998) señala que el reflejo de la córnea, que es provocado tocándole el ojo, puede ocurrir tanto en animales conscientes como inconscientes. Si ese reflejo no se presenta, se puede asumir que el animal está en un profundo estado de disfunción del cerebro e inconsciente.

Cuando los cerdos están tanto colgados en una línea de faenado como en una tabla de desangrado, el error más común es malinterpretar los movimientos de las patas como un signo de sensibilidad. Es normal que los cerdos aturridos eléctricamente presenten pataleos. De acuerdo Croft (1952), la presencia de los movimientos tónicos clásicos y espasmos clónicos, es un signo de un

aturdimiento eléctrico eficaz, que ha inducido un ataque epiléptico; la fase tónica rígida es seguida por pataleo (fase clónica). Gregory (1998) afirma que una mandíbula completamente relajada es un buen indicador de la disfunción cerebral y de inconsciencia inequívoca. Cuando esto ocurre, la lengua estará flácida y extendida. El único movimiento de reflejo que es difícil de abolir, es el jadeo, el cual es una señal de un cerebro que se está secando (Gregory, 1998).

Grandin (2003) ha observado que la mala interpretación de los reflejos del ojo en cerdos aturdidos eléctricamente, es un problema cuando personal no adiestrado toca el ojo de los animales; los párpados que están pegados con mucosas, pueden abrirse súbitamente y lucir como un reflejo (Grandin, 2001a). Bajo condiciones comerciales, ambos, Grandin (2001a) y Holst (2001), coinciden en que el parpadeo natural espontáneo, sin tocar el ojo, debe estar siempre ausente después del aturdimiento. El parpadeo natural espontáneo no es aceptable, pero un máximo de 5% de los cerdos aturdidos con CO<sub>2</sub> pueden tener un reflejo en la córnea inducido por un toque (Holst, 2001).

Velarde *et al.* (2000), evaluaron el efecto del método de aturdimiento sobre la incidencia de carne PSE y hemorragias en las canales de cerdo. Sus resultados señalan que los animales aturdidos eléctricamente presentaron una mayor incidencia de carne tipo PSE, 7 h después del sacrificio, aunado a un aumento en el número de petequias y equimosis localizadas en jamones y lomo. La presencia de fracturas óseas también fue considerablemente más alta en los rastros equipados con aturdidores eléctricos. Así mismo, Larsen (1982) en un estudio previo, encontró que los animales aturdidos eléctricamente presentan entre un 10 y 19% de incidencia de carne tipo PSE, mientras que para los animales aturdidos con CO<sub>2</sub> la incidencia fue del 2 al 9%. Channon *et al.* (2003), reportan que las modificaciones en los niveles de amperajes (0.9, 1.3, 2), tiempos de contacto y tipos de aturdimiento eléctrico, ejercieron un efecto en la incidencia de carne PSE, incidencia de hemorragias, pH, pérdidas por exudación, e incidencia de fracturas; aunque estuvieron por arriba de las encontradas en cerdos aturdidos en cámaras de CO<sub>2</sub>. De igual forma, Channon (2002), concluyó que el uso de los electrodos

cabeza-falda tiende a bajar el pH post sacrificio, y dio lugar a una carne más pálida con una pérdida más alta por exudación.

Como se podrá apreciar, aún existe polémica sobre cuál método de aturdimiento es más eficaz en lograr la muerte bajo inconsciencia del animal; de lo que no cabe duda es que una hemorragia masiva o desintegración de la masa cerebral en la región frontal del animal, no necesariamente indica inconsciencia o insensibilidad al dolor, de ahí que este sistema sea rechazado como un método humanitario de sacrificio. Atkinson y Algiers (2007), han concluido que la hemorragia ocasionada durante la insensibilización, debe ser subaracnoidea, en la base del cráneo, a fin de crear una inconsciencia completa, y una alta probabilidad de muerte del animal, de ahí que haya varios estudios orientados a revisar dónde debe realizarse el golpe de concusión en las distintas especies.

Recientemente, Nowak *et al.* (2007) han determinado que cuando se insensibiliza con aturdimiento eléctrico o mediante CO<sub>2</sub>, la exsanguinación del cerdo deberá llevarse a cabo en los primeros 30 seg, de otra forma el animal recobrará la consciencia y su bienestar estará comprometido. Hasta donde tenemos conocimiento, aún en las plantas Tipo Inspección Federal, el tiempo que lleva a los cerdos de la salida de la cámara de gas a la exsanguinación, es superior a 1 min. Nuestro equipo de trabajo está realizando protocolos en esta línea de investigación, y resultados sin publicar (Orozco *et al.*) indican que el sacrificio de lechones en cámaras de gas con CO<sub>2</sub>, ocasionan una muerte lenta, con agonía en los animales. De ahí la importancia de continuar con investigación en esta área y procurar contribuir para que su sacrificio sea "humanitario".

## 2.5 Calidad de la carne

En México la calidad de la carne fresca es muy variable y los procedimientos implementados para su estandarización son mínimos, con excepción de los aspectos sanitarios que se exigen por ley. La carne puede tener pérdidas de calidad por causas que van desde el transporte de los animales al rastro (Grandin, 1997; Channon *et al.*, 2000), hasta la distribución de sus

productos finales, por lo que es importante realizar estudios sobre los factores que ocasionan esas pérdidas de calidad, con la finalidad de reducir aquellas prácticas que estén afectando la aceptación del consumidor y la economía de la industria.

Alarcón *et al.* (2006), realizaron una investigación para determinar las variaciones sobre la calidad fisicoquímica de la carne de cerdo ocasionadas por la insensibilización en grupo, el tiempo que transcurre entre insensibilizado y desangrado, y el tiempo de escalde. En un total de 340 cerdos de 120 kg en promedio, concluyeron que los cerdos sacrificados en grupos de cinco presentaron canales con menor pérdida por goteo y conductividad eléctrica, y con una caída de pH a los 45 min post sacrificio más lenta, que cuando entraron al sacrificio en forma individual, por lo que concluyeron que el sacrificio en grupo tiene resultados favorables para la calidad de la carne. Al aplicar un tiempo no mayor a 4 s entre la insensibilización y el desangrado durante el sacrificio de los cerdos, y al controlar a 5 min el tiempo de escaldado, mejoró el pH, la temperatura y la conductividad eléctrica de la carne, mientras que el color no estuvo afectado por estos tiempos. Dichos autores recomiendan reducir el tiempo entre insensibilizado y desangrado a 4 s conjuntamente con el escalde a 5 min, por ser los factores que tuvieron mayor influencia en la calidad de la carne.

Pérez *et al.* (2002) señalan que con un tiempo de reposo de 3 h se regulariza el número de eritrocitos, neutrófilos y linfocitos; los niveles de glucosa, cortisol y lactato; así como la actividad enzimática de la creatincinasa, deshidrogenasa láctica, aspartato-amino-transferasa y alanino-amino-transferasa en los cerdos; aunado a esto, se mejoran los indicadores de calidad de la canal.

En escasos estudios se ha establecido la relación existente entre los niveles del estrés en cerdos pre-sacrificio y su repercusión en la calidad de la carne. En algunos experimentos se estudió el estrés pre-sacrificio sin considerar la calidad de la carne (Troeger, 1989; Weeding *et al.*, 1993; Hartung *et al.*, 1997); al contrario de otros en los que no se determinaron las variables directamente relacionadas con el estrés (van der Wal *et al.*, 1999; Channon *et al.*, 2000).

Warriss *et al.* (1998) y reportan una baja correlación entre los indicadores sanguíneos de estrés y los indicadores de la calidad de la carne bajo circunstancias de inspección comercial. Sin embargo, Hambrecht *et al.* (2004), realizaron un experimento en donde evaluaron el efecto de los niveles de estrés bajos y altos, así como de dos métodos de aturdimiento, en los indicadores de la calidad de la carne. La conclusión de dicho experimento fue que los niveles de estrés severo inmediatamente antes del sacrificio, desencadenan consecuencias negativas en los atributos de la calidad de la carne, principalmente en las variables pérdidas por oreo y color; tanto en animales insensibilizados con aturdimiento eléctrico y CO<sub>2</sub>; así mismo, reportan que los efectos negativos del estrés se incrementaron por la presencia de niveles altos de energía dentro del músculo al momento del sacrificio.

Por otro lado, existen investigaciones que señalan el efecto negativo que tiene el tiempo de transporte sobre los indicadores más importantes de la calidad de la carne. Leheska *et al.* (2003), mencionan que tanto el ayuno como el transporte afectan la calidad de la carne; sin embargo, resultó más nocivo el efecto del tiempo de transporte. Cerdos con 48 h de ayuno presentaron los mismos efectos en la calidad de la carne al compararlos con cerdos transportados por períodos de 2 h. Brown *et al.* (1999), realizaron una investigación con la finalidad de evaluar el efecto del tiempo del transporte por 0, 8, 16 y 24 h en los rendimientos de la canal, así como en los indicadores de la actividad enzimática y proteínas plasmáticas; sus resultados indican que conforme se incrementa el tiempo de transporte, se aumentan las pérdidas de peso en los animales, se disminuyen los rendimientos en canal caliente y fría, se incrementan las concentraciones de ácidos grasos no esterificados, y se disminuyen los niveles de cortisol, lactato y creatinina-fosfoquinasa, aunado a que los niveles de proteínas indicaban estados variables de deshidratación. Los resultados antes mencionados concuerdan con los obtenidos por Mota-Rojas *et al.* (2006), quienes reportan que el estrés agudo predispone a valores de pH ácido y color pálido en la carne; es decir, alta incidencia de carne PSE; mientras que el estrés crónico predispone a valores de pH elevados y coloración oscura de la carne; es decir, predispone a la

carne DFD. Por otro lado, en dicho trabajo se concluye que conforme se incrementa el tiempo del transporte, aumenta la incidencia de traumatismos en piel, tejido subcutáneo e incluso músculo, así como los signos de hiperventilación y de cansancio, resultando más resistentes las hembras en comparación con los machos.

### **2.5.1 Carne PSE y DFD**

El metabolismo del glucógeno intramuscular tiene un efecto importante en la conversión de músculo a carne y en los atributos de calidad de ese producto. Los dos aspectos de calidad más importantes en la carne fresca de cerdos son el músculo PSE y DFD, siendo el PSE el de mayor importancia económica. Ambos son el resultado de la conversión anaeróbica del glucógeno a ácido láctico dando así el pH final de la carne. El músculo PSE es causado por una combinación de factores que estresan al animal y causan un rápido declive en el pH (Grandin, 1997); este fenómeno se ha encontrado en porcinos, pavos y pollos (Warris, 2000).

El músculo PSE se conoce como un defecto causado por una miopatía exudativa y despigmentaria, o bien como una degeneración muscular. Los casos extremos de miopatía pueden observarse en los músculos de la pierna como *Gracilis*, *Gluteus medius*, *Gluteus superficialis*, Semimembranoso, Semitendinoso, *Biceps femoris*, y en la parte magra del *Longissimus dorsi* torácico y lumbar (Zert, 1969; Chorné y Chávez, 1996; citados por Hui *et al.*, 2006), siendo el *Biceps femoris* y el *Longissimus dorsi* particularmente susceptibles a esta condición (Briskey y Wismer-Pedersen, 1961; citados por Hui *et al.*, 2006).

El músculo PSE representa el mayor defecto de calidad en la carne de cerdo. La carne se hace muy seca en el cocinado y se usa sólo en productos procesados de bajo valor. Se llegaron a describir incidencias de músculo PSE de 16% en Estados Unidos (Kaufftnan *et al.*, 1992; Cornforth, 1994; citados por Hui *et al.*, 2006; Grandin, 1997), 80% en Alemania y Bélgica (Webb, 1980), 35% a 54% en España (Oliver *et al.*, 1988; 1991, citados por Hui *et al.*, 2006), 15% en

Francia (Zert, 1969; citados por Hui *et al.*, 2006) y 2% a 4% en Dinamarca (Pietraszek, 1989; McMahon, 1997; citados por Hui *et al.*, 2006). En todos estos países se está haciendo un esfuerzo para reducir ese problema; así, los daneses han eliminado los cerdos portadores del gen halotano, reduciendo el uso de la raza Hampshire y utilizando métodos de sacrificio más humanitarios.

El DFD se reportó por primera vez en la carne de cerdo en Gran Bretaña, en la década de 1930, como una consecuencia del estrés ocasionado por el transporte de los cerdos a grandes distancias antes del sacrificio, y se identificó como un problema de calidad de la carne (Callow, 1936; citado por Alarcón y Duarte, 2006). Los músculos *Semispinalis capitalis*, *Serratas ventralis* y *Quadriceps femoris* son clasificados como de fibras rojas, las cuales se caracterizan por tener un metabolismo predominantemente aeróbico. Por lo tanto, son más susceptibles a desarrollar carne DFD, porque generalmente alcanzan valores de pH final mayor a 6.1. En Estados Unidos y Portugal se ha informado que alrededor de un 10% de las canales de cerdos presentan músculo DFD (Grandin, 1997).

La calidad de la carne de los cerdos está relacionada al metabolismo muscular *ante mortem*, el cual es influenciado por ambos factores genéticos y medioambientales. La carne PSE es asociada con una rápida caída del pH en el músculo durante la primera hora después del sacrificio. Este pH bajo causa un detrimento en la repulsión electrostática entre los miofilamentos y en combinación con una elevada temperatura provoca una desnaturalización de las proteínas musculares. El resultante de la contracción de las miofibrillas puede explicar el color pálido de la carne y la excesiva pérdida por goteo (Honikel y Kim, 1986; Offer y Knight, 1988; Offer, 1991; citados por Klont, 1993).

La carne PSE se caracteriza por una alta tasa de acidificación en el músculo rápidamente después de la muerte del animal (Briskey, 1964; Offer, 1991; citados por Shen, 2008). En cerdos, esto ha sido bien establecido por una rápida acumulación de ácido láctico, por una rápida glucólisis *post mortem*

ocasionando carne PSE (Briskey y Wismer-Pedersen, 1961; Schwagele *et al.*, 1994; Solomon *et al.*, 1998; citados por Shen, 2008). En músculos que se convierten en carne PSE, la caída del pH es mucho más rápida que en el músculo normal, con una velocidad de 1.04 vs 0.65u/h a 37°C (Bendall y Wismer-Pedersen, 1963; citados por Shen, 2008).

### **2.5.2 Factores que inciden sobre la carne PSE**

#### *Genética*

La demanda de los consumidores y las expectativas económicas han obligado a los porcicultores de todo el mundo a tecnificarse y a seleccionar animales de crecimiento rápido con mayor rendimiento a producir carne, los cuales están relacionados con animales de mejor conformación muscular y magros (Calvo *et al.*, 1995; Pommier *et al.*, 1998, citados por Alarcón *et al.*, 2006), pero este avance tecnológico ha ocasionado cerdos mucho más sensibles al estrés por el medio ambiente y el manejo (Alarcón *et al.*, 2005). Esta sensibilidad al estrés normalmente llamada Síndrome del Estrés Porcino, está relacionada con individuos genéticamente modificados (Weaver *et al.*, 2000).

La incidencia de músculo PSE se observa mayormente en cerdos de granjas tecnificadas, por utilizar animales de mayor conformación muscular y más magros que generalmente vienen de líneas genéticas que son más susceptibles al estrés (Gispert *et al.*, 1994; citado por Alarcón *et al.*, 2005). Dos mutaciones en el genoma del cerdo afectan la calidad de la carne: el gen Rendimiento Napole (RN) y el gen Halotano (Naveau, 1986; Oliver *et al.*, 1993; citados por Martínez-Quintana *et al.*, 2006).

El gen Hal, es conocido como el gen de susceptibilidad al síndrome de estrés porcino y origina la carne pálida, suave y exudativa (Topel *et al.*, 1967; citados por Martínez-Quintana *et al.*, 2006). Esta susceptibilidad ha sido asociada a una mutación en la posición 1843 de la secuencia de ADN del gen receptor para la rianodina (Ryr 1) del cerdo donde se presenta una sustitución de una citosina

por una timina (Fuji *et al.*, 1991; Houde y Pommier, 1993; citados por Martínez-Quintana *et al.*, 2006).

En el caso de la carne Hal positiva (Nn y nn), el pH a los 45 min *post portem* es menor y llega a ser hasta de 5.5. La presencia del alelo n del gen Halotano resulta en un defecto en el canal liberador de Ca<sup>++</sup> del retículo sarcoplásmico (Mickelson *et al.*, 1989; citados por Martínez-Quintana *et al.*, 2006). La liberación de Ca<sup>++</sup> al doble de lo normal causa un aumento en el metabolismo del músculo y provoca una acumulación de ácido láctico, lo cual se manifiesta en un pH menor de la carne (Mickelson *et al.*, 1989; citados por Martínez-Quintana *et al.*, 2006).

Los animales portadores del gen rendimiento napole (RN-) comparados con los animales normales, tienen un nivel de glucógeno muscular superior al 70% (Estrade *et al.*, 1993; citados por Martínez-Quintana *et al.*, 2006), 7% menos de proteína y un pH final de la carne más bajo que en los animales no portadores de dicho alelo (Monin *et al.*, 1987; citados por Martínez-Quintana *et al.*, 2006).

Los dos genes son causa de grandes pérdidas económicas en la industria porcina nacional debido al bajo rendimiento en la carne procesada (Fernandez y Monin, 1994; Maddock *et al.*, 2002; citados por Martínez-Quintana *et al.*, 2006).

### *Transporte*

Uno de los factores importantes para la incidencia de carne PSE, que tiene que ver con el estrés es el transporte de animales a la planta de sacrificio, ya que puede ocasionar cambios importantes en la canal (Lawrie, 1997). Durante este traslado, los animales pueden exponerse a varios estresores como el ayuno o el ejercicio por esfuerzos, pero también el deterioro de su grupo social, el manejo (por ejemplo, durante carga y descarga), y los eventos desconocidos y recientes, causan el agotamiento físico o el estrés psicológico (Mounier *et al.*, 2006). En algunos casos si se transportan en vehículos poco ventilados pueden ocurrir procesos de asfixia por una ventilación insuficiente. La vibración también está

estrechamente relacionada con respuestas a estrés. Perremans *et al.* (1998), utilizaron la frecuencia cardíaca en cerdos transportados artificialmente como un indicador automático a una respuesta del estrés la cual se vio influenciada por la vibración, ya que se requieren grandes esfuerzos por parte de los animales para mantener el equilibrio. Incluso el estrés que se observa en la vibración puede ser más elevado del que se presenta en la carga y descarga del vehículo que los transporta (Grandín, 1997).

De acuerdo a Guardia *et al.* (2004), bajo condiciones de transporte, una superficie del suelo a base de poliéster, disminuye el riesgo de carne PSE alrededor de 1.5%, comparado con pisos con superficies de aluminio o hierro. Esto se argumenta porque la superficie de poliéster ofrece un ambiente más confortable para el transporte, particularmente porque reduce el ruido y deslizamiento ya que la superficie es rugosa y suave, además de ser un buen aislante térmico. Si se utiliza un sistema hidráulico de rampas de elevación para cargar a los animales disminuye el riesgo de carnes PSE (Guárdia *et al.*, 2004).

Transportar a los animales bajo temperaturas ambientales elevadas, incrementa la incidencia de condiciones PSE, esto derivado de la comparación entre verano e invierno. En verano el riesgo de carnes PSE es casi el doble de riesgo que en invierno (6.5% vs. 3.4%), dado que los cerdos son más sensibles a temperaturas elevadas, ya que carecen de glándulas sudoríparas y por lo tanto les resulta difícil disipar el calor corporal. El riesgo de condición PSE es 0.5% más alta en machos comparado con las hembras (Guárdia *et al.*, 2004).

### *Reposo*

Los animales pueden estresarse por cualquier tensión psicológica (el manejo, los nuevos sucesos) o las tensiones físicas (como hambre, sed, fatiga, lesiones o temperaturas extremas) (Grandín, 1997). El descanso sirve en tanto para minimizar los factores estresantes ocasionados por el transporte como para reponer las reservas de glicógeno (Prince *et al.*, 1994), previniendo ciertas características indeseables en la carne.

Los animales deben permanecer normalmente en los corrales 24 o al menos 12 h antes de pasar a la sala de sacrificio. Durante este periodo el animal únicamente tendrá acceso al consumo de agua potable. La ingestión de agua facilita una sangría más completa, da lugar a un color más brillante en la carne y hace que el aturdimiento eléctrico sea más eficaz (Mota-Rojas *et al.*, 2006).

Durante el periodo de descanso, los animales pueden recobrar más del 1% de su peso perdido durante el transporte. Cuando no reciben alimento, facilita la evisceración pero pierden peso con facilidad y pronto pueden llegar a perder peso en canal, especialmente en forma de agua (Mota-Rojas *et al.*, 2006).

#### *Método de aturdimiento*

Los animales de abasto son aturridos antes del sacrificio para que el desangrado no les cause dolor, sufrimiento o estrés. El aturdimiento debe provocar la inconsciencia rápida en el animal, minimizar los problemas de la calidad de la canal y de la carne, y garantizar la seguridad del operario (Rodríguez *et al.*, 2006).

El aturdimiento eléctrico consiste en el paso de una corriente eléctrica a través del cerebro con una intensidad lo suficientemente alta como para provocar una despolarización del SNC y una desorganización de la actividad eléctrica normal (Gregory, 1998; citados por Rodríguez *et al.*, 2006).

El paso de corriente por el cerebro induce en el animal un estado epileptiforme, caracterizado por contracciones musculares tónicas y clónicas (Velarde *et al.*, 2002, 2003; citados por Rodríguez *et al.*, 2006).

En cerdos, el aturdimiento eléctrico favorece la formación de carnes PSE y la aparición de petequias en la canal (Velarde *et al.*, 1999, citados por Rodríguez *et al.*, 2006).

El paso de corriente por el cerebro provoca un aumento de la concentración plasmática de catecolaminas, que induce aumento de la presión sanguínea y vasoconstricción periférica (Van der Wal, 1978; citados por Rodríguez *et al.*, 2006). Esto favorece a la expulsión de sangre en los vasos sanguíneos y reduce el contenido de sangre residual en el músculo (Velarde *et al.*, 2003; citados por Rodríguez *et al.*, 2006).

En cerdos, la estimulación muscular provocada por el aturdimiento eléctrico es causa principal de un aumento en la velocidad de la glucólisis una vez que el animal es sacrificado. Este proceso produce un descenso anormal de pH muscular, favoreciendo la desnaturalización de proteínas, reduciendo la capacidad de retención de agua y aumentando la palidez de la carne (Rodríguez *et al.*, 2006).

Se ha descrito que los 5 min previos al sacrificio tienen un impacto importante en la calidad de la carne, ya que si el manejo *ante mortem* es estresante, incluyendo el aturdimiento y desangrado, se puede incrementar la presencia PSE aún en cerdos resistentes al estrés. van der Wal *et al.* (1993; citados por Alarcón, 2006), recomiendan que el tiempo de insensibilizado y desangrado sea menor de 10 s para obtener carne de calidad. Sin embargo, Alarcón (2006) al aplicar un tiempo no mayor a los 4 s entre el insensibilizado y el desangrado, aunado al tiempo del escaldado que fue de 5 min, observó que mejoró el pH y la temperatura. Además de llevar a los cerdos al sacrificio en forma grupal (grupos de 5) se observan canales con menor pérdida por goteo y con una caída de pH 45 más lenta que cuando entran al sacrificio en forma individual.

Velarde *et al.* (1999, citado por Rodríguez *et al.*, 2009) mencionan que en el cerdo, la estimulación muscular favorece la formación de carnes PSE, y la aparición de petequias en la canal, ya que la estimulación provocada por el aturdimiento eléctrico es la causa principal de un aumento en la velocidad de la glucólisis una vez que el animales sacrificado. Este proceso produce un descenso anormal del pH muscular, favoreciendo la desnaturalización de las proteínas,

reduciendo la capacidad de retención de agua y aumentando la palidez de la carne (Rodríguez *et al.*, 2006).

### III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde el siglo XIX se sabe que el transporte de animales a grandes distancias ocasiona mermas de peso de importancia comercial; el transporte de cerdos es un proceso inherentemente estresante, los animales son expuestos a varios factores que comprometen su bienestar.

Como ya ha sido señalado, el cerdo presenta una gran sensibilidad al estrés, manifestando su capacidad para adaptarse a situaciones nuevas que impliquen esfuerzo extra, especialmente durante el transporte, donde se generan respuestas fisiológicas de adaptación. Entre las que más destacan está el aumento en la secreción de catecolaminas, lo que da lugar a las siguientes respuestas fisiológicas: aumento del gasto cardiaco, del consumo de oxígeno y de la temperatura corporal, disminución de pH, acumulación de ácido láctico y aumento de la gluconeogénesis. Todo esto conduce a la pérdida de peso y a una canal de mala calidad.

Se ha demostrado que la carga y descarga de los animales durante el transporte, el estrés social, la estimulación eléctrica, el estrés calórico, y la privación de agua y alimento, son factores que modifican los valores normales de gases, pH y glucosa sanguínea en los cerdos. Casi todo animal que va al matadero da muestras de cansancio en mayor o menor grado, y se acostumbra no sacrificar a los animales cuando éstos se hallan fatigados o acalorados, dado que la carne de los animales sacrificados en estado de agotamiento es más susceptible de descomponerse por ser menos ácida y debido al transporte pueden sufrir pérdidas considerables de peso.

Una gran cantidad de factores afectan la calidad de la canal. Estos factores se pueden dividir en categorías *ante mortem* y *post mortem*. Entre los *ante mortem*, se encuentran el transporte de los animales, el descanso y rehidratación en los corrales pre-sacrificio, manejo pre-sacrificio y método de aturdimiento. La segunda categoría comprende a los factores que intervienen cuando el animal ha

muerto. Una vez que se da el paro cardio-respiratorio, se inicia una variedad de procesos enzimáticos y cambios *post mortem* en condiciones de anaerobiosis. Varios factores modifican estas reacciones: la temperatura ambiente, el tipo y tiempo de desangrado, la temperatura y tiempo que permanecen los animales en la tina de escaldado, las Buenas Practicas de Manufactura, y la rapidez con que descienda la temperatura de la canal caliente.

La evaluación y seguimiento del pH de sangre y músculo, de glucosa y creatincinasa en plasma, así como la medición de temperatura y corrientes de aire en las cámaras frigoríficas, nos permitirán ubicar donde están los puntos críticos que pueden hacer que se mejore la calidad de la canal porcina en una planta Tipo Inspección Federal (TIF) de excelencia. También, estas mediciones nos permitirán conocer de manera integral y objetiva, el buen o mal desempeño del equipo y trabajadores en la planta TIF.

Aunque existe la tendencia mundial a incrementar el mercado de la carne en cortes y a disminuir el comercio de animales en pie, el transporte de animales vivos sigue siendo uno de los factores que más preocupación causan en términos del bienestar animal, además de su impacto en la calidad de la canal y subproductos. El país cuenta con 5 Normas Oficiales Mexicanas y varias leyes estatales que de una u otra forma velan por el bienestar animal de los animales proveedores de alimentos. Actualmente está en proyecto una Iniciativa de Ley General de Bienestar Animal que tendrá que ser discutida por las partes interesadas antes de ser aprobada en la Cámara de Senadores a finales del año. Dicha iniciativa establece un marco de actuación que garantiza el nivel óptimo de bienestar de los animales sujetos al dominio, control y manejo del ser humano. Acota entre otros, los siguientes capítulos de interés en los animales de abasto: Capítulo III. Del Mantenimiento, Cuidado y Alojamiento de los Animales; Capítulo IV. Del Manejo de Animales Domésticos y Silvestres; Capítulo VI. Del Transporte y Movilización de los Animales; Capítulo VII. De la Matanza, Eutanasia y Sacrificio de los Animales. Los países de la Unión Europea que comprarán productos de origen animal de México ya tienen legislaciones avanzadas al respecto y

verificarán las condiciones en que se producen los productos que piensan adquirir, como hoy ya sucede con los países que compran en las plantas TIF. Un propósito más de la presente investigación será evaluar el bienestar de los cerdos previo al sacrificio para retroalimentar a las autoridades con los resultados obtenidos, de forma que se mejoren las condiciones previas al sacrificio de los animales.

Lo anterior justifica plenamente la realización del presente estudio, ya que con ello resolveremos por un lado una petición constante de las plantas de sacrificio de alto desempeño, y por otro lado realizaremos un estudio que establezca el desequilibrio energético y ácido-base de los animales que son transportados por largos periodos, afectando no solo su bienestar durante el traslado sino la calidad de la carne que consumimos.

#### **IV. HIPÓTESIS**

La duración del transporte y método de aturdimiento afectan el desequilibrio ácido-base, metabolismo energético, gasometría sanguínea, bienestar de los animales y calidad de la canal caliente y fría de los cerdos.

## V. OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de la duración del transporte y método de aturdimiento, sobre el desequilibrio ácido-base, metabolismo energético, intercambio gaseoso, bienestar animal y calidad de la canal caliente y fría, de cerdos mexicanos vs. norteamericanos, sacrificados y faenados en una planta TIF.

### 5.2 Objetivos particulares

1. Evaluar el efecto del tiempo de transporte sobre la gasometría, perfil energético, desequilibrio ácido-base y grado de deshidratación, a través de la medición de hematocrito, pH y gases en sangre ( $pO_2$  y  $pCO_2$ ).
2. Evaluar el efecto del método de aturdimiento (eléctrico vs.  $CO_2$ ) sobre el perfil energético, desequilibrio ácido-base, gasometría sanguínea, temperatura corporal y calidad de la canal.
3. Establecer el grado de tolerancia al estrés entre sexos, y entre machos enteros y castrados, y el efecto sobre la calidad de la canal caliente y fría.
4. Correlacionar el efecto de la duración del transporte sobre la temperatura corporal, glucosa y lactato de los animales que arribaron a la planta TIF.
5. Correlacionar el efecto de las variaciones de glucosa, pH, y temperatura de la sangre durante el desangrado, sobre el pH, temperatura y color de la canal caliente y fría.
6. Evaluar el bienestar animal en términos de conducta agresiva y de mantenimiento, así como grado de hidratación durante el descanso en los corrales previo al sacrificio.

## VI. MATERIAL Y MÉTODOS

### 6.1 Localización

La presente investigación se realizó en las instalaciones de una planta Tipo Inspección Federal ubicada en la zona centro de la República Mexicana.

### 6.2 Manejo experimental

Se utilizaron un total de 1,721 cerdos mexicanos de la siguiente línea genética, por parte de la madre Yorkshire x Landrace y del padre Pietrain. De igual forma se usaron 996 cerdos híbridos procedentes de los Estados Unidos de Norteamérica. El día previo a salir de la granja para ser transportados al rastro, se tomaron muestras a 92 machos castrados, 108 hembras y 81 machos enteros. Este muestreo tuvo la finalidad de servir como valores de referencia. El transporte de animales se realizó utilizando vehículos especializados de transporte para ganado, con características y capacidad similar (tráiler) (Anexo, **Esquema 1**). En todos los vehículos se observó la presencia de cama de paja en la plataforma, de acuerdo a lo establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-024-ZOO-1995. Los animales destinados al estudio se transportaron en 3 grupos durante 8, 16 y 27 h, fueron transportados en forma continua y no se les suministró agua ni alimento durante la jornada.

#### 6.2.1 Primer experimento

El primer experimento incluyó un total de 250 cerdos mexicanos que fueron transportados por un periodo de 8 horas más 8 h de ayuno y se les dió seguimiento desde su llegada a la planta hasta que fueron vendidos como canales frías. La mitad de los cerdos muestreados fueron hembras y la otra mitad, machos. La mitad de cada grupo fue insensibilizada por aturdimiento eléctrico y la otra mitad con CO<sub>2</sub>.

#### 6.2.2 Segundo experimento

El segundo experimento incluyó 234 cerdos mexicanos que fueron transportados por 16 horas más 8 h de ayuno y se les dió seguimiento desde su

llegada a la planta hasta que fueron vendidos como canales frías. La mitad de los cerdos muestreados fueron hembras y la otra mitad, machos. La mitad fueron insensibilizados por aturdimiento eléctrico y la otra mitad con CO<sub>2</sub>.

### **6.2.3 Tercer experimento**

El tercer experimento incluyó 323 cerdos norteamericanos que fueron transportados por 27 horas, y se les dió seguimiento desde su llegada a la planta TIF hasta que fueron vendidos como canales frías. Este bloque fue dividido en tres categorías: 105 hembras, 80 machos castrados y 138 machos enteros. La mitad de cada grupo fue insensibilizada por aturdimiento eléctrico y la otra mitad con CO<sub>2</sub>. Cabe señalar que estos animales tuvieron un transporte previo en la Unión Americana (procedían de Iowa), de 30 horas de viaje y 12 de descanso, antes de su arribo a México, después de 27 horas más de transporte. Respecto a la genética de estos animales, se infiere, por su fenotipo (Anexo, **Esquema 2**), que se trató de híbridos de cruces York x Landrace y Duroc.

### **6.2.4 Cuarto experimento**

Se emplearon 50 cerdos, 30 provenientes de los EEUU y 20 mexicanos, distribuidos de la siguiente manera: para el caso de los norteamericanos, 10 hembras, 10 castrados y 10 machos enteros, transportados por un periodo de 24 horas, con un periodo de descanso previo al sacrificio, mayor a 3 h. Los cerdos mexicanos fueron 10 hembras y 10 castrados, sin grupo de machos enteros debido a que en nuestro país no es una práctica común procesar estos animales. Este grupo de animales tuvo un tiempo de transporte de 8 h y un tiempo de descanso de 3 h.

A su llegada a la planta, los 50 cerdos que fueron empleados en esta fase experimental, se marcaron con un crayón, colocándoles un número y letra en los costados de ambos lados, para facilitar su localización en los corrales de reposo a fin de realizar las observaciones conductuales directas e indirectas (por vídeo).

Todos los animales bajo estudio fueron sangrados antes de ser colocados en los tres corrales de descanso donde fueron alojados en grupos de aproximadamente 50 animales por corral, sin separación de sexos, como rutina en la planta TIF. La segunda muestra sanguínea se tomó durante el desangrado de los animales, después de la insensibilización mediante aturdimiento eléctrico y CO<sub>2</sub>.

### **6.3 Mediciones pre-sacrificio**

#### **6.3.1 Temperatura corporal**

Se midió la temperatura corporal individual, registrándola de forma instantánea (1 s) a través del termómetro otal ThermoScan Braun (Anexo, **Esquema 3**).

#### **6.3.2 Medición del perfil energético, desequilibrio ácido-base y gasometría sanguínea**

De igual forma inmediatamente a su llegada se les tomó una muestra sanguínea de vena yugular en un periodo menor a 22 s desde la sujeción del cerdo. La presión parcial de dióxido de carbono (pCO<sub>2</sub>), Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, glucosa, lactato, hematocrito y el pH se analizaron simultáneamente usando el equipo de gasometría de tercera generación, GEM Premier 3000 de IL Diagnostics, USA-Italia (Anexo, **Esquema 4**). Para que la muestra de sangre no se combinara con los gases ambientales y se alteraran los valores, se procesó a través de tubos capilares especializados para gasometría que contienen heparina de litio que impide este proceso (GEM Premier 3000, Instrumentation Laboratory Diagnostics S.A. de C.V. México).

#### **6.3.3 Técnicas de muestreo y de registro para las observaciones conductuales**

Inmediatamente después de la insensibilización por CO<sub>2</sub>, se contabilizó el número de animales vocalizando o convulsionando para cada uno de los tratamientos (norteamericanos vs. mexicanos), haciendo un registro instantáneo

(Lehner, 1996). Se cronometró el tiempo transcurrido para el izado y desangrado, considerando el orden (primero, segundo y tercer lugar) en que los operarios manipularon a los animales saliendo de las canastillas. Aunado a lo anterior se determinaron el número e intervalo de convulsiones (consideradas como movimientos vigorosos de la cabeza y temblor corporal) observados en cada sexo y previo a la muerte del animal, así como la latencia a presentar cualquier signo de consciencia entre el aturdimiento y desangrado (Anexo, **Esquema 5**).

#### **6.4. Sacrificio y faenado**

##### **6.4.1 Medición del perfil energético, desequilibrio ácido-base y gasometría sanguínea**

Una vez que los cerdos reposaron en los corrales pre-sacrificio, y se procedió a la insensibilización y desangrado, se colectó una muestra de sangre en un tubo capilar para evaluar el efecto del aturdimiento sobre el desequilibrio ácido-base y gasometría sanguínea, a través del equipo de gasometría antes descrito (Anexo, **Esquema 6**).

##### **6.4.2 Método de aturdimiento**

Los cerdos se insensibilizaron previo sacrificio a través de los siguientes métodos: electronarcosis (sistema sólo cabeza) mediante un restrainer con un amperaje superior a 250 mA, un voltaje de 400 V y un tiempo de 2 s (Anexo, **Esquema 7**), y anestesia por CO<sub>2</sub> introduciendo a los cerdos en grupos de tres, a una cámara con una atmósfera de 70% de CO<sub>2</sub> por un tiempo aproximado de 60 s (Anexo, **Esquema 8**).

##### **6.4.3. pH y temperatura de la canal**

Finalmente, después de realizado el esquinado de la canal también se registró la temperatura del músculo *Longissimus dorsi* a la altura entre la décima y onceava costilla. La temperatura y el pH de la canal caliente se realizaron 45 min *post mortem* (Anexo, **Esquema 9**). La temperatura de la canal fría se evaluó a la

salida de las canales de la cámara de enfriamiento rápido. Para ello se utilizó un potenciómetro Hanna Instruments (Penetration pH electrode, HI8314, membrana pHmeter, 115V/60Hz. Cod. 1.1176), y para la medición de la temperatura se empleó un termómetro digital CITIZEN (CT561C/F).

El criterio utilizado para la clasificación de la calidad de carne, fue para carnes PSE el color pálido (1) (comparándola con una escala estándar de acuerdo a la NPPC, National Pork Producer Council, 1991), una temperatura mayor a los 40°C y un  $\text{pH} \leq 5.5$ . Respecto a las carnes consideradas como DFD, el color fue rojo oscuro (5) (comparándola con una escala estándar de acuerdo a la NPPC, National Pork Producer Council, 1991), y un  $\text{pH} \geq 6.5$ ; no se consideró la temperatura.

#### **6.4.4 Medición de color**

La medición del color del músculo *Longissimus dorsi* se realizó en la canal caliente y fría, a través de un colorímetro digital modelo CHROMA METER CR-400/410 de la marca Konica Minolta.

El color se evaluó con el sistema L, a, b (Ferreira *et al.*, 1994). El blanco fue una tarjeta con los siguientes valores de referencia  $L = 97.38$ ,  $a = 0.17$  y  $b = 1.94$ .

### **6.5. Mediciones sanguíneas pre- y durante el sacrificio**

A su llegada a la planta los animales del Experimento 4 fueron sangrados vía yugular en menos de 1 min, para la obtención de 3 mL de plasma sanguíneo que fue colectado en 2 viales para la determinación de cortisol y creatincinasa. La sangre se colectó en vacutainer con heparina y los tubos se mantuvieron en hielo hasta ser centrifugados a 650 g durante 15 min.

#### **6.5.1 Creatincinasa**

Las concentraciones de creatincinasa se cuantificaron utilizando el kit Coat-a-Count creatina cinasa para determinación en plasma (Diagnostic Product Corp., Los Angeles, USA). Una vez obtenida la muestra de sangre se sometió a

temperatura de refrigeración por un período de 2 h con la finalidad de que se comience la separación del paquete celular y el plasma; posteriormente se centrifugó a 650 g durante 15 min. El plasma extraído se almacenó en viales estériles y a una temperatura de -4°C durante un período no mayor a 14 días.

### 6.5.2 Cortisol

Las concentraciones de cortisol se cuantificaron utilizando el kit Coat-a-Count cortisol para determinación en plasma heparinizada (Diagnostic Product Corp., Los Angeles, USA).

### 6.6 Análisis estadísticos

Los resultados obtenidos de los experimentos 1 a 3 fueron analizados mediante un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 4 X 3 X 2, cuyo modelo fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + E_{ijk}$$

$$i = 1, 2, 3$$

$$j = 1, 2$$

$$k = 1, 2$$

Donde:

- $Y_{ijk}$  = Variable respuesta (gases en sangre, temperatura corporal, etc.)
- $\mu$  = Media general
- $A_i$  = Efecto del factor A al nivel i. (tiempo de traslado)
- $B_j$  = Efecto del factor B al nivel j. (sexo)
- $C$  = Efecto del factor C al nivel k (método de aturdimiento)
- $(AB)_{ij}$  = Efecto de la interacción AB al nivel i, j
- $(AC)$  = Efecto de la interacción AC al nivel i, k
- $(BC)$  = Efecto de la interacción BC al nivel j, k
- $(ABC)$  = Efecto de la interacción ABC al nivel i, j, k
- $E_{ijk}$  = Error aleatorio en la repetición k, nivel j de B y nivel i de A.

Los resultados fueron analizados según el modelo propuesto y mediante los siguientes procedimientos:

- La variable tiempo entre aturdimiento e inicio del desangrado se analizó estadísticamente usando una prueba de t para muestras independientes.
- Para determinar la existencia de diferencias estadísticas en las medias de los tratamientos de las variables evaluadas se utilizó la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).
- La variable pH se analizó estadísticamente utilizando una prueba de Kruskal-Wallis, aunado a que se representaron como mediana  $\pm$  intervalo.
- Análisis de regresión lineal para cada uno de los tiempos de transporte, sexos y métodos de aturdimiento evaluados.

El programa de computación utilizado en la realización de los análisis estadísticos fue el SAS v. 9.0 (2004).

Con respecto al Experimento 4 (Observaciones Conductuales), se utilizó un diseño completamente aleatorio, con un arreglo factorial 2 x 2, con el tiempo de transporte (6 vs. 27 h) y sexo (hembras vs. castrados) como factores principales. El tiempo de descanso se evaluó igual, 3 h para cada caso.

En el caso de las concentraciones plasmáticas de cortisol y creatinina, para analizar el efecto del factor sexo en los valores basales, transporte y desangrado, se utilizó una prueba de t para muestras independientes.

## VII. RESULTADOS

### 7.1. Evaluación del tiempo de transporte

El **Cuadro 1** muestra la media y el error estándar de la media de los indicadores del perfil energético, desequilibrio ácido-base y gasometría sanguínea de los cerdos nacionales e importados transportados por tres diferentes intervalos. También se muestran valores de referencia cuya finalidad es poder determinar el efecto del tiempo de transporte sobre la fisiología del animal y por ende su bienestar. Se presentan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los tiempos de transporte para todas las variables evaluadas.

Se observa que para el caso de la variable temperatura corporal, el transporte corto (8 h) y mediano (16 h) originaron hipertermia, mientras que el transporte largo (27 h) desencadenó hipotermia; independientemente del tiempo de traslado, el transporte desencadenó estados de acidosis respiratoria y metabólica, hipocapnia, hipoxia, hipernatremia, hipercalcemia, hiperglucemia, hiperlactatemia e incremento del hematocrito. Por otro lado es importante mencionar que sólo el transporte corto originó hipopotasemia.

**Cuadro 1.** Media y error estándar del metabolismo energético, equilibrio ácido - base y gases sanguíneos transportados por 3 períodos.

Variables	Basales	Transporte 8 h	Transporte 16 h	Tr
	n=281	n=250	n=234	
	Media ± E E M	Media ± E E M	Media ± E E M	M
Temperatura (°C)	38.39±0.01 <sup>C</sup>	39.31±0.05 <sup>A</sup>	38.69±0.05 <sup>B</sup>	37
pH*	7.45±0.42 <sup>A</sup>	7.37±0.71 <sup>C</sup>	7.41±0.47 <sup>B</sup>	7
pCO <sub>2</sub> (mmHg)	58.005±0.36 <sup>A</sup>	40.69±0.27 <sup>B</sup>	34.33±0.32 <sup>D</sup>	35
pO <sub>2</sub> (mmHg)	32.06±0.47 <sup>A</sup>	22.43±0.34 <sup>D</sup>	28.35±0.38 <sup>B</sup>	25
Na <sup>+</sup> (mmol/L)	141.67±0.15 <sup>C</sup>	148.12±0.21 <sup>A</sup>	148.56±0.21 <sup>A</sup>	14
K <sup>+</sup> (mmol/L)	5.44±0.02 <sup>A</sup>	5.21±0.04 <sup>B</sup>	5.43±0.04 <sup>A</sup>	5
Ca <sup>2+</sup> (mmol/L)	1.27±0.005 <sup>D</sup>	1.45±0.01 <sup>B</sup>	1.54±0.01 <sup>A</sup>	1
Glucosa (mg/dL)	76.005±0.38 <sup>C</sup>	102.04±1.10 <sup>A</sup>	87.79±0.87 <sup>B</sup>	73
Lactato (mg/dL)	33.02±0.39 <sup>D</sup>	58.79±1.12 <sup>B</sup>	67.35±0.69 <sup>A</sup>	40
Hematocrito (%)	30.29±0.32 <sup>D</sup>	39.61±0.33 <sup>C</sup>	42.81±0.24 <sup>B</sup>	47

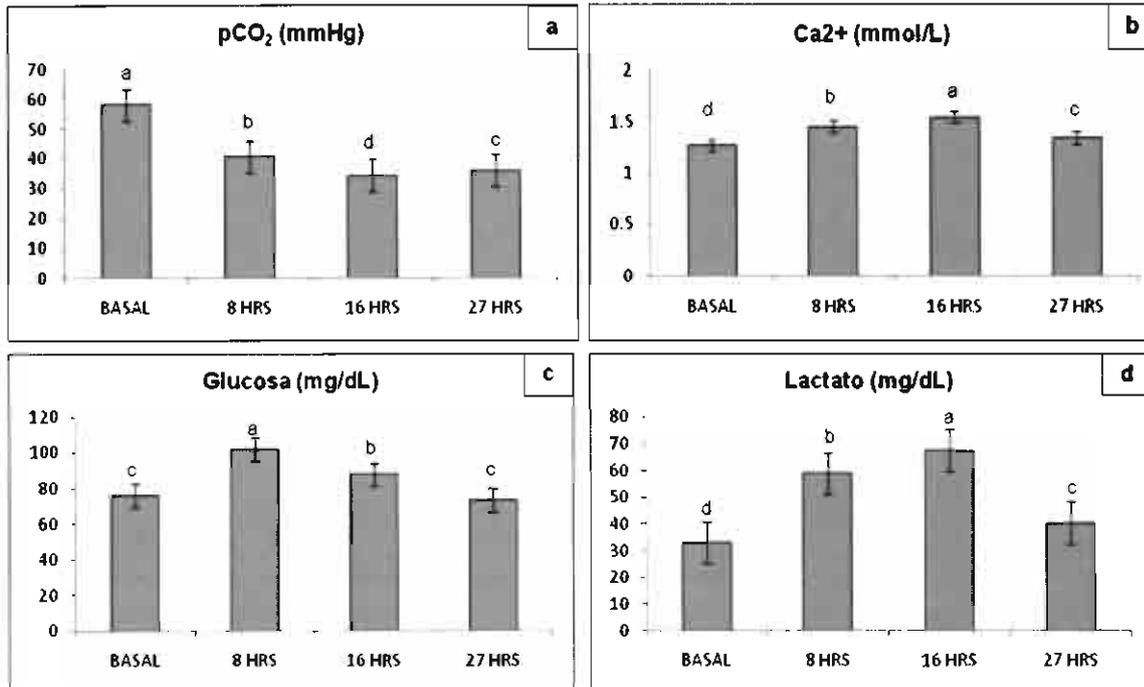
<sup>A,B,C</sup> Literales diferentes en la misma fila, señalan diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ). \*Analizada con Kruskal – Wallis ( $p < 0.05$ ) intervalo. Med = media y E E M = error estándar de la media.

En la **Figura 1** se presentan los resultados de las concentraciones de  $p\text{CO}_2$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , glucosa y lactato en ganado porcino transportado por tres diferentes tiempos; en la  $\text{PCO}_2$  (Panel a) se observa una marcada hipocapnia por efecto del tiempo de transporte ( $p < 0.05$ ), siendo el transporte de 16 horas el que reportó el valor más bajo.

El tiempo de transporte causó hipercalcemia (Panel b) estadísticamente diferente en todos los tiempos de transporte, sin embargo resultaron superiores los valores identificados en los animales transportados durante 16 h.

Al comparar los valores de glucosa entre tiempos de transporte (Panel c), se observa que en el caso de los animales transportados por 27 h y los valores basales hay ausencia de diferencias significativas; sin embargo, entre los restantes tiempos de transporte las concentraciones de glucosa sanguínea son estadísticamente diferentes, observando los valores más altos en los animales con transporte corto.

Las concentraciones de lactato (Panel d) incrementaron ( $p < 0.05$ ) aproximadamente 100.3% después de un transporte de 16 h en comparación con los valores basales; sin embargo, después de 27 h de transporte los valores de lactato se empiezan a acercarse a los valores normales. .



**Figura 1.** Efecto del tiempo de transporte en la pCO<sub>2</sub>, Ca<sup>2+</sup>, glucosa y lactato en ganado porcino. Los datos se presentan como medias ± error típico estándar. a, b, c, Literales diferentes entre columnas indican diferencias significativas a la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## 7.2 Evaluación de la interacción sexo y tiempo de transporte en cerdos nacionales

En el **Cuadro 2** se muestran la media y error estándar de la media de los indicadores del perfil energético, desequilibrio ácido-base y gasometría sanguínea de los cerdos transportados por dos diferentes intervalos. También se muestran valores de referencia cuya finalidad es poder determinar el efecto del tiempo de transporte sobre la fisiología del animal y por ende su bienestar. Se presentan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tiempos de transporte y sexos para todas las variables evaluadas.

De manera general en los animales transportados por 8 h se observa acidosis [pH (7.37)], hipocapnia [PCO<sub>2</sub> (40.62 mmHg)], hipoxia [PO<sub>2</sub> (22.47 mmHg)], hipernatremia [Na<sup>+</sup> (148.12 mmol/L)], hipercalcemia [Ca<sup>++</sup> (1.45 mmol/L)], hiperglucemia [Glu (102.1 mg/dL)], lactoacidemia [Lac (58.91 mg/dL)], e incremento del hematocrito [Htc (39.53%)], aunado a que las hembras presentaron

valores más elevados que los machos, los cuales son diferentes significativamente en las variables,  $PO_2$ ,  $Ca^{2+}$  y lactato; con excepción del porcentaje de  $PCO_2$ ,  $K^+$ , hematocrito en donde ocurre lo contrario. Para el caso de los animales transportados por 16 h se observa una disminución del pH sanguíneo (7.42),  $pCO_2$  (34.35 mmHg) y  $pO_2$  (28.34 mm/Hg), así como un aumento en los niveles circulantes de  $Na^+$  (148.56 mmol/L),  $Ca^{2+}$  (1.54 mmol/L), glucosa (87.64 mg/dL), lactato (67.39 mg/dL) y hematocrito (42.83%). Dentro del mismo grupo de animales transportado por 16 h, se observaron diferencias significativas entre sexos para las variables  $PCO_2$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ , glucosa, lactato y hematocrito; presentaron valores más elevados las hembras en comparación con los machos.

Cabe resaltar que los dos tiempos de transporte originaron hiperglucemia, lactoacidemia y evidencia de deshidratación, al observar en el total de los animales; hubo un incremento del hematocrito.

Es importante mencionar que el análisis de estadística no paramétrica aplicado en el caso de la variable pH arrojó diferencias significativas ( $p < .0001$ ) entre los tiempos de transporte y cada uno de ellos con los niveles basales.

**Cuadro 2.** Media y error estándar del metabolismo energético, equilibrio ácido - base y gases sanguíneos transportados por dos períodos.

Variables	Basales		8 h		Hembras n = 120
	Hembras	Machos	Hembras	Machos	
	n = 92	n = 108	n = 120	n = 130	
	Med ± E E M	Med ± E E M			
Temperatura (C)	38.36±0.02 <sup>D</sup>	38.41±0.02 <sup>D</sup>	39.51±0.07 <sup>A</sup>	39.12±0.07 <sup>B</sup>	38.61±0.07 <sup>C</sup>
pH*	7.44±0.40 <sup>B</sup>	7.47±0.41 <sup>A</sup>	7.36±0.54 <sup>D</sup>	7.38±0.64 <sup>CD</sup>	7.41±0.54 <sup>C</sup>
pCO <sub>2</sub> (mmHg)	59.46±0.46 <sup>A</sup>	56.75±0.52 <sup>B</sup>	39.22±0.44 <sup>D</sup>	42.04±0.30 <sup>C</sup>	35.81±0.30 <sup>B</sup>
pO <sub>2</sub> (mmHg)	31.21±0.85 <sup>AB</sup>	32.78±0.48 <sup>A</sup>	23.44±0.56 <sup>D</sup>	21.50±0.38 <sup>D</sup>	27.51±0.38 <sup>C</sup>
Na <sup>+</sup> (mmol/L)	141.0±0.17 <sup>C</sup>	142.25±0.23 <sup>B</sup>	148.05±0.36 <sup>A</sup>	148.20±0.24 <sup>A</sup>	148.31±0.24 <sup>A</sup>
K <sup>+</sup> (mmol/L)	5.38±0.04 <sup>BC</sup>	5.50±0.03 <sup>AB</sup>	4.93±0.04 <sup>D</sup>	5.51±0.05 <sup>AB</sup>	5.61±0.05 <sup>B</sup>
Ca <sup>2+</sup> (mmol/L)	1.24±0.008 <sup>D</sup>	1.29±0.007 <sup>D</sup>	1.48±0.02 <sup>B</sup>	1.42±0.01 <sup>C</sup>	1.61±0.01 <sup>C</sup>
Glucosa (mg/dL)	76.69±0.57 <sup>C</sup>	75.41±0.52 <sup>C</sup>	103.80±1.49 <sup>A</sup>	100.40±1.61 <sup>AB</sup>	78.81±1.61 <sup>B</sup>
Lactato (mg/dL)	31.65±0.57 <sup>D</sup>	34.17±0.51 <sup>D</sup>	61.79±1.89 <sup>B</sup>	56.03±1.23 <sup>C</sup>	70.11±1.23 <sup>C</sup>
Hematocrito (%)	29.51±0.45 <sup>D</sup>	30.95±0.44 <sup>D</sup>	37.63±0.50 <sup>C</sup>	41.43±0.38 <sup>B</sup>	44.31±0.38 <sup>B</sup>

<sup>A,B,C,D</sup> Literales diferentes en la misma fila, señalan diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ). \*Analizada con Kruskal - Wallis ( $p < 0.05$ ).

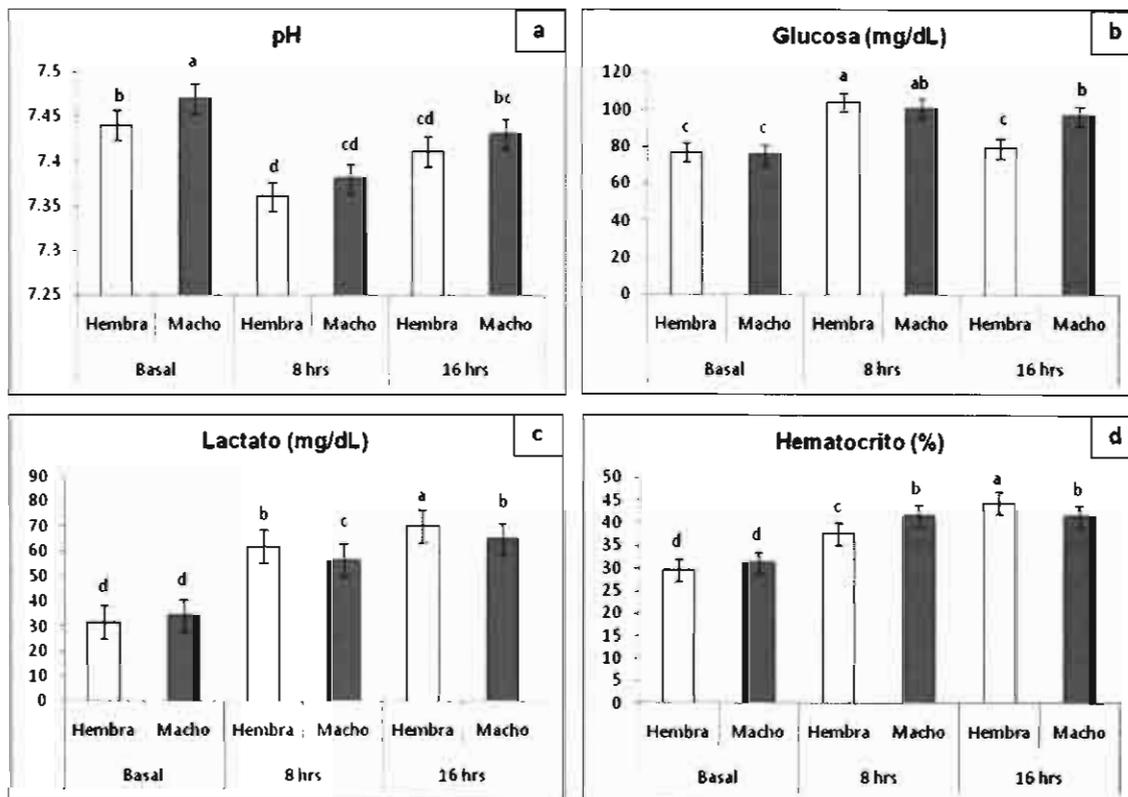
± intervalo. Med = media y E E M = error estándar de la media.

En la **Figura 2** se presentan los resultados de las concentraciones de pH, glucosa, lactato y hematocrito en ganado porcino transportado por dos diferentes tiempos y divididos por sexo; en el pH (Panel a) se observa una marcada acidosis por efecto del tiempo de transporte ( $p < 0.05$ ), siendo el transporte de 8 h y en particular en las hembras, donde se observó el valor más bajo.

El tiempo de transporte causó hiperglucemia (Panel b) estadísticamente diferente en los animales transportados por 8 h y en los machos de 16 h de transporte, sin embargo resulta importante mencionar que las hembras del transporte largo es estadísticamente igual a los valores basales.

Al comparar los valores de lactato entre tiempos de transporte (Panel c), se observa la existencia de una relación directamente proporcional entre el tiempo de transporte y los niveles de lactato, es decir, conforme se incrementa el tiempo de transporte se incrementaron los niveles de lactato. Las hembras de ambos tiempos de transporte presentan los valores más altos estadísticamente diferentes en comparación con los machos.

Los porcentajes de hematocrito (Panel d) se incrementaron estadísticamente con el tiempo de transporte en comparación con los valores basales; sin embargo, son las hembras del transporte largo quienes reflejan los valores más elevados, lo cual es una causa de la relación inversamente proporcional que se da entre contenido de agua y grasa corporales, es decir en las hembras al presentar un porcentaje menor de agua corporal se refleja un mayor grado de deshidratación.



**Figura 2.** Efecto del tiempo de transporte y sexo en el  $pCO_2$ ,  $Ca^{2+}$ , Glucosa y lactato en ganado porcino nacional. Los datos se presentan como medias  $\pm$  error típico estándar. a, b, c, d Literales diferentes entre columnas indican diferencias significativas a la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Los análisis de regresión lineal para los animales transportados por 8 h (Cuadro 3), señalan que las variables  $PO_2$ , lactato y  $Ca^{2+}$ , se correlacionaron negativamente con la  $PCO_2$ , es decir que conforme se van incrementando la  $PCO_2$  en sangre, se disminuye la cantidad de oxígeno, lactato y  $Ca^{2+}$ . Aunado a lo anterior, se observan correlaciones positivas entre la  $PCO_2$  con el porcentaje de hematocrito y concentración de  $K^+$ . Todas las correlaciones observadas en el presente cuadro son significativas estadísticamente.

**Cuadro 3.** Variables correlacionadas significativamente en 250 animales transportados 8 h.

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal ( $y = b + mx$ )		R	Valor de F y P
		$b \pm EEM$	$m \pm EEM$		
PCO <sub>2</sub> (mmHg)	Hematocrito (%)	28.47±1.94	0.30±0.04	0.37	39.95; <.0001
	PO <sub>2</sub> (mmHg)	46.51±1.12	-0.25±0.04	-0.31	28.11; <.0001
	K <sup>+</sup> (mmol/L)	31.22±2.33	1.80±0.44	0.25	16.47; <.0001
	Lactato (mg/dL)	43.89±0.93	-0.05±0.01	-0.22	12.66; 0.0004
	Ca <sup>2+</sup> (mmol/L)	46.50±2.16	-3.99±1.47	-0.16	7.33; 0.0073

Las variables independientes fueron enumeradas según el coeficiente de correlación (valor de R). Los valores de F y el P observados en el cuadro provienen del análisis de varianza del análisis de la regresión lineal. Los parámetros  $b$  y  $m$  en la ecuación lineal se observan con su correspondiente error estándar de la media (EEM).

En el **Cuadro 4** se muestran los análisis de regresión lineal para los animales transportados por 16 h. Las correlaciones negativas encontradas se dieron para la glucosa con los niveles de calcio, hematocrito, lactato y potasio; es decir, como una consecuencia de someter a los animales a situaciones de estrés crónica, se da una movilidad de las reservas energéticas al torrente sanguíneo que a su vez altera las concentraciones de calcio, lactato y potasio en el torrente sanguíneo. Por otro lado se presentó una correlación positiva del pH con la variable dependiente (glucosa).

**Cuadro 4.** Variables correlacionadas significativamente en 234 animales transportados 16 h.

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal ( $y = b + mx$ )		R	Valor de F y P
		$b \pm EEM$	$m \pm EEM$		
Glucosa (mg/dL)	Ca <sup>2+</sup> (mmol/L)	120.01±6.90	-20.86±4.43	-0.29	22.09; <.0001
	Hematocrito (%)	127.38±9.64	-0.92±0.22	-0.26	16.97; <.0001
	Lactato (mg/dL)	105.27±5.47	-0.25±0.08	-0.20	10.46; 0.0014
	K <sup>+</sup> (mmol/L)	109.49±7.68	-3.98±1.40	-0.18	8.05; 0.0050
	pH	-	23.01±9.20	0.16	6.25; 0.0131
		82.36±68.07			

Las variables independientes fueron enumeradas según el coeficiente de correlación (valor de R). Los valores de F y el P observados en el cuadro provienen del análisis de varianza del análisis de la regresión lineal. Los parámetros *b* y *m* en la ecuación lineal se observan con su correspondiente error estándar de la media (EEM).

### 7.3 Evaluación de la interacción sexo y tiempo de transporte en cerdos importados

En el **Cuadro 5** se muestra la media y el error estándar de la media del metabolismo energético, equilibrio ácido - base y gases sanguíneos al arribo en los cerdos americanos. Se observan diferencias significativas por efecto del estrés crónico (transporte) en comparación a los valores basales, aunado a la presencia de diferencias entre sexos. De manera general el tiempo de transporte desencadenó en los animales hipocapnia, hipoxia, hipernatremia, hipercalcemia e incremento en el porcentaje del hematocrito, aunado a los siguientes desórdenes fisiológicos: hipotermia e hipoglucemia en machos enteros y en hembras acidosis metabólica, hiperlactatemia e hiperglucemia, aunque estas últimas condiciones también resultaron estar presentes en los machos castrados.

**Cuadro 5.** Media y error estándar del metabolismo energético, equilibrio ácido - base y gases sanguíneos transportados por 27 horas y divididos por sexo.

	Basales				
	Hembras	Machos castrados	Machos enteros	Hembras	Machos enteros
	Med±EEM	Med±EEM	Med±EEM	Med±EEM	Med±EEM
Temperatura otal (°C)	38.35±0.02 <sup>A</sup>	38.43±0.02 <sup>A</sup>	38.37±0.03 <sup>A</sup>	38.23±0.08 <sup>A</sup>	38.33±0.02 <sup>A</sup>
pH*	7.43±0.40 <sup>B</sup>	7.46±0.41 <sup>A</sup>	7.44±0.39 <sup>B</sup>	7.36±0.57 <sup>C</sup>	7.44±0.40 <sup>B</sup>
pCO <sub>2</sub> (mmHg)	59.14±0.53 <sup>A</sup>	57.03±0.63 <sup>A</sup>	56.91±0.52 <sup>A</sup>	36.97±0.59 <sup>B</sup>	34.75±0.53 <sup>B</sup>
pO <sub>2</sub> (mmHg)	31.26±1.02 <sup>A</sup>	32.69±0.59 <sup>A</sup>	31.56±0.91 <sup>A</sup>	26.76±0.57 <sup>B</sup>	27.98±0.57 <sup>B</sup>
Na <sup>+</sup> (mmol/L)	141.0±0.20 <sup>B</sup>	142.08±0.26 <sup>B</sup>	142.30±0.26 <sup>B</sup>	146.87±0.44 <sup>A</sup>	147.4±0.20 <sup>B</sup>
K <sup>+</sup> (mmol/L)	5.31±0.05 <sup>BC</sup>	5.48±0.04 <sup>AB</sup>	5.42±0.04 <sup>B</sup>	5.66±0.04 <sup>A</sup>	5.12±0.05 <sup>C</sup>
Ca <sup>++</sup> (mmol/L)	1.25±0.009 <sup>C</sup>	1.28±0.008 <sup>C</sup>	1.27±0.008 <sup>C</sup>	1.39±0.02 <sup>B</sup>	1.51±0.02 <sup>B</sup>
Glucosa (mg/dL)	77.32±0.65 <sup>BC</sup>	75.90±0.59 <sup>C</sup>	75.96±0.81 <sup>C</sup>	81.86±1.43 <sup>B</sup>	104.45±1.43 <sup>A</sup>
Lactato (mg/dL)	32.12±0.67 <sup>C</sup>	33.96±0.61 <sup>C</sup>	32.90±0.62 <sup>C</sup>	55.89±2.34 <sup>A</sup>	40.86±0.67 <sup>C</sup>
Hematocrito (%)	29.56±0.51 <sup>D</sup>	30.95±0.54 <sup>D</sup>	30.09±0.48 <sup>D</sup>	46.4±0.51 <sup>B</sup>	41.38±0.51 <sup>B</sup>

<sup>A,B,C,D</sup> Literales diferentes en la misma fila, señalan diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ). \*Analizada con Kruskal – Wallis ( $p < 0.05$ ). ± intervalo. Med = media y E E M = error estándar de la media.

En el caso de correlaciones en las hembras transportadas por 27 h (**Cuadro 6**), se observan correlaciones positivas de la glucosa con la temperatura y el lactato, así como correlaciones negativas con el  $\text{Ca}^{++}$  y la  $\text{pO}_2$ . Es importante mencionar que la única correlación estadísticamente significativa fue de la glucosa con la temperatura.

**Cuadro 6.** Variables correlacionadas significativamente en 105 hembras transportadas por 27 h.

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal ( $y = b + mx$ )		R	Valor de F y P
		$b \pm \text{EEM}$	$m \pm \text{EEM}$		
Glucosa (mg/dL)	Temperatura (°C)	-51.39±62.86	3.48±1.64	0.20	4.50; 0.0364
	$\text{Ca}^{++}$ (mmol/L)	93.64±7.48	-8.44±5.26	-0.15	2.57; 0.1120
	Lactato (mg/dL)	77.12±3.63	0.08±0.05	0.13	2.01; 0.1594
	$\text{pO}_2$ (mmHg)	91.10±6.64	-0.34±0.24	-0.13	2.03; 0.1575

Las variables independientes fueron enumeradas según el coeficiente de correlación (valor de R). Los valores de F y el P observados en el cuadro provienen del análisis de varianza del análisis de la regresión lineal. Los parámetros  $b$  y  $m$  en la ecuación lineal se observan con su correspondiente error estándar de la media (EEM).

En el **Cuadro 7** se muestran los análisis de regresión lineal para los cerdos castrados al transporte, el total de las correlaciones observadas son positivas, es decir conforme se incrementa la glucosa, como una consecuencia de la movilización de las reservas energéticas, se va a afectar la concentración de  $\text{pCO}_2$ ,  $\text{pO}_2$ , pH y lactato.

**Cuadro 7.** Variables correlacionadas significativamente en 80 cerdos castrados transportados por 27 h.

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal ( $y = b + mx$ )		R	Valor de F y P
		$b \pm EEM$	$m \pm EEM$		
Glucosa (mg/dL)	pCO <sub>2</sub> (mmHg)	37.71±9.53	1.92±0.27	0.62	50.49; 0.0001
	pO <sub>2</sub> (mmHg)	70.71±8.97	1.20±0.31	0.39	14.80; 0.0002
	Lactato (mg/dL)	485.64±119.80	-51.43±16.16	0.34	10.13; 0.0021
	pH	94.59±3.63	0.24±0.07	0.33	10.39; 0.0018

Las variables independientes fueron enumeradas según el coeficiente de correlación (valor de R). Los valores de F y el P observados en el cuadro provienen del análisis de varianza del análisis de la regresión lineal. Los parámetros  $b$  y  $m$  en la ecuación lineal se observan con su correspondiente error estándar de la media (EEM).

Los análisis de regresión lineal para los machos enteros al transporte (**Cuadro 8**), señalan que las variables pH, temperatura y PO<sub>2</sub>, se correlacionaron positivamente con la glucosa; es decir, conforme se van incrementando la glucosa en sangre, se incrementa la acidez, temperatura y la cantidad de oxígeno. Aunado a lo anterior, se observa una correlación negativa entre la glucosa y el porcentaje de hematocrito. El total de las correlaciones observadas en el presente cuadro son significativas estadísticamente.

**Cuadro 8.** Variables correlacionadas significativamente en 137 cerdos enteros transportados por 27 h.

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal ( $y = b + mx$ )		R	Valor de F y P
		$b \pm EEM$	$m \pm EEM$		
Glucosa (mg/dL)	pH	-147.78±47.0	26.74±6.37	0.33	17.58; 0.0001
	Hematocrito (%)	109.13±15.32	-1.16±0.29	-0.31	15.40; 0.0001
	Temperatura (°C)	-99.19±59.84	3.96±1.59	0.20	6.16; 0.0143
	pO <sub>2</sub> (mmHg)	32.52±7.65	0.76±0.34	0.18	4.93; 0.0280

Las variables independientes fueron enumeradas según el coeficiente de correlación (valor de R). Los valores de F y el P observados en el cuadro provienen del análisis de varianza del análisis de la regresión lineal. Los parámetros  $b$  y  $m$  en la ecuación lineal se observan con su correspondiente error estándar de la media (EEM).

#### 7.4 Evaluación de dos métodos de aturdimiento

El **Cuadro 9** engloba la media y el error estándar de la media de la variable intervalo entre el aturdimiento y el inicio del desangrado en el ganado porcino, se observan diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) entre los dos métodos de aturdimiento, es decir cuando los cerdos son aturdidos en cámara de CO<sub>2</sub> se cuantificó un mayor intervalo de tiempo desde que los animales salen de dicha cámara hasta que son puncionados, lo anterior en comparación con los animales que fueron sometidos a un proceso de electronarcosis.

**Cuadro 9.** Media y error estándar de la media del tiempo entre aturdimiento e inicio del desangrado.

Variables	Aturdimiento	Aturdimiento	P
	CO <sub>2</sub> n = 247	eléctrico n = 252	
	Media ± E E M	Media ± E E M	
Tiempo en aturdimiento y desangrado (seg)	92.62±1.75	63.51±1.42	0.0001

n, número de observaciones; E E M = error estándar de la media.

En el **Cuadro 10** se muestran la media y el error estándar de la media de los indicadores del perfil energético, desequilibrio ácido-base y gasometría sanguínea de cerdos aturdidos previamente al sacrificio con dos métodos diferentes. También se muestran valores de referencia cuya finalidad es poder determinar el efecto de los métodos de aturdimiento sobre la fisiología del animal y por ende su bienestar. Se presentan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos para todas las variables evaluadas. Los resultados señalan diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos para todas las variables, en los animales aturdidos con CO<sub>2</sub> se observa hipercapnia [PCO<sub>2</sub> (96.39±0.93 mmHg)], hiperpotasemia [K<sup>+</sup> (14.20±0.14 mmol/L)], hipercalcemia [Ca<sup>++</sup> (1.45±0.006 mmol/L)], hiperglucemia [Glu (201.49±4.41 mg/dL)], lactoacidemia [Lac (129.49±0.57 mg/dL)] e incremento del hematocrito [Htc (51.67±0.38 %)], aunado a una disminución en el pH, pO<sub>2</sub>, y Na. Para el caso del aturdimiento eléctrico se observa una disminución del pH sanguíneo (7.14±0.007), pCO<sub>2</sub> (53.04±0.63 mmHg) y pO<sub>2</sub> (27.48±0.52 mm/Hg). En el caso del grupo de cerdos aturdidos con CO<sub>2</sub> se observa un aumento de pCO<sub>2</sub>, potasio, calcio, glucosa, lactato y hematocrito, aunado a una disminución en el pH, pO<sub>2</sub>, y sodio.

Para el caso del aturdimiento eléctrico se observa una disminución del pH sanguíneo, pCO<sub>2</sub> y pO<sub>2</sub>; el resto de los indicadores se ven aumentados en relación a los valores basales.

Es importante señalar que los dos métodos de aturdimiento originaron hiperglucemia y lactoacidemia, indicadores del estrés que origina el inicio del proceso de sacrificio. Aunado a lo anterior hay evidencia de deshidratación al observarse en el total de los animales aturdidos incremento en el hematocrito; esto sin duda es consecuencia del manejo previo al sacrificio y la falta de condiciones óptimas en los corrales de espera. Dichas alteraciones en conjunto son posibles causas de la afección del bienestar animal.

El análisis de estadística no paramétrica aplicado en el caso de la variable pH arrojó diferencias significativas ( $p < 0.01$ ) entre los métodos de aturdimiento y cada uno de ellos con los niveles basales.

**Cuadro 10.** Media y error estándar del metabolismo energético, equilibrio ácido - base y gases sanguíneos al desangrado de cerdos aturdidos por dos métodos.

Variables	Valores	Aturdimiento	Aturdimiento
	Basales n = 159	CO <sub>2</sub> n = 247	Eléctrico n = 252
	Med ± E E M	Med ± E E M	Med ± E E M
pH Sanguíneo*	7.45±0.42 <sup>A</sup>	6.92±0.38 <sup>C</sup>	7.14±0.65 <sup>B</sup>
PCO <sub>2</sub> (mmHg)	58.03±0.42 <sup>B</sup>	96.39±0.93 <sup>A</sup>	53.04±0.63 <sup>C</sup>
PO <sub>2</sub> (mmHg)	32.02±0.57 <sup>A</sup>	27.55±0.58 <sup>B</sup>	27.48±0.52 <sup>B</sup>
Na <sup>+</sup> (mmol/L)	141.57±0.17 <sup>B</sup>	140.64±0.67 <sup>B</sup>	146.13±0.47 <sup>A</sup>
K <sup>+</sup> (mmol/L)	5.40±0.03 <sup>C</sup>	14.20±0.14 <sup>A</sup>	9.91±0.13 <sup>B</sup>
Ca <sup>++</sup> (mmol/L)	1.27±0.006 <sup>C</sup>	1.45±0.006 <sup>A</sup>	1.29±0.005 <sup>B</sup>
Glucosa (mg/dL)	76.57±0.44 <sup>C</sup>	201.49±4.41 <sup>A</sup>	184.98±3.55 <sup>B</sup>
Lactato (mg/dL)	33.10±0.45 <sup>C</sup>	129.49±0.57 <sup>A</sup>	124.67±0.87 <sup>B</sup>
Hematocrito (%)	30.30±0.37 <sup>C</sup>	51.67±0.38 <sup>A</sup>	44.35±0.32 <sup>B</sup>

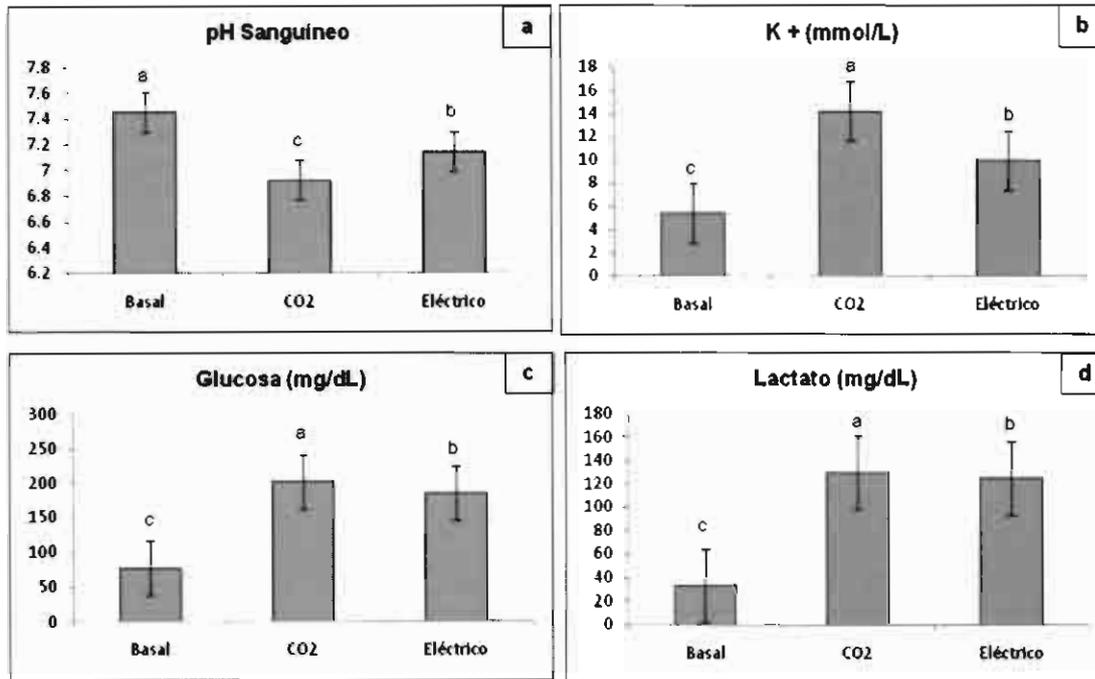
<sup>A,B,C</sup> Literales diferentes en la misma fila, señalan diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ). \*Analizada con Kruskal – Wallis ( $p < 0.01$ ) y expresada como mediana ± intervalo. Med = media y E E M = error estándar de la media.

En la **Figura 3** se presentan los resultados de las concentraciones de pH,  $K^+$ , glucosa y lactato en ganado porcino insensibilizado por dos diferentes métodos (electronarcosis y cámara de  $CO_2$ ); en el caso del pH (Panel a) se observan diferencias significativas entre los métodos de aturdimiento, ocasionando una marcada acidosis el aturdimiento en cámara de  $CO_2$ .

A pesar de que ambos métodos de aturdimiento causaron hipopotasemia (Panel b), fueron estadísticamente diferentes, resultando superiores los valores identificados en los animales aturdidos en cámaras de  $CO_2$ .

Al comparar los valores de glucosa entre métodos de aturdimiento (Panel c), se observa el mismo comportamiento que se ha mencionado anteriormente, es decir, los animales aturdidos en cámaras de  $CO_2$  presentan los valores más elevados, los cuales resultan ser estadísticamente diferentes con los valores de los animales aturdidos eléctricamente y con los valores de referencia.

Las concentraciones de lactato muestran diferencias significativas entre métodos de aturdimiento (Panel d); se incrementaron aproximadamente en un 391.20% después de que los animales fueron sometidos al aturdimiento en cámaras de  $CO_2$ , en comparación con los valores basales; sin embargo, es importante mencionar que la electronarcosis también resultó ser un estímulo altamente estresante incrementando los valores en un 376.64% en comparación con los valores basales. Es evidente que los estímulos agudos (aturdimiento) causan mayores alteraciones en los niveles de lactato en comparación con estímulos estresantes crónicos (transporte).



**Figura 3.** Efecto del método de aturdimiento en el pH sanguíneo,  $K^+$ , glucosa y lactato en ganado porcino. Los datos se presentan como medias  $\pm$  error típico estándar. a, b, c, Literales diferentes entre columnas indican diferencias significativas a la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Los análisis de regresión lineal para los animales aturridos con  $CO_2$  (**Cuadro 11**), señalan que las variables  $PO_2$ , glucosa y pH, se correlacionaron negativamente con la  $PCO_2$ , es decir que conforme se van incrementando la  $PCO_2$  en sangre, se disminuye la cantidad de oxígeno, glucosa y pH; aunado a lo anterior, se observan correlaciones positivas entre la  $PCO_2$  con el porcentaje de hematocrito y concentración de lactato. El total de las correlaciones observadas en el presente cuadro son significativas estadísticamente.

**Cuadro 11.** Variables correlacionadas significativamente en 247 animales aturridos en cámara de CO<sub>2</sub>

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal (y = b + mx)		R	Valor de F y P
		b ± E E M	m ± E E M		
PCO <sub>2</sub> (mmHg)	PO <sub>2</sub> (mmHg)	122.14±2.41	-0.93±0.08	-0.59	127.80; 0.0001
	Glucosa (mg/dL)	119.99±2.34	-0.11±0.01	-0.57	113.84; 0.0001
	Hematocrito (%)	26.04±6.66	1.35±0.12	0.56	112.80; 0.0001
	Lactato (mg/dL)	19.84±12.31	0.59±0.09	0.37	38.80; 0.0001
	pH	426.53±54.83	-47.57±7.90	-0.36	36.26; 0.0001

Las variables independientes fueron enumeradas según el coeficiente de correlación (valor de R). Los valores de F y el P observados en la tabla provienen del análisis de varianza del análisis de la regresión lineal. Los parámetros *b* y *m* en la ecuación lineal se observan con su correspondiente error estándar de la media (EEM).

En el **Cuadro 12** se muestran los análisis de regresión lineal para los animales aturridos por electronarcosis, las correlaciones positivas encontradas se dieron para la PCO<sub>2</sub> con los niveles de potasio, glucosa y calcio, es decir conforme se incrementa la PCO<sub>2</sub>, como una consecuencia de la afección del centro respiratorio nervioso, se va a dar una mayor movilidad del potasio, calcio y glucosa al torrente sanguíneo. Por otro lado se presentaron correlaciones negativas del pH y PO<sub>2</sub> con la variable dependiente (PCO<sub>2</sub>).

**Cuadro 12.** Variables correlacionadas significativamente en 252 animales aturdidos eléctricamente.

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal ( $y = b + mx$ )		R	Valor de F y P
		$b \pm EEM$	$m \pm EEM$		
PCO <sub>2</sub> (mmHg)	K <sup>++</sup> (mmol/L)	39.55±3.09	1.35±0.30	0.27	19.59; 0.0001
	pH	217.37±38.78	-23.003±5.43	-0.26	17.94; 0.0001
	Glucosa (mg/dL)	44.81±2.12	0.04±0.01	0.24	16.36; 0.0001
	Ca <sup>++</sup> (mmol/L)	16.49±9.57	28.19±7.35	0.23	14.69; 0.0002
	PO <sub>2</sub> (mmHg)	59.28±2.18	-0.22±0.07	-0.18	9.001; 0.0030

Las variables independientes fueron enumeradas según el coeficiente de correlación (valor de R). Los valores de F y el P observados en la tabla provienen del análisis de varianza del análisis de la regresión lineal. Los parámetros  $b$  y  $m$  en la ecuación lineal se observan con su correspondiente error estándar de la media (EEM).

### 7.5 Evaluación de la interacción sexo y tipo de aturdimiento en cerdos nacionales

En el **Cuadro 13** se muestra la media y error estándar de la media de los indicadores del perfil energético, desequilibrio ácido-base y gasometría sanguínea de cerdos aturdidos previamente al sacrificio con dos métodos diferentes y divididos por sexo. También se muestran valores de referencia cuya finalidad es poder determinar el efecto de los métodos de aturdimiento sobre la fisiología del animal y por ende su bienestar. Se observan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre métodos de aturdimiento y entre sexos; es decir en el caso de los animales aturdidos eléctricamente se observa cuadros clínicos de acidosis ( $7.24 \pm 0.16$ ), hipoxia ( $25.84 \pm 6.31$ ), hipernatremia ( $144.89 \pm 4.77$ ), hipercalcemia ( $1.38 \pm 0.16$ ); aunado a hiperpotasemia ( $9.40 \pm 2.67$ ), hiperglucemia ( $129.47 \pm 46.49$ ), lactoacidemia ( $78.61 \pm 33.17$ ) y deshidratación ( $48.50 \pm 4.52$ ) con diferencias entre sexos, es decir los machos presentaron una mayor pérdida de agua corporal,

mientras que las hembras resultaron ser más susceptibles al estímulo estresante del aturdimiento, sin omitir el efecto del tiempo de transporte sobre este último género.

En el caso de los animales aturridos en cámaras de CO<sub>2</sub> se observan estados de acidosis ( $7.13 \pm 0.23$ ), hiperpotasemia ( $13.82 \pm 2.35$ ), deshidratación ( $51.52 \pm 4.87$ ); adicionalmente con diferencias entre sexos hipercapnia ( $106.33 \pm 9.01$ ), hipercalcemia ( $1.45 \pm 0.16$ ), hiperglucemia ( $160.91 \pm 43.48$ ) y lactoacidemia ( $87.0 \pm 30.90$ ). Se observa un comportamiento muy semejante entre sexos al descrito en el aturdimiento eléctrico; sin embargo es importante mencionar que los animales aturridos en las cámaras de CO<sub>2</sub> reportaron los valores más elevados para las siguientes variables PCO<sub>2</sub> (mmHg), K<sup>+</sup> (mmol/L), Ca<sup>++</sup> (mmol/L), glucosa (mg/dL), lactato (mg/dL) y hematocrito (%).

**Cuadro 13.** Media y error estándar de las variables sanguíneas evaluadas en animales transportados dos diferentes métodos.

	Basales		Eléctrico		He n
	Hembras n = 75	Machos n = 84	Hembras n = 138	Machos n = 165	
	Med ± EEM	Med ± EEM	Med ± EEM	Med ± EEM	Med
Intervalo aturdimiento-desangrado (seg)			64.76±2.25 <sup>A</sup>	62.47±1.82 <sup>A</sup>	64.4
Temperatura otal (°C)	38.36±0.02 <sup>A</sup>	38.41±0.02 <sup>A</sup>	38.12±0.13 <sup>AB</sup>	38.16±0.13 <sup>AB</sup>	37.8
pH	7.44±0.40 <sup>A</sup>	7.47±0.41 <sup>A</sup>	7.32±0.64 <sup>B</sup>	7.25±0.77 <sup>B</sup>	7.10
PCO <sub>2</sub> (mmHg)	59.46±0.46 <sup>C</sup>	56.75±0.52 <sup>CD</sup>	53.10±0.75 <sup>E</sup>	53.98±0.76 <sup>DE</sup>	90.0
PO <sub>2</sub> (mmHg)	31.21±0.85 <sup>B</sup>	32.78±0.48 <sup>AB</sup>	25.84±0.53 <sup>C</sup>	27.72±0.64 <sup>C</sup>	34.8
Na <sup>+</sup> (mmol/L)	141.0±0.17 <sup>B</sup>	142.25±0.23 <sup>AB</sup>	144.89±0.40 <sup>A</sup>	144.83±0.68 <sup>A</sup>	137.8
K <sup>+</sup> (mmol/L)	5.38±0.04 <sup>D</sup>	5.50±0.03 <sup>D</sup>	8.48±0.22 <sup>C</sup>	9.40±0.21 <sup>B</sup>	13.8
Ca <sup>++</sup> (mmol/L)	1.24±0.008 <sup>C</sup>	1.29±0.007 <sup>C</sup>	1.37±0.01 <sup>B</sup>	1.38±0.01 <sup>B</sup>	1.29
Glucosa (mg/dL)	76.69±0.57 <sup>D</sup>	75.41±0.52 <sup>D</sup>	129.47±3.95 <sup>B</sup>	96.76±3.35 <sup>C</sup>	160.9
Lactato (mg/dL)	31.65±0.57 <sup>D</sup>	34.17±0.51 <sup>D</sup>	78.61±2.85 <sup>A</sup>	51.95±1.71 <sup>C</sup>	87.0
Hematocrito (%)	29.51±0.45 <sup>D</sup>	30.95±0.44 <sup>D</sup>	46.52±0.48 <sup>C</sup>	48.50±0.35 <sup>B</sup>	50.22

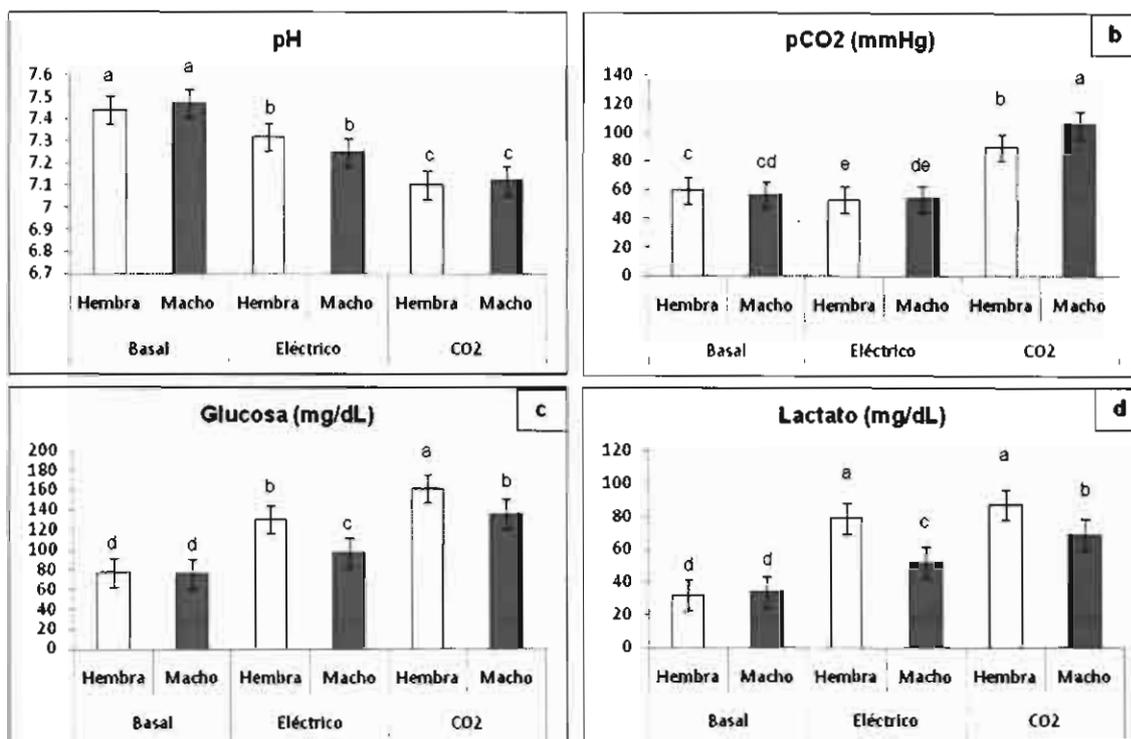
<sup>A,B,C,D,E</sup> Literales diferentes en la misma fila, señalan diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ). \*Analizada con Kruskal – Wallis. Mediana ± intervalo. Med = media y E E M = error estándar de la media.

En la **Figura 4** se presentan los resultados de las concentraciones de pH, pCO<sub>2</sub>, glucosa y lactato en ganado porcino insensibilizado por dos diferentes métodos (electronarcosis y cámara de CO<sub>2</sub>) y divididos por sexo; en el caso del pH (Panel a) se observan diferencias significativas entre los métodos de aturdimiento, pero no entre los sexos evaluados.

En el caso del pCO<sub>2</sub> (Panel b) se presentaron diferencias estadísticas entre métodos de aturdimiento y en el caso específico de los animales aturridos en cámaras de CO<sub>2</sub> se presentaron diferencias entre los sexos evaluados, es decir, los machos fueron quienes presentaron la mayor hipercapnia.

Al comparar los valores de glucosa entre métodos de aturdimiento y sexos (Panel c), se observa un comportamiento similar al descrito en el caso de la pCO<sub>2</sub>, con la diferencia de que fueron las hembras aturridas en cámaras de CO<sub>2</sub> las que resultaron estadísticamente diferentes a los otros tratamientos evaluados.

Las concentraciones de lactato muestran diferencias significativas entre métodos de aturdimiento y sexos (Panel d); resultando ser las hembras quienes reportan la mayor lactoacidemia, inclusive estadísticamente diferente con los machos aturridos con el mismo método. La electronarcosis para los machos castrados resultó ser el método de aturdimiento que originó menores alteraciones en los niveles de lactato.



**Figura 4.** Efecto del método de aturdimiento en el pH sanguíneo, pCO<sub>2</sub>, glucosa y lactato en ganado porcino nacional. Los datos se presentan como medias ± error típico estándar. a, b, c, d Literales diferentes entre columnas indican diferencias significativas a la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Los análisis de regresión lineal para los animales aturridos con CO<sub>2</sub> (**Cuadro 14**), señalan que las variables PO<sub>2</sub>, glucosa y lactato, se correlacionaron negativamente con la PCO<sub>2</sub>, es decir que conforme se van incrementando la PCO<sub>2</sub> en sangre, se disminuye la cantidad de oxígeno, glucosa y lactato; aunado a lo anterior se observan correlaciones positivas entre la PCO<sub>2</sub> con los niveles de Ca<sup>++</sup> y porcentaje de hematocrito. El total de las correlaciones observadas en el presente cuadro son significativas estadísticamente.

**Cuadro 14.** Variables correlacionadas significativamente en 247 animales aturridos en cámara de CO<sub>2</sub>

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal (y = b + mx)		R	Valor de F y P
		b ± E E M	m ± E E M		
PCO <sub>2</sub> (mmHg)	PO <sub>2</sub> (mmHg)	-0.65±0.08	116.65±2.34	-0.47	66.49; 0.0001
	Ca <sup>++</sup> (mmol/L)	24.63±5.09	-0.11±0.01	0.30	23.40; 0.0001
	Glucosa (mg/dL)	-0.06±0.01	108.49±2.78	-0.24	14.30; 0.0001
	Lactato (mg/dL)	-0.10±0.02	106.02±2.30	-0.23	13.15; 0.0004
	Hematocrito(%)	0.41±0.16	77.32±8.68	0.15	5.95; 0.0154

Las variables independientes fueron enumeradas según el coeficiente de correlación (valor de R). Los valores de F y el P observados en la tabla provienen del análisis de varianza del análisis de la regresión lineal. Los parámetros *b* y *m* en la ecuación lineal se observan con su correspondiente error estándar de la media (EEM).

En el **Cuadro 15** se muestran los análisis de regresión lineal para los animales aturridos por electronarcosis, las correlaciones positivas encontradas se dieron para los niveles de Na<sup>+</sup> con los niveles de potasio, Ca<sup>++</sup> y lactato; es decir, conforme se incrementan los niveles de Na<sup>+</sup>, se va a dar una mayor movilidad del potasio, Ca<sup>++</sup> y lactato al torrente sanguíneo. Por otro lado se presentaron correlaciones negativas del hematocrito con la variable dependiente (Na<sup>+</sup>). Lo anterior demuestra que durante períodos de transporte largos (16 h), los animales llegan en estado de deshidratación al centro de sacrificio y los períodos de reposo no son suficientes para restablecer los niveles hídricos normales, por lo que se pueden presentar repercusiones significativas en la calidad de la canal al verse afectada negativamente la sangría.

**Cuadro 15.** Variables correlacionadas significativamente en 252 animales aturridos eléctricamente.

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal ( $y = b + mx$ )		R	Valor de F y P
		$b \pm EEM$	$m \pm EEM$		
Na <sup>+</sup> (mmol/L)	K <sup>+</sup> (mmol/L)	0.49±0.15	140.31±1.43	0.18	10.25; 0.0015
	Temperatura (°C)	-0.76±0.24	173.94±9.26	0.17	9.87; 0.0018
	Ca <sup>++</sup> (mmol/L)	-7.12±2.74	154.68±3.82	0.14	6.70; 0.0101
	Lactato (mg/dL)	0.02±0.01	143.17±0.97	0.11	3.82; 0.0513
	Hematocrito (%)	-0.11±0.08	150.10±3.86	-0.07	1.86; 0.1729

Las variables independientes fueron enumeradas según el coeficiente de correlación (valor de R). Los valores de F y el P observados en la tabla provienen del análisis de varianza del análisis de la regresión lineal. Los parámetros *b* y *m* en la ecuación lineal se observan con su correspondiente error estándar de la media (EEM).

## 7.6 Evaluación de la interacción sexo y tipo de aturdimiento en cerdos importados

En el **Cuadro 16** se muestra la media y error estándar de la media del metabolismo energético, equilibrio ácido - base y gases sanguíneos post-desangrado de cerdos americanos. Se observan diferencias significativas por efecto del estrés agudo (aturdimiento) en comparación a los valores basales, aunado a la presencia de diferencias entre sexos. De manera general el aturdimiento en cámara de CO<sub>2</sub> origina en los animales desórdenes fisiológicos tales como acidosis respiratoria y metabólica, hipercapnia, hiperpotasemia, hipercalcemia, hiperglucemia, hiperlactatemia e incremento en el porcentaje del hematocrito; por otra parte adicionalmente en las hembras se dio hipotermia e hiponatremia.

**Cuadro 16.** Media y error estándar de la media del metabolismo energético, equilibrio ácido – base transporte y post-desangrado de cerdos americanos.

	Basales			Desangrado	
	Hembras	Machos castrados	Machos enteros	Hembras	Machos castrados
	Med±EEM	Med±EEM	Med±EEM	Med±EEM	Med±EEM
Temperatura otal (°C)	38.35±0.02 <sup>Ab</sup>	38.43±0.02 <sup>A</sup>	38.37±0.03 <sup>A</sup>	37.87±0.14 <sup>B</sup>	38.58±0.02 <sup>B</sup>
pH*	7.43±0.40 <sup>B</sup>	7.46±0.41 <sup>A</sup>	7.44±0.39 <sup>B</sup>	7.01±0.73 <sup>C</sup>	7.17±0.73 <sup>C</sup>
pCO <sub>2</sub> (mmHg)	59.14±0.53 <sup>C</sup>	57.03±0.63 <sup>C</sup>	56.91±0.52 <sup>C</sup>	89.11±0.99 <sup>B</sup>	106.79±0.99 <sup>B</sup>
pO <sub>2</sub> (mmHg)	31.26±1.02 <sup>A</sup>	32.69±0.59 <sup>A</sup>	31.56±0.91 <sup>A</sup>	34.02±0.77 <sup>A</sup>	20.16±0.77 <sup>A</sup>
Na <sup>+</sup> (mmol/L)	141.0±0.20 <sup>AB</sup>	142.08±0.26 <sup>A</sup>	142.30±0.26 <sup>A</sup>	137.50±1.11 <sup>B</sup>	139.05±1.11 <sup>B</sup>
K <sup>+</sup> (mmol/L)	5.31±0.05 <sup>B</sup>	5.48±0.04 <sup>B</sup>	5.42±0.04 <sup>B</sup>	13.89±0.24 <sup>A</sup>	13.68±0.24 <sup>A</sup>
Ca <sup>++</sup> (mmol/L)	1.25±0.009 <sup>B</sup>	1.28±0.008 <sup>B</sup>	1.27±0.008 <sup>B</sup>	1.46±0.02 <sup>A</sup>	1.31±0.02 <sup>A</sup>
Glucosa (mg/dL)	77.32±0.65 <sup>D</sup>	75.90±0.59 <sup>D</sup>	75.96±0.81 <sup>D</sup>	175.75±5.97 <sup>A</sup>	121.21±3.24 <sup>A</sup>
Lactato (mg/dL)	32.12±0.67 <sup>C</sup>	33.96±0.61 <sup>C</sup>	32.90±0.62 <sup>C</sup>	100.27±3.24 <sup>A</sup>	74.46±2.71 <sup>A</sup>
Hematocrito (%)	29.56±0.51 <sup>C</sup>	30.95±0.54 <sup>C</sup>	30.09±0.48 <sup>C</sup>	49.25±0.57 <sup>B</sup>	53.09±0.57 <sup>B</sup>

<sup>A,B,C,D,E</sup> Literales diferentes en la misma fila, señalan diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ). \*Analizada con Kruskal – Wallis. Mediana ± intervalo. Med = media y E E M = error estándar de la media.

En el **Cuadro 17** se muestran los análisis de regresión lineal para las hembras post aturdimiento, se señala que las variables lactato y glucosa, se correlacionaron positivamente con la temperatura, es decir la glucólisis anaerobia incrementa la temperatura corporal. Aunado a lo anterior, se observa una correlación negativa de la temperatura con la concentración de K<sup>+</sup> plasmático y presión parcial de CO<sub>2</sub>. El total de las correlaciones positivas observadas en el presente cuadro son significativas estadísticamente.

**Cuadro 17.** Variables correlacionadas significativamente en 88 hembras aturdidas en cámaras de CO<sub>2</sub>.

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal (y = b + mx)		R	Valor de F y P
		b ± E E M	m ± E E M		
Temperatura (°C)	Lactato (mg/dL)	36.17±0.46	0.01±0.004	0.38	14.92; 0.0002
	Glucosa (mg/dL)	36.44±0.44	0.008±0.002	0.34	11.29; 0.0012
	K <sup>+</sup> (mmol/L)	39.53±0.85	-0.11±0.06	-0.20	3.81; 0.0542
	pCO <sub>2</sub> (mmHg)	39.57±1.37	-0.01±0.01	-0.13	1.54; 0.2187

Las variables independientes fueron enumeradas según el coeficiente de correlación (valor de R). Los valores de F y el P observados en el cuadro provienen del análisis de varianza del análisis de la regresión lineal. Los parámetros b y m en la ecuación lineal se observan con su correspondiente error estándar de la media (EEM).

Los análisis de regresión para los machos castrados post aturdimiento (**Cuadro 18**) nos indican que las concentraciones de Na<sup>+</sup> e iones hidrógeno en el plasma se correlacionan positivamente con la temperatura; por otro lado hay una correlación positiva del porcentaje de hematocrito con la temperatura, la cual es debido principalmente a la pérdida de líquidos corporales; aunado a lo anterior se observa otra correlación positiva de la temperatura con la concentración de lactato, consecuencia del incremento del metabolismo energético que se da en los

animales por efecto del estrés agudo. Es importante destacar que el total de las correlaciones resultan ser estadísticamente significativas.

**Cuadro 18.** Variables correlacionadas significativamente en 106 cerdos castrados aturridos en cámaras de CO<sub>2</sub>.

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal (y = b + mx)		R	Valor de F y P
		b ± E E M	m ± E E M		
Temperatura (°C)	Na <sup>+</sup> (mmol/L)	46.13±1.73	-0.05±0.01	-0.39	18.89; <0.0001
	Hematocrito (%)	33.38±1.37	0.09±0.02	0.34	14.51; 0.0002
	Lactato (mg/dL)	37.42±0.40	0.01±0.005	0.29	9.70; 0.0024
	pH	54.94±5.19	-2.27±0.72	-0.29	9.94; 0.0021

Las variables independientes fueron enumeradas según el coeficiente de correlación (valor de R). Los valores de F y el P observados en el cuadro provienen del análisis de varianza del análisis de la regresión lineal. Los parámetros *b* y *m* en la ecuación lineal se observan con su correspondiente error estándar de la media (EEM).

En el **Cuadro 19** se presentan las correlaciones de los machos enteros post aturdimiento; se destacan por la presencia de diferencias significativas las correlaciones positivas de la glucosa y el hematocrito con los niveles de Ca<sup>2+</sup>, es decir conforme se incrementan las concentraciones de glucosa y hematocrito se aumentan los niveles de Ca<sup>2+</sup> en plasma. Lo anterior nos está señalando que los animales con gónadas masculinas tienden a ser más activos por ende presentan mayor actividad muscular que requiere un mayor metabolismo energético.

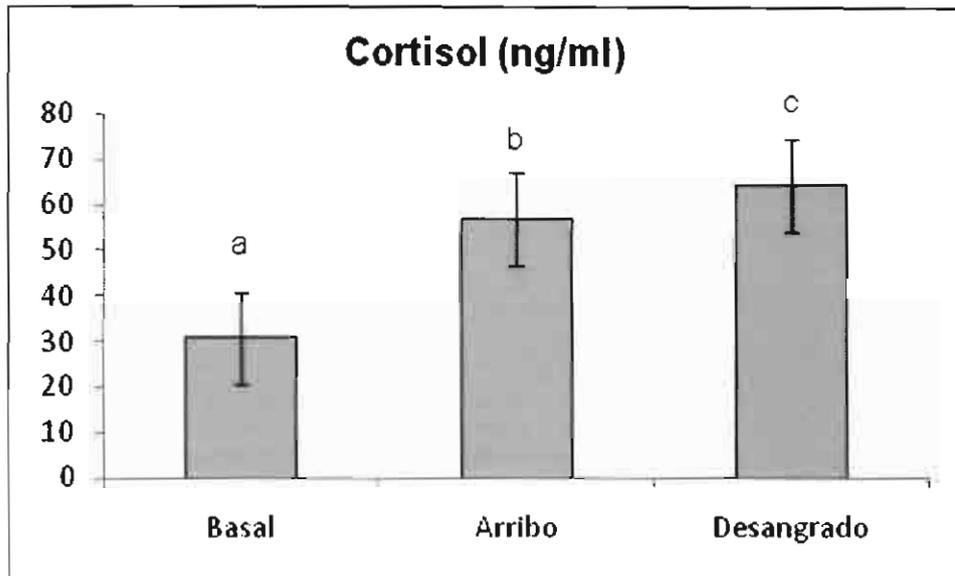
**Cuadro 19.** Variables correlacionadas significativamente en 78 cerdos enteros aturdidos en cámaras de CO<sub>2</sub>.

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal (y = b + mx)		R	Valor de F y P
		b ± E E M	m ± E E M		
Ca <sup>2+</sup> (mmol/L)	Glucosa (mg/dL)	1.27±0.08	0.001±0.00	0.23	4.62; 0.0348
	Hematocrito (%)	1.03±0.19	0.008±0.003	0.23	4.59; 0.0353
	K <sup>+</sup> (mmol/L)	1.65±0.10	-0.01±0.007	-0.22	3.87; 0.0528
	pH	0.91±0.62	0.07±0.08	0.09	0.76; 0.3873

Las variables independientes fueron enumeradas según el coeficiente de correlación (valor de R). Los valores de F y el P observados en el cuadro provienen del análisis de varianza del análisis de la regresión lineal. Los parámetros *b* y *m* en la ecuación lineal se observan con su correspondiente error estándar de la media (EEM).

### 7.7 Valores de cortisol y creatinina post arribo y post aturdimiento en cerdos nacionales e importados

La **Figura 5** muestra los valores promedio de cortisol basales, al arribo y al desangrado en ganado porcino. Se observan diferencias significativas entre tratamientos por efecto de la duración del estímulo estresante, es decir, cuando el estrés es de menor duración (aturdimiento) los valores resultan ser superiores a los obtenidos por efecto de un estímulo estresante crónico (13 horas de transporte). Lo anterior se justifica al considerar que el cortisol es una medida que depende del tiempo; Lay *et al.* (1992) mencionan que de 10 a 20 min es el tiempo necesario para alcanzar los valores máximos de dicho indicador del estrés.



**Figura 5.** Efecto del tiempo de transporte y método de aturdimiento sobre los valores de cortisol en ganado porcino nacional. Los datos se presentan como medias  $\pm$  error típico estándar. a, b, c, Literales diferentes entre columnas indican diferencias significativas a la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

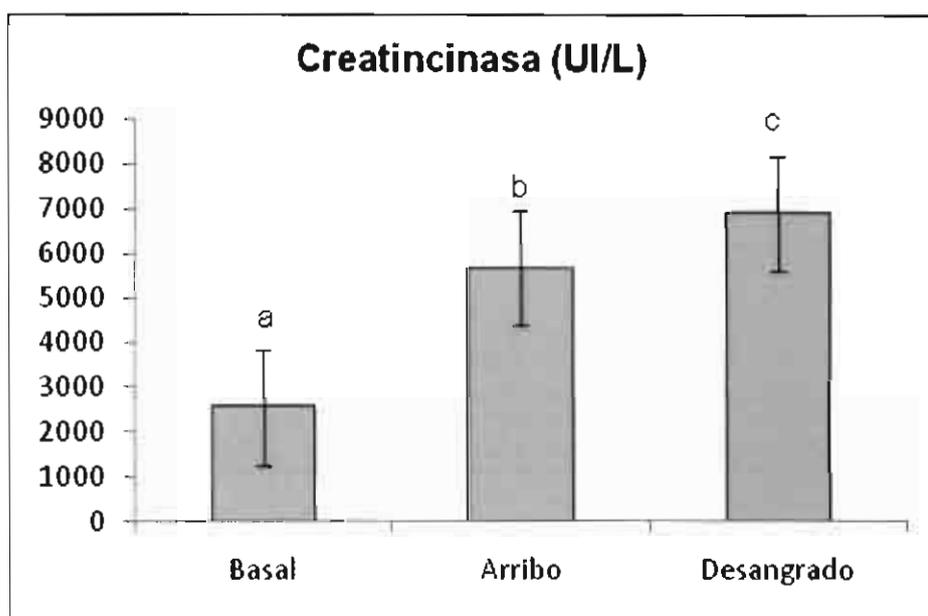
En el **Cuadro 20** se observa la media y error estándar de la media de la variable cortisol en animales transportados por 13 y 48 h y al momento del desangrado en tres diferentes sexos. Se observan diferencias significativas entre tratamientos, en donde el momento del desangrado origina los valores más elevados para dicha variable, seguidos por el transporte corto y por el transporte largo. Al realizar comparaciones entre sexos se presentaron diferencias por efecto del tiempo de transporte y desangrado, los machos tanto enteros como castrados mostraron valores por encima a las hembras, es decir en estas últimas se dio una mayor resistencia a los estímulos estresantes en comparación con los machos.

**Cuadro 20.** Valores de cortisol basal, post transporte y post insensibilizado en diferentes períodos y e

Variables	Basal	Transporte	Desangrado	Transporte	Desan
		(13 h)	(13 h)	(48 h.)	(48 h.)
	Med ± EEM				
Cortisol (ng/ml) en hembras	29.90±1.69 <sup>D</sup>	53.10±1.12 <sup>B</sup>	60.20±0.84 <sup>A</sup>	43.60±1.25 <sup>C</sup>	59.30±1.12 <sup>B</sup>
Cortisol (ng/ml) en machos castrados	31.50±1.64 <sup>D</sup>	60.80±1.27 <sup>B</sup>	68.60±1.98 <sup>A</sup>	49.10±2.11 <sup>C</sup>	64.60±1.12 <sup>B</sup>
Cortisol (ng/ml) en machos enteros				47.50±1.10 <sup>B</sup>	68.50±1.12 <sup>B</sup>
	P				
	0.5065	0.0003	0.0021	0.0524	0.0021

<sup>A, B, C</sup> Superíndices diferentes en la misma fila señalan diferencias significativas según la prueba de Tukey al 5% de error estándar de la media.

La **Figura 6** muestra los valores promedio de creatincinasa basales, al arribo y al desangrado en ganado porcino. Se observan diferencias significativas entre tratamientos por efecto de la duración del estímulo estresante al igual que en el caso de la variable cortisol; es decir, cuando el estrés es de menor duración (aturdimiento) los valores resultan ser superiores a los obtenidos por efecto de un estímulo estresante crónico (transporte). Lo anterior se justifica al considerar que dicha variable es una medida dependiente del tiempo.



**Figura 6.** Efecto del tiempo de transporte y método de aturdimiento sobre los valores de creatincinasa en ganado porcino nacional. Los datos se presentan como medias  $\pm$  error típico estándar. a, b, c. Literales diferentes entre columnas indican diferencias significativas a la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

El **Cuadro 21** contiene la media y el error estándar de la media para la variable CK; se presentan diferencias significativas entre los tiempos de transporte y el momento del desangrado, en donde el desangrado posterior a un transporte de 48 h, desencadenó los valores más elevados aunque iguales significativamente con los valores del desangrado de los animales transportados por 13 h. De igual forma es importante mencionar la presencia de diferencias significativas entre los diferentes sexos, en el total de los períodos de evaluación,

es decir inclusive en las muestras basales se observan diferencias entre machos y hembras, los valores registrados en estas últimas son superiores en comparación con los machos castrados y enteros.

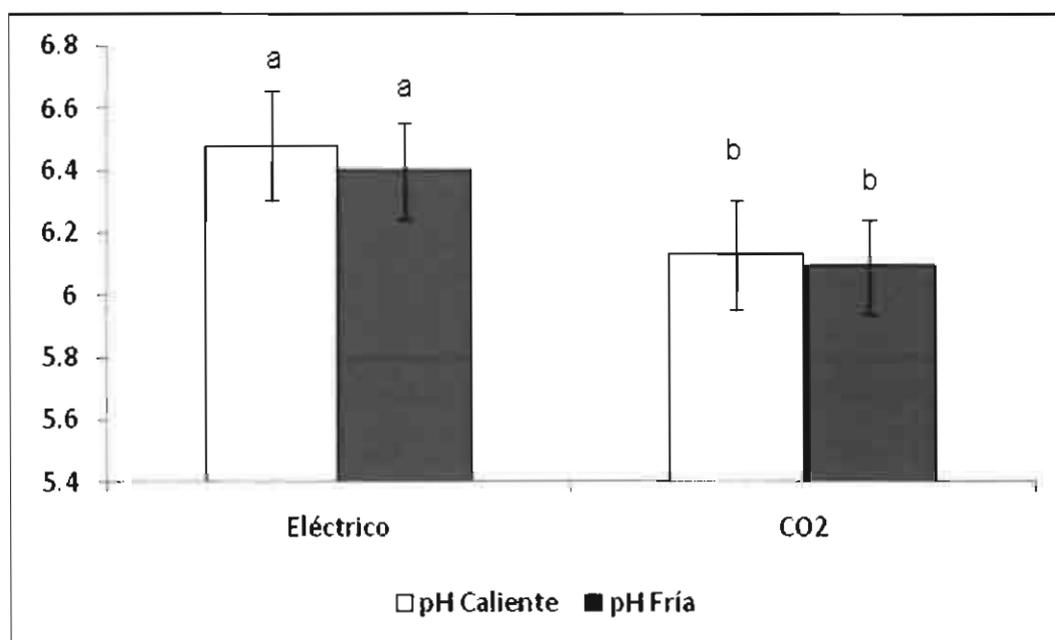
**Cuadro 21.** Valores de CK basal, post transporte y post insensibilizado en diferentes períodos y en dif

Variables	Basal	Transporte (13 h)	Desangrado (13 h)	Transporte (48 h)	De
	Med ± EEM	Med ± EEM	Med ± EEM	Med ± EEM	Med
Creatincinasa (UI/L) en hembras	2779.90±53.23 <sup>C</sup>	5996.0±49.56 <sup>B</sup>	7170.30±42.56 <sup>A</sup>	6035.50±46.71 <sup>B</sup>	7198
Creatincinasa (UI/L) en machos castrados	2318.90±54.60 <sup>D</sup>	5309.90±54.26 <sup>B</sup>	6629.10±96.27 <sup>A</sup>	4981.40±44.17 <sup>C</sup>	6862
Creatincinasa (UI/L) en machos enteros				5714.30±56.20 <sup>B</sup>	6549
P					
	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	

<sup>A, B, C</sup> Superíndices diferentes en la misma fila señalan diferencias significativas según la prueba de Tukey de estándar de la media.

## 7.8 Atributos de la calidad de la canal

En la **Figura 7** se muestra el efecto del método de aturdimiento sobre el valor del pH muscular en canales calientes y frías. Se presentaron diferencias significativas entre métodos de aturdimiento tanto para canales calientes como frías; sin embargo, dentro del mismo método de aturdimiento no se presentaron diferencias entre la canal fría y caliente. Los animales sacrificados por electronarcosis presentaron en la canal caliente un valor de pH más elevado en comparación con los animales anestesiados en cámaras de CO<sub>2</sub> (6.48 vs. 6.13, respectivamente); dicho comportamiento fue similar para el caso de a canal fría (6.4 vs. 6.09, respectivamente).



**Figura 7.** Efecto del método de aturdimiento sobre los valores de pH de la canal caliente y fría de ganado porcino nacional. Los datos se presentan como medianas  $\pm$  error típico estándar.

En el **Cuadro 22** se muestra la mediana y rango del pH de la canal caliente y fría de cerdos transportados por tres periodos; se observan diferencias significativas entre los tiempos de transporte para la canal caliente y fría. En el caso del pH de la canal caliente, los animales de transporte corto resultaron ser estadísticamente

diferentes a los restantes tiempos de transporte. Para el caso del pH de la canal fría se presentan diferencias entre los tres tiempos, siendo el más bajo para los animales con 16 h de transporte y el más alto para los animales que se transportaron durante 27 h.

**Cuadro 22.** Mediana e intervalo del pH de canal caliente y fría de cerdos transportados por tres períodos.

Variables	Transporte 8 h	Transporte 16 h	Transporte 27 h
	Med±Intervalo	Med±Intervalo	Med±Intervalo
pH canal caliente	6.48±1.23 <sup>A</sup>	6.39±0.89 <sup>B</sup>	6.40±0.71 <sup>B</sup>
pH canal fría	6.13±1.49 <sup>B</sup>	6.04±1.08 <sup>C</sup>	6.26±1.57 <sup>A</sup>

<sup>A,B</sup> Analizada con Kruskal – Wallis ( $p < 0.01$ ). Med = mediana.

El efecto del método de aturdimiento sobre el pH de la canal caliente y fría de cerdos nacionales divididos por sexo, se observa en el **Cuadro 23**. Se aprecian diferencias entre métodos de aturdimiento y entre sexos. En el caso del pH de la canal caliente y fría, el aturdimiento eléctrico desencadenó valores más altos que el aturdimiento en cámaras de CO<sub>2</sub>; aunado a que los machos presentaron valores más altos en comparación a las hembras.

**Cuadro 23.** Mediana e intervalo del pH de canal caliente y fría de cerdos nacionales sacrificados por dos métodos.

Variables	Eléctrico		Cámara de CO <sub>2</sub>	
	Hembras	Machos	Hembras	Machos
	Med±Intervalo	Med±Intervalo	Med±Intervalo	Med±Intervalo
pH Canal caliente	6.46±1.16 <sup>B</sup>	6.5±1.03 <sup>A</sup>	6.37±0.67 <sup>C</sup>	6.44±0.79 <sup>B</sup>
pH Canal fría	6.03±1.36 <sup>C</sup>	6.23±0.69 <sup>A</sup>	6.02±0.86 <sup>C</sup>	6.16±1.08 <sup>B</sup>

<sup>A,B</sup> Analizada con Kruskal – Wallis ( $p < 0.01$ ). Med = mediana.

La mediana e intervalo del pH de la canal caliente y fría en cerdos americanos sacrificados por dos métodos se muestra en el **Cuadro 24**. Se presentan diferencias significativas entre los métodos de aturdimiento y exclusivamente en la electronarcosis se dieron diferencias entre sexos. Al igual que los resultados presentados en el cuadro anterior, la electronarcosis desencadena valores más elevados de pH tanto en la canal caliente como fría; sin embargo, resultaron ser las hembras estadísticamente superiores a los machos castrados y enteros.

**Cuadro 24.** Mediana y rango del pH de canal caliente y fría de cerdos americanos sacrificados

Variables	Eléctrico			Cámara c...	
	Hembras	Macho Castrado	Macho entero	Hembras	Mach castra
	Med±Intervalo	Med±Intervalo	Med±Intervalo	Med±Intervalo	Med±Inte
pH canal caliente	6.60±0.32 <sup>A</sup>	6.47±0.62 <sup>B</sup>	6.5±0.59 <sup>B</sup>	6.24±0.43 <sup>C</sup>	6.23±0.
pH canal fría	6.48±1.19 <sup>A</sup>	6.40±0.57 <sup>B</sup>	6.37±0.67 <sup>B</sup>	6.12±0.86 <sup>C</sup>	6.13±0.

<sup>A,B,C</sup> Analizada con Kruskal – Wallis ( $p < 0.01$ ). Med = mediana.

En el **Cuadro 25** se aprecia la media y error estándar de la media de la escala de color de canales calientes. Se presentaron diferencias significativas entre los tiempos de transporte para la escala a y b, en ambos casos resultaron ser los cerdos con 27 h de transporte los que estadísticamente presentaron los valores más bajos. El índice calculado de color muestra diferencias significativas entre los tiempos de transporte, es decir en los animales con transporte de 8 h se presentó la coloración más roja estadísticamente diferente a los animales con transporte de 27 h.

**Cuadro 25.** Media y error estándar de la media del color de la canal caliente de cerdos transportados por tres periodos.

	Transporte 8 h	Transporte 16 h	Transporte 27 h
Variables	Med±EEM	Med±EEM	Med±EEM
L	47.83±1.91 <sup>A</sup>	43.51±0.37 <sup>A</sup>	44.99±1.10 <sup>A</sup>
a	6.16±0.68 <sup>AB</sup>	6.14±0.22 <sup>A</sup>	3.73±0.47 <sup>B</sup>
b	5.24±0.94 <sup>A</sup>	2.0±0.12 <sup>B</sup>	1.77±0.21 <sup>B</sup>
Color	77.90±23.00 <sup>A</sup>	23.59±1.45 <sup>AB</sup>	14.02±3015 <sup>B</sup>
Angulo matiz	24.84±6.20 <sup>A</sup>	20.87±4.77 <sup>A</sup>	41.01±10.04 <sup>A</sup>

<sup>A, B</sup> Superíndices diferentes en la misma fila señalan diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). EEM = Error estándar de la media.

Color:  $(a^*^2 + b^*^2)^{1/2}$ ; valores altos = mayor color rojo brillante.

Angulo matiz:  $(b^*/a^*)^{\tan^{-1}}$ ; valores altos = mayor apariencia café.

Para el caso del color de la canal fría (**Cuadro 26**) se observan diferencias significativas entre los tiempos de transporte y para el total de las escalas (L, a y b); en términos generales fueron los animales de transporte corto quienes presentaron las coloraciones más oscuras en comparación a los animales con tiempos de transporte intermedio y largo. Los índices calculados de color y angulo matiz muestran diferencias significativas entre los tiempos de transporte en la canal fría; para los animales con transporte de 16 y 27 h hay una mayor coloración roja brillante

en comparación con los transportados por 8 h, sin embargo en éstos últimos se da una mayor tendencia hacia un matiz café.

**Cuadro 26.** Media y error estándar de la media del color de la canal fría de cerdos transportados por tres períodos.

	Transporte 8 h	Transporte 16 h	Transporte 27 h
Variables	Med±EEM	Med±EEM	Med±EEM
L	52.48±0.18 <sup>A</sup>	42.43±0.67 <sup>B</sup>	43.73±1.13 <sup>B</sup>
a	1.96±0.01 <sup>C</sup>	5.00±0.36 <sup>A</sup>	4.13±0.41 <sup>B</sup>
b	3.71±0.002 <sup>A</sup>	2.19±0.19 <sup>B</sup>	2.02±0.21 <sup>B</sup>
Color	8.83±0.20 <sup>B</sup>	18.68±1.79 <sup>A</sup>	14.56±2.91 <sup>A</sup>
Angulo matiz	67.39±0.66 <sup>A</sup>	29.94±6.66 <sup>B</sup>	19.30±4.27 <sup>B</sup>

<sup>A, B, C</sup> Superíndices diferentes en la misma fila señalan diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ). EEM = error estándar de la media.

Color:  $(a^*^2 + b^*^2)^{1/2}$ ; valores altos = mayor color rojo brillante.

Angulo matiz:  $(b^*/a^*)^{\tan^{-1}}$ ; valores altos = mayor apariencia café.

## 7.9 Observaciones conductuales

La media y desviación estándar de los intervalos en términos generales entre la salida de la cámara de CO<sub>2</sub> y el izado fue de 17.73±12.92 s y el intervalo entre aturdimiento y desangrado fue de 97.31±32.71 s. El porcentaje total de la incidencia de convulsiones fue del 13.51%.

En el **Cuadro 27** se aprecia la mediana y el rango del intervalo entre aturdimiento y desangrado considerando el orden en que los animales fueron manipulados por los operarios al momento de la faena. Hubo diferencias altamente significativas entre los tres intervalos en que los animales fueron manipulados, resultando el tercer animal el que tomó un mayor tiempo en ser sacrificado.

**Cuadro 27.** Intervalo aturdimiento desangrado considerando el orden de manipulación.

Intervalo aturdimiento-desangrado (seg)	
Orden	Mediana±rango
Primero	82±250
Segundo	89±90
Tercero	110.50±92
$\alpha$	
<.0001	

El número de convulsiones varió de 1 a 9, dentro de los 37 y 163 s después del aturdimiento; el intervalo entre convulsiones fue 21.25±21.61 s. Por otro lado no se presentaron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) en la incidencia de convulsiones entre hembras y machos castrados.

## VIII. DISCUSIÓN

### 8.1 Transporte

El transporte es considerado como un agente estresor importante para los animales de granja y da lugar a efectos detrimentales sobre la salud, el bienestar y en última instancia, sobre la calidad de la carne (von Borell y Schäffer, 2005). En el presente estudio se muestra las repercusiones fisio-metabólicas y las relaciones que se desencadenaron al someter al ganado porcino a tres tiempos de transporte.

Los resultados obtenidos en la presente investigación por efecto del tiempo de transporte y en relación con los valores basales indican acidosis (7.40 vs. 7.45), hipocapnia (36.95 vs. 58.00), hipoxia (25.26 vs. 32.06), hipernatremia (147.89 vs. 141.67), hipercalcemia (1.44 vs. 1.27), hiperlactatemia (55.46 vs. 33.02), hiperglucemia (87.78 vs 76.0) e incremento en el porcentaje del hematocrito (43.21 vs. 30.29). Aunado a estados de hipopotasemia únicamente para los animales con menor tiempo de transporte.

Los estados de hipoventilación se presentan debido a que los animales llegan exhaustos al rastro y su respiración es lenta y superficial, su  $p\text{CO}_2$  es menor a 40 mmHg presentando hipocapnia, por lo tanto no hay estimulación de los quimiorreceptores centrales periféricos, con lo cual se envían señales excitatorias al área inspiratoria y como repuesta se contraen con menos fuerza y frecuencia el diafragma y otros músculos auxiliares de la respiración, por lo que se encuentra disminuida la  $p\text{O}_2$  en la sangre (Tortora y Grabowski, 2005).

Los estados de ansiedad desencadenan la liberación de catecolaminas, lo que da lugar a un aumento del gasto cardiaco, del consumo de oxígeno y de la temperatura corporal; disminución del pH, acumulación de ácido láctico (Hambrecht *et al.*, 2003, 2004), aumento de la gluconeogénesis y efecto bifásico sobre la concentración sérica de potasio. Inicialmente, provocan un incremento transitorio en

el nivel de potasio mediante una estimulación  $\alpha$ -adrenérgica, seguido de una hipopotasemia debida a la estimulación de los receptores  $\beta_2$ . Este hecho tiene un papel importante en el desarrollo de la fatiga debida al ejercicio (Bia y DeFronzo, 1981), dicho comportamiento resultó ser más evidenciado en los machos castrados y enteros en comparación a las hembras. Los niveles elevados de potasio sérico también se han relacionado con la respuesta del estrés (Kock *et al.*, 1987; Peinado *et al.*, 1993).

Los niveles de glucosa según Pollard *et al.* (2002), son considerados como un indicador indirecto del estrés. La glucemia está sometida a un control hormonal. Así, el glucagón, los glucocorticoides, la adrenalina, las hormonas tiroideas, la hormona del crecimiento y la progesterona, son hiperglucemiantes y actúan activando la gluconeogénesis y la glucogenólisis, o interfiriendo en la utilización de la glucosa por parte de los tejidos (Kaneko, 1997). Existen numerosos trabajos que describen el incremento de los niveles séricos o plasmáticos de glucosa como consecuencia del estrés (Franzmann y Thorné, 1970; Seal *et al.*, 1972; Bush *et al.*, 1981; Kocan *et al.*, 1981; Kock *et al.*, 1987, Hartmann, 1988; Hattingh *et al.*, 1988; Carrangher *et al.*, 1997). En respuesta del estrés los niveles de glucosa aumentan debido a la secreción de catecolaminas y de glucocorticoides. De acuerdo con Shaw y Tume (1992) y Cunningham (1999), períodos cortos de ayuno producen una hipoglucemia que actúa como factor liberador de catecolaminas, promoviendo la glucólisis y gluconeogénesis.

De acuerdo con Gregory (1998), los estados de estrés, aumentan la adrenalina circulante, produciendo una degradación del glucógeno muscular y aumento de las concentraciones de lactato. El lactato es un metabolito originado en la glucogenólisis muscular debido a la falta en tejido de la enzima glucosa 6 fosfatasa, necesaria para la síntesis de glucosa a partir de glucógeno. El lactato formado en el músculo es transportado por la sangre hasta el hígado, donde es transformado en glucosa. Otra fuente de lactato es la glucólisis anaerobia, en

ausencia de oxígeno, el piruvato es reducido a lactato por la acción de la lactato deshidrogenasa (Kaneko, 1997). El ejercicio muscular produce una alta demanda de oxígeno producto de la contracción muscular sostenida, provocando glicólisis anaerobia, generando finalmente un aumento en el lactato y la consecuente fatiga muscular. A manera de resumen se puede decir que la lactoacidemia es un indicador de estrés resultado de la producción rápida de energía, por un metabolismo anaerobio o una acidosis láctica por la acción de catecolaminas (Werner y Gallo, 2008; Becerril Herrera *et al.*, 2009, Mota-Rojas *et al.*, 2009). Además, esto puede ser atribuido a una ruptura de las fibras de colágeno como resultado de un esfuerzo extremo o la rápida glucogenolisis debido al miedo o a la excitación (Werner y Gallo, 2008).

El incremento del hematocrito se atribuye a una contracción esplénica y, en parte, a la disminución del volumen plasmático. La contracción esplénica es uno de los efectos de las catecolaminas liberadas durante la estimulación simpática (Jain, 1993). La contracción esplénica proporciona a la masa muscular una gran cantidad de eritrocitos oxigenados que le permiten al animal una mayor actividad física. Se ha observado que el manejo y transporte causan deshidratación (Schaefer *et al.*, 1997; Brown *et al.*, 1999; Tadich *et al.*, 2000). Esto es claramente un resultado lógico de factores como privación del agua, pérdidas de líquido en forma de orina, excesiva sudoración de los animales y en incremento en las tasas de respiración.

Es evidente un efecto del tiempo del transporte en el grado de alteraciones fisiológicas y metabólicas del ganado porcino; en el caso de los animales transportados por 8 h se dio una relación negativa de las variables  $PO_2$ , lactato y  $Ca^{2+}$  con la  $PCO_2$ , es decir que conforme se van incrementando la  $PCO_2$  en sangre, se disminuye la cantidad de oxígeno, lactato y  $Ca^{2+}$ . Aunado a un incremento conjunto de la  $PCO_2$  con el porcentaje de hematocrito y concentración de  $K^+$ . En los animales transportados por 16 h como una consecuencia de someterlos a situaciones de estrés crónico, se dio una movilidad de las reservas energéticas al

torrente sanguíneo que a su vez alteraron de forma negativa las concentraciones de calcio, lactato y potasio; en el torrente sanguíneo. Finalmente en los animales transportados por 27 h se observa una disminución en los valores de temperatura, gases en sangre y glucosa, aunado a una marcada deshidratación con incremento del porcentaje de hematocrito. En este sentido se puede afirmar que el tiempo de transporte o ayuno prolongado influyen en el bienestar animal, hay más riesgo de incurrir en condiciones adversas que resultan negativas en la calidad de la canal. Gallo *et al.* (2001), concluyeron que mientras más prolongado es el transporte, se generan más contusiones en los animales produciendo mayores pérdidas económicas. Guise *et al.* (1998), en tanto que Gade y Christensen (1998), encontraron que cerdos transportados durante el verano con un peso promedio de 100 kg, permanecen de pie en viajes cortos mientras que en viajes largos los cerdos necesitan más espacio para echarse sin estorbarse uno con otro, y las modificaciones en el comportamiento pueden causar diferencias en la incidencia de daño en piel en densidades mayores a 0.35 m<sup>2</sup>. En otro estudio realizado por Gallo *et al.* (2000), en novillos transportados a diferentes horas, señalan que al aumentar las horas de viaje los animales están más cansados y tienden a echarse, quedando predispuestos a sufrir caídas, también observaron que el mayor número de contusiones se presenta en transportes de 24 h y los viajes realizados en dicho período representan para el productor un mayor riesgo de pérdidas económicas (Gallo *et al.*, 2003) en diferentes especies animales (cerdo, bovino, cabras). Al aumentar el tiempo de transporte hay una mayor movilización de las reservas de las grasas corporales como respuesta a un ayuno cada vez más prolongado que está relacionado con la duración del transporte, ya que a mayor tiempo de transporte (12 y 24 h) las pérdidas de peso vivo se incrementan (Warriss *et al.*, 1990; Gallo *et al.*, 2001).

### **8.1.1 Interacción sexo-transporte**

Los resultados obtenidos en la presente investigación, señalan en los animales transportados durante 8 h, diferencias significativas entre hembras y

machos castrados para las siguientes variables:  $\text{PCO}_2$  (39.22 vs. 42.04),  $\text{PO}_2$  (23.44 vs. 21.50),  $\text{K}^+$  (4.93 vs. 5.51),  $\text{Ca}^{2+}$  (1.48 vs. 1.42), lactato (61.79 vs. 56.03) y porcentaje de hematocrito (37.63 vs. 41.43). Para el caso de los animales transportados por 16 h se observaron diferencias significativas entre sexos para las variables  $\text{PCO}_2$  (35.86 vs. 32.85),  $\text{K}^+$  (5.63 vs. 5.24),  $\text{Ca}^{2+}$  (1.60 vs. 1.49), glucosa (78.89 vs. 96.39), lactato (70.13 vs. 64.65) y hematocrito (44.33 vs. 41.33); presentaron valores más elevados las hembras en comparación con los machos castrados. Finalmente, en los animales transportados por 27 h se observaron en las hembras y machos castrados procesos de acidosis (7.36 y 7.44), hiperglucemia (81.86 y 104.45) e hiperlactatemia (55.89 y 40.86, respectivamente); aunado a lo anterior, los machos enteros presentaron procesos de hipotermia ( $37.46^\circ\text{C}$ ) e hipoglucemia (49.23 mg/dL).

Por otro lado es importante mencionar que en la presente investigación no se observaron alteraciones post transporte en los niveles de lactato para el caso de los machos enteros, lo anterior pudiera explicarse debido a la duración tan prolongada del transporte, donde los animales lograron pasar de la fase de alarma que es donde se presenta lactoacidemia a la fase de adaptación, donde se restablece el equilibrio de la cadena respiratoria para la producción de ATP por vía aerobia (Becerril *et al.*, 2007b).

Es importante mencionar también, que las hembras en los transportes largos presentan un porcentaje de hematocrito más elevado en comparación a los machos castrados debido a la relación inversamente proporcional que se da entre grasa y contenido de agua. Mota-Rojas *et al.* (2006) reportan que en las hembras se da una menor hidratación comparada con los machos.

En cuanto a la utilización de hembras y machos, diversos autores han señalado que no existen diferencias significativas entre sexos para las concentraciones sanguíneas de cortisol, glucosa CK y otros (Mitchell *et al.*, 1988;

Warris *et al.*, 1995). Sin embargo, en la presente investigación al evaluar el perfil metabólico y desequilibrio ácido base con equipo de alta tecnología, apreciamos que sí hay diferencias entre las hembras y machos, e inclusive en estos últimos la presencia de la gónada masculina afectó los niveles de glucosa principalmente.

Warriss *et al.* (1990), han comprobado que los machos a diferencia de las hembras, producen canales con mayores lesiones debido a las peleas. Ellos mencionan que el esfuerzo físico asociado con las peleas puede ser el responsable de los altos niveles de lactato en plasma. En este estudio se presentó hipercalcemia debido a que los animales con los esfuerzos en el transporte incrementan las contracciones musculares propiciando la salida de calcio.

Mota-Rojas *et al.* (2006), evaluaron el efecto de tres tiempos de transporte sobre el bienestar y calidad de la canal de ganado porcino; sus resultados señalan que los animales transportados por 16 h presentaron el mayor grado de lesiones en piel y signología de fatiga; sin embargo en dicha investigación resultaron ser las hembras quienes presentaron menor incidencia de fatiga y daño en piel en comparación con los machos.

## **8.2 Aturdimiento**

Shaws y Tume (1992), reportan que la mayoría de los métodos de aturdimiento causan incremento en la concentración de algunos componentes del plasma como son las catecolaminas, cortisol, glucosa, endorfinas, calcio, magnesio y proteínas, entre otros, en las muestras de sangre post-sacrificio. Considerando lo anterior es importante mencionar que los diferentes métodos de aturdimiento originan alteraciones en los componentes fisiológicos del plasma, sin que con ello se comprometa el bienestar animal.

En el presente estudio se muestran las repercusiones fisio-metabólicas y las relaciones que se desencadenaron al someter al ganado porcino a dos métodos de aturdimiento.

### **8.2.1 Tiempo aturdimiento-desangrado**

Anil y McKinnstry (1998) recomiendan que cuando un animal es aturdido por electronarcosis en un sistema "solo cabeza" con bajo voltaje, el intervalo comprendido desde el aturdimiento hasta el inicio del desangrado debe de ser de 15 s, lo anterior con la finalidad de evitar repercusiones en el bienestar del animal y en la calidad de la carne. Por otro lado, Moreno (2006) menciona que cuando la electronarcosis involucra un sistema "cabeza-cuerpo" o se manejan voltajes elevados, los tiempos de desangrado se pueden incrementar hasta a 180 s. Lo anterior coincide con el resultado reportado en la presente investigación en lo que se refiere al tiempo de aturdimiento-desangrado (63.51 s) para el caso de los animales aturdidos eléctricamente.

Velarde *et al.* (2000b) y Moreno (2006), indican que cuando un cerdo es aturdido en cámaras de CO<sub>2</sub>, el animal respirando dentro de la cámara de gas muere en 4 a 5 min y si se les saca, se recuperan en 1-3 min; esto implica que el desangrado debe hacerse rápidamente, no más de 30 s después de haber salido de la cámara. Considerando lo anterior, se observa que en la presente investigación el intervalo entre la salida de la cámara y la punción de los grandes vasos sanguíneos es elevado (92.62 s), lo cual se debió en gran parte a que los animales son aturdidos en grupos de 3, dando como consecuencia que el tiempo de izado se prolongue y por lo tanto el tiempo del inicio del desangrado.

### **8.2.2 Aturdimiento en cámaras de CO<sub>2</sub>.**

A pesar de que los animales que son aturdidos en una cámara de CO<sub>2</sub> no son sometidos a un proceso de sujeción, se presenta un mayor porcentaje de indicadores alterados en comparación con los niveles basales de los porcinos. El aturdimiento se

produce por una depresión de la función neuronal a consecuencia de una hipoxia hipercápnica y una disminución del pH del sistema nervioso central (Velarde *et al.*, 2000). Aunado a lo anterior se puede decir que el aturdimiento en cámaras de CO<sub>2</sub> incrementa el metabolismo oxidativo anaerobio que aumenta los niveles de glucosa en el torrente sanguíneo y desplazamiento en el fluido intracelular de los iones K<sup>+</sup> por iones hidrógeno, que trae como consecuencia acidosis metabólica. La exposición al CO<sub>2</sub> estimula la frecuencia de la respiración y puede conducir a angustia respiratoria (Raj y Gregory, 1995).

Considerando la relación inversamente proporcional que se da en la presión parcial de los gases en sangre (pCO<sub>2</sub>, pO<sub>2</sub>), Haumann (1989) matiza que el hecho de que los cerdos lleguen a estar inconscientes con una mezcla del 80% de CO<sub>2</sub> y 20% de aire, prueba que la anestesia se produce por el dióxido de carbono y no por la falta de oxígeno (sofocación, ahogamiento), pues las evidencias experimentales tras examinar el contenido de oxígeno en sangre (Ring, 1988) y evaluar los tiempos de recuperación de los animales (Laursen, 1983), sugieren que el sofoco o ahogamiento no juega un papel importante en el aturdimiento por CO<sub>2</sub>.

La introducción de animales en un ambiente desconocido como puede ser la cámara de gases o la entrada a la planta de sacrificio, origina estados de ansiedad o estrés. Raj y Gregory (1995) descubrieron que los cerdos expuestos a CO<sub>2</sub> eran más reacios que antes, a volver a entrar a un cubículo a comer manzanas, que los cerdos expuestos al argón. Hartung *et al.* (2002) encontraron en cerdos germanos que 80% de CO<sub>2</sub>, no era suficiente para eliminar a todos los reflejos después de 70 s de exposición. Para Gregory *et al.* (1990), el dióxido de carbono es un gas desagradable durante su inhalación debido a su aroma ácido, llegando incluso a ser picante a altas concentraciones, provocando en estos casos sensación de asfixia. A pesar de que este fenómeno sólo se produce en los animales en las fases iniciales de la anestesia, Gregory (1994) considera que ello es motivo suficiente como para ser considerado como un sistema de aturdimiento desagradable e inhumano. Por otro lado, Zeller *et al.*

(1987), al estudiar el comportamiento convulsivo de los animales sometidos a anestesia con CO<sub>2</sub>, sugieren que en parte de los episodios convulsivos que sucedían a la fase de relajación, los cerdos permanecían conscientes, por lo que dudan que este sistema fuese del todo humanitario. De igual forma, Prändl *et al.* (1994) pudieron comprobar mediante estudios electroencefalográficos cómo la pérdida de la consciencia de los animales aturdidos con CO<sub>2</sub> se producía sólo al final de fases prolongadas de excitación y tras una exposición al gas de 40 s, por lo que consideraron que este sistema era inadecuado desde el punto de vista de la protección animal ya que generaba en los animales estados de gran excitación, que se traducen en un mayor estrés y en una peor calidad de la carne. Por el contrario, Forslid (1988) estudió los encefalogramas de cerdos anestesiados con CO<sub>2</sub> y pudo comprobar que los ataques convulsivos se desarrollaban después de la pérdida de consciencia de los animales.

### **8.2.3 Aturdimiento por electronarcosis**

Cuando se analizan los resultados de los indicadores críticos sanguíneos obtenidos en los animales sometidos a electronarcosis, se observan procesos de acidosis metabólica, hipocapnia, hiperpotasemia, hiperglucemia, lactoacidosis e incremento del porcentaje de hematocrito. Lo anterior se justifica al igual que en el caso de los animales aturdidos en cámaras de CO<sub>2</sub> por el efecto desencadenado por el manejo *ante mortem* aunado a que los niveles elevados de sodio sérico, son debido a una pérdida excesiva de agua o a una disminución en la ingestión de agua (Bush, 1993).

La electronarcosis es una técnica ampliamente difundida en el sector porcino, pero a su vez, cada vez más desaconsejada en beneficio de la inhalación de gases, debido a que su aplicación conduce hacia un empeoramiento de la calidad de la carne por aumento del defecto PSE (Barton, 1993; Velarde *et al.*, 1999).

Larsen (1982) encontró en un estudio previo que los animales aturdidos eléctricamente presentan entre un 10 y 19% de incidencia de carne tipo PSE, mientras que para los animales aturdidos con CO<sub>2</sub> la incidencia va del 2 al 9%. Channon *et al.* (2003), reportan que las modificaciones en los niveles de amperajes (0.9, 1.3, 2), tiempos de contacto y tipos de aturdimiento eléctrico, ejercieron un efecto en la incidencia de carne PSE, incidencia de hemorragias, pH, pérdidas por exudación e incidencia de fracturas; aunque estuvieron por arriba de las encontradas en cerdos aturdidos en cámaras de CO<sub>2</sub>. Channon (2002), concluyó que el uso de los electrodos cabeza-falda tiende a bajar el pH post sacrificio y dio lugar a una carne más pálida con una pérdida más alta por exudación.

Al comparar ambos métodos de aturdimiento, Mihajlovic *et al.* (1993), observaron que los animales insensibilizados en cámaras de CO<sub>2</sub> se encontraban menos estresados en los momentos previos al sacrificio, evitándose por un lado los molestos gruñidos del animal, a la vez que se mejoraba su manejo, y por otro lado, se reducía en gran medida la incidencia de carnes PSE (2 a 6%), la aparición de manchas por desangrado en el músculo *Longissimus dorsi* y las fracturas óseas. Barton (1984), observó que en los cerdos insensibilizados eléctricamente, se instauraba antes el *rigor mortis* y aparecían más carnes PSE a los 45 min *post mortem*, en comparación a la narcosis con CO<sub>2</sub>.

Por su parte, Velarde *et al.* (1999) hicieron un estudio comparativo en 4 mataderos comerciales sobre los sistemas de aturdimiento eléctrico y CO<sub>2</sub>, y su relación con la calidad de la carne y la canal a 2 y 7 h *post mortem*, observando que la incidencia de carnes PSE fue inferior en los mataderos equipados con sistemas de inhalación de CO<sub>2</sub> respecto al aturdimiento eléctrico, tanto a las 2 h (3,8% frente a 8,8%) como a las 7 h (13,8% frente a 18,8%), y sobre la canal, la incidencia de petequias, equimosis y hemorragias fue baja en términos generales, y además, no se encontraron fracturas óseas en ninguna de las piezas evaluadas.

Desde el punto de vista del bienestar animal, Velarde *et al.* (1999) consideran el aturrido con CO<sub>2</sub> menos eficaz que la electronarcosis cabeza-pecho, ya que pudieron constatar la aparición de reflejos fisiológicos indicativos de sensibilidad, tales como el reflejo corneal y la sensibilidad al dolor, que a excepción de la respiración espontánea, fueron claramente superiores a la estimulación eléctrica.

#### **8.2.4 Interacción sexo-aturdimiento**

Aunado a las diferencias observadas por el método de aturdimiento, se observó un efecto del factor sexo, estadísticamente los machos son diferentes a las hembras en los siguientes desordenes fisiológicos: hipercapnia y deshidratación o pérdida de agua corporal como una consecuencia del manejo *ante mortem*, en donde se presenta restricción a la ingesta de líquidos, vómitos y diarreas (Becerril *et al.*, 2009; Mota-Rojas *et al.*, 2009). Aunque al analizar conjuntamente los indicadores del metabolismo energético (glucosa y lactato) que se evaluaron en la presente investigación se observa una mayor susceptibilidad de las hembras al estímulo estresante del aturdimiento, sin omitir el efecto del tiempo de transporte sobre este último género.

#### **8.3 Niveles de cortisol y creatincinasa post transporte y post aturdimiento**

La mayoría de los investigadores utilizan la determinación de la concentración de cortisol plasmático como un indicador de estrés asociado con el manejo, transporte y sacrificio de los animales, sin embargo también han utilizado lactato y enzimas como la creatincinasa (Tadich *et al.*, 2000)

Los resultados obtenidos en la presente investigación, señalan un incremento significativo en los niveles de cortisol (64.4 ng/ml) y creatincinasa (6899.7 UI/L) por efecto del estrés agudo (aturdimiento en cámara de CO<sub>2</sub>) en comparación con el estímulo crónico (56.95 ng/ml y 5652.5 UI/L, respectivamente) correspondiente al tiempo de transporte. Anado a lo anterior se observó que los machos presentan valores más elevados de cortisol en comparación con las hembras; comportamiento

inverso al que se dio para la variable creatincinasa, es decir las hembras presentaron valores superiores en comparación a los machos.

El aumento en los niveles de cortisol se debe principalmente al efecto metabólico más conocido del cortisol y otros glucocorticoides para estimular la gluconeogénesis en el hígado; con frecuencia incrementa la velocidad de la gluconeogénesis hasta seis veces; aunado a que el cortisol también causa reducción moderada del consumo de glucosa en las células (Lehninger, 1995). El cortisol favorece un decremento en la infiltración leucocitaria tisular; hay un incremento de trombocitos y neutrófilos en cerdos transportados durante 6 a 18 h. o una distancia de 400 km (Wyss, et al., 2002).

Las concentraciones periféricas del cortisol de la hormona corticoadrenal es un indicador aceptable del estrés en puercos. Después de que el animal es expuesto a un estímulo estresante, el factor liberador de corticotropina es liberado del hipotálamo y estimula la liberación de la ACTH de la hipófisis (glándula pituitaria) que a su vez estimula la liberación de cortisol de la corteza suprarrenal (Becker *et al.*, 1985). Hambrecht *et al.* (2005) utilizaron cerdos libres del gen halotano para evaluar los niveles de cortisol y el lactato en plasma y músculo. La densidad de carga durante el transporte fue de 0.45m<sup>2</sup>/100 kg PV para todos los animales. La densidad en los corrales de espera fue de 0.75 m<sup>2</sup>/100 kg PV. En esta investigación se consideró como óptimos el transporte corto (menor a 45 min) y suave con tres horas en el corral de espera y el menor estrés posible. El cortisol y el lactato aumentaron (77.9 ng/mL y 30.9 mmol/L, respectivamente) por el tratamiento con estresores altos, pero no se afectó con el tipo de transporte o la duración en los corrales de espera en el rastro.

Por otro lado la creatincinasa, es liberada dentro de el plasma debido a un estímulo estresante y ocasiona daño al tejido muscular (Kannan *et al.*, 2000), la actividad de esta enzima se basa principalmente en reacciones bioquímicas,

fisiológicas y en aspectos patológicos donde se involucra al metabolismo de fosfatos de energía dentro de la célula y de los tejidos (Wyss *et al.*, 2002).

Entre los efectos adversos producidos por el transporte destacan la posibilidad de muertes, las pérdidas de peso por el ayuno, cambios en los constituyentes sanguíneos y enfermedades, como fiebre del embarque, entre otras. Knowles (1999) y Kannan *et al.* (2000) señalan que el estrés causado por el transporte, más que el estrés causado por el ayuno, alteran los constituyentes bioquímicos de la sangre. Al incrementarse el tiempo de transporte la actividad plasmática de creatinasa aumenta, esto se debe al esfuerzo que realizan los animales para mantener la postura en un vehículo en movimiento, lo que les causa una gran fatiga muscular y en algunos casos contusiones; como resultado la CK es liberada producto de un cambio de permeabilidad de las membranas celulares y llega a la circulación desde el tejido muscular dañado, provocando el aumento en su actividad plasmática (Warriss, 1990; Warriss *et al.*, 1995; Knowles *et al.*, 1997; Knowles, 1999).

#### **8.4 Atributos de la calidad de la canal**

La calidad de la carne de los cerdos está relacionada al metabolismo muscular *ante mortem*, el cual es influenciado por factores genéticos, de manejo y medioambiente.

Schaefer *et al.* (2002), demostraron que los procesos metabólicos y factores ambientales inmediatamente antes y después de la muerte afectan el pH y la temperatura durante la dos primeras horas *post mortem*, los resultados obtenidos en la presente investigación concuerdan con lo anterior, considerando el efecto que se presentó en los valores de pH de la canal por efecto del tiempo de transporte, es decir, se observan diferencias significativas entre los tiempos de transporte para la canal caliente y fría. En el caso del pH de la canal caliente, los animales de transporte corto (6.48) resultaron ser estadísticamente diferentes a los animales con

16 (6.39) y 27 h (6.40) de traslado. Para el caso del pH de la canal fría se presentan diferencias entre los tres tiempos, siendo el más bajo para los animales con 16 h de transporte (6.04) y el más alto para los animales que se transportaron durante 27 h (6.26).

Los resultados obtenidos en la presente investigación señalan para los animales sacrificados por electronarcosis, valores más elevados de pH en comparación con los animales anestesiados en cámaras de CO<sub>2</sub> (6.48 vs 6.13, respectivamente); dicho comportamiento fue similar para el caso de la canal fría (6.4 vs 6.09, respectivamente).

El pH<sub>45</sub> es un indicador de la calidad de la canal, después de la matanza, este tiene una influencia particular en las características de la calidad sensorial y en las propiedades al procesamiento de la carne (Velasco, 2001; Mota-Rojas *et al.*, 2001). Si la caída del pH es acelerada y está acompañada de un exceso de calor corporal (>40°C), el resultado es una carne PSE (Bonelli y Schiferli, 2003). El valor del pH final del músculo PSE es muy próximo al valor normal, por esta razón la medición del pH se realizó 45 *min.*, posteriores a la matanza y no al final del proceso de *rigor mortis* (Rubio, 1996; Velasco, 2001).

El tiempo de transporte por 27 h afectó de manera significativa el pH alto de la carne, dando como consecuencia probabilidades altas de incidencia de carne DFD, lo antes mencionado como una consecuencia de que el origen de esta anomalía es someter a los animales a un estrés prolongado o de tipo crónico que origina una glucólisis *post mortem* limitada con un no descenso del pH. Por otro lado, al comparar los valores de acidificación de la carne entre sexos, se encuentran diferencias significativas que nos indican una mayor resistencia de las hembras al estrés.

Al evaluar el efecto del factor sexo en la variable pH, se observan valores más elevados en el caso de los machos en comparación a las hembras e independientemente del método de aturdimiento

Warris *et al.* (1990), no encontraron diferencias entre sexos para el pH<sub>45</sub> o en la capacidad de retención de agua; sin embargo, el color de la carne en canales de hembras fue significativamente pálido ( $p < 0.01$ ).

Para la presente investigación se reportan valores promedio en las canales frías de L a y b de 46.21, 3.69 y 2.64, respectivamente. Cuando el pH de la carne disminuye a valores cercanos al pH de las proteínas sarcoplásmicas y miofibrilares (pH 5.5), éstas se encuentran en un estado donde la carga neta es cero, por lo tanto no puede haber interacción entre cargas de las proteínas, pues no existe o es muy baja, lo mismo en el dipolo producido por las moléculas del agua; en esta situación la hidratación es mínima, es por esto que se produce una carne con poca hidratación, lo que hace que las fibras musculares no reflejen la luz incidente y por tanto el aspecto sea más claro (mayores valores L); este es el caso de la carne PSE (Alarcón y Duarte, 2006). Por el contrario, si el pH se encuentra alejado del punto isoeléctrico (pH > 5.5, o pH < 5.5) las proteínas se encuentran con cargas netas dependientes del pH del medio, positivas si el pH es ácido, y negativas si es alcalino (Velasco, 2001). En este caso, las cargas en las proteínas interaccionan con el dipolo del agua, por lo tanto hay más hidratación. En este caso, las fibras musculares están turgentes, reflejando menos cantidad de luz incidente y dando la apariencia oscura. Sin embargo, al encontrarse fuera del punto isoeléctrico, la unión con el agua es muy fuerte y, aunque hay suficiente agua de hidratación, esta no se libera para producir la jugosidad deseable en la carne, debido a la existencia de interacciones químicas de tipo iónico. Es el caso de la carne de corte oscuro o DFD. La situación ideal es cuando la carne tiene suficiente agua de hidratación, pero se libera en el momento de la masticación para producir la sensación de jugosidad (Guerrero y Totosaús, 2006).

Según Warriss (1996), a medida que es más alto el pH de la carne, ésta tiende a tener una coloración más oscura, aspecto que fue corroborado al analizar de manera conjunta los cuadros de pH y color de las canales frías.

Los índices de color calculados en la presente investigación reflejan en la canal caliente una mayor tonalidad roja (77.90), la cual se ve disminuida de manera importante en las canales frías (8.83), por lo que se ve reflejada una tendencia a una coloración palida final. Un comportamiento contrario se observó en los animales con transporte de 16 y 27 hs. El conjunto de los índices superó a los obtenidos por Ovilo *et al.* (2002) en donde las coloraciones obtenidas para animales negativos al gen halotano fueron de 7.69 para color y 0.49 en angulo matiz.

Se ha señalado que la concentración del pigmento heme ha sido ligeramente alto en cerdos transportados por 4 h y un periodo de descanso de 2 h cuando se comparó con 1 h de transporte con 2 ó 21 h de descanso (Warriss *et al.*, 1990). También se ha demostrado en vaquillas por Gallo *et al.* (2003), que el color de la carne está influenciado por los niveles de glucógeno muscular antes del sacrificio que afectan la disminución en el pH *post mortem* y el pH final. Brown *et al.* (1999) encontraron un incremento progresivo en el pH del *Longissimus dorsi* después de un viaje prolongado (>24 h).

Mota-Rojas *et al.* (2006), reportaron que los animales sometidos a un estrés agudo se predisponen a obtener valores de pH ácido y color pálido en la carne; es decir, a una alta incidencia de carne PSE. Por otro lado, en el mismo trabajo se concluye que conforme se incrementa el tiempo del transporte, aumenta la incidencia de traumatismos en piel, tejido subcutáneo e incluso músculo, así como los signos de hiperventilación y de cansancio, resultando más resistentes las hembras en comparación con los machos, pues el riesgo de presentarse carne PSE es 0.5% más alta en machos comparado con las hembras (Guàrdia *et al.*, 2004).

## 8.5 Observaciones conductuales

Velarde *et al.* (2000), indican que cuando un cerdo es aturdido en cámaras de CO<sub>2</sub>, el animal respirando dentro de la cámara de gas muere en 4-5 min y si se les saca, se recuperan en 1-3 min; esto implica que el desangrado debe realizarse rápidamente, en no más de 30 s después de haber salido de la cámara (Nowak *et al.*, 2007). Considerando lo anterior, se observa que en la presente investigación el intervalo entre la salida de la cámara y la punción de los grandes vasos sanguíneos fue tres veces mayor que lo recomendado, lo cual se debió en gran parte a que los animales son aturdidos en grupo, dando como consecuencia que el tiempo de izado se prolongue y por lo tanto el tiempo del inicio del desangrado.

## IX. CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos en la presente investigación se concluye lo siguiente:

Como era de esperarse, el transporte de cerdos originó alteraciones fisiológicas y *post mortem*.

En los animales transportados por 16 h se afectó en mayor escala el bienestar animal en comparación con los otros tiempos de transporte evaluados en la presente investigación.

El estímulo estresante agudo (aturdimiento) originó mayores alteraciones fisiológicas en comparación con el tiempo de transporte, considerado como un estresor crónico.

El aturdimiento con CO<sub>2</sub> alteró en mayor escala el bienestar animal en comparación con la electronarcosis. Sin embargo, el aturdimiento eléctrico afectó negativamente los atributos de la calidad de la canal en comparación con el CO<sub>2</sub>.

El manejo *ante mortem* (tiempo de transporte) afectó la coloración de la canal fría, obteniéndose valores más indeseables en los animales transportados durante 8 h.

Hubo una mayor susceptibilidad a los estímulos estresantes agudo y crónico en las hembras en comparación con los machos castrados y enteros; sin embargo estos últimos presentaron una mayor actividad física.

Los atributos de la calidad de la canal resultaron mejores para las hembras en comparación con los otros sexos evaluados.

No es recomendable realizar transportes superiores a 8 h; en especial, tratándose de las hembras, pues se compromete en mayor escala su bienestar.

Todo animal que sea transportado deberá ser sometido a un tiempo de reposo con la finalidad de restablecer los desórdenes fisiológicos originados por el estrés.

Considerando las condiciones económicas nacionales y el concepto de calidad de los consumidores, resultará idónea la electronarcosis como método de aturdimiento; siempre y cuando sea realizado con equipo y personal calificado.

Se recomienda una supervisión individual de los cerdos durante el aturdimiento, de otra forma el bienestar del animal estará gravemente comprometido, con la consecuencia de que se vuelvan conscientes en el desangrado y antes de entrar al tanque de escaldado.

Es necesario realizar investigaciones futuras, en las que se evalúen los parámetros productivos (peso, edad, genética, sexo), perfil energético, desequilibrio ácido-base, gasometría sanguínea, alteraciones enzimáticas y hormonales, por efecto de los factores *ante* y *post mortem*, así como los indicadores de calidad de la canal y carne, con la finalidad de contribuir con datos nacionales que permitan retroalimentar las Normas Oficiales Mexicanas, Leyes de Bienestar Animal y Buenas Prácticas de Manufactura en nuestro país.

## X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, T.A.; Guise, H.J.; Hunter E.J.; Penny, R.H.C.; Baynes, P.J.; Easby, C. 1995. Factors influencing pig deaths during transit: an analysis of drivers' reports. *Anim. Welf.*, 4: 29-40.
- Abraham, C.; Weber, M.; Balogh, K.; Mezes, M.; Huszenicza, G.; Febel, H.; Vadane, K.M.; Szucs, E. 2005. Effect of transport and lairage on some physiological and meat quality parameters in slaughter pigs. A szállítás és a pihentetés korlátozásainak hatása a hizosertések egyes élettani és húsmínőségi jellemzőire. *Magyar Allatorvosok Lapja* 127(3): 139-145.
- Alarcón Rojo, A.D. y Duarte Atondo, J.O. 2006. Capítulo 9. Ciencia y tecnología de carnes. Hui, Y. H., Guerrero, L. I., Rosmini, R. M. *Ciencia y Tecnología de Carnes*. México: Limusa.
- Alarcón, R.A., Duarte, A.J., Alonso, R.F., Janacua, V.H. 2005. Incidencia de carne pálida-suave-exudativa (PSE) y oscura-firme-seca (DFD) en cerdos sacrificados en la región del Bajío en México. *Téc. Pec. Méx.*, 43(3): 335-346.
- Alarcón, R.A.D.; Gamboa, A.J.G.; Rodríguez, A.F.A.; Grado, A.J.A.; Janacua, V.H. 2006. Efecto de variables críticas del sacrificio sobre las propiedades fisicoquímicas de la carne de cerdo. *Téc. Pec. Méx.*, 44(1): 53-66.
- Alonso-Spilsbury, M.; Mota-Rojas, D.; Villanueva-García, D.; Martínez-Burnes, J.; Orozco, H.G.; Ramírez-Necochea, R., López, A.; Trujillo-Ortega, M.E. 2005. Perinatal asphyxia pathophysiology in foetal and human neonate: a review. *Anim. Reprod. Sci.*, 90: 1-30.
- Amtmann V, C Gallo, G van Schaik, N Tadich. 2006. Relaciones entre el manejo antemortem, variables sanguíneas indicadoras de estrés y pH de la canal en novillos. *Arch. Med. Vet.*, 38(3): 259-264.
- Anil, A.M. and McKinstry, J.L. 1994. The effectiveness of high frequency electrical stunning in pigs. *Meat Sci.*, 31:481-491.
- Anil, M.H. and McKinstry, J.L. 1998. Variations in electrical stunning tong placements and relative consequences in slaughter pigs. *Vet. J.*, 155:85-90.

- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, 15th ed., USA: Washington.
- Apple, J. K, Dikerman, M. E, Milton, M. R, Fedde, R. M, Leith, E. D and Unruh, A. J. 1995. Effects of restraint and isolation stress and epidural blockade on endocrine and blood metalite status, muscle glycogen metabolism, and incidence of dark – cutting longissimus muscle of sheep. *J. Anim. Sci.*, 73: 2295-2307.
- Apple, J.K.; Kegley, E.B.; Maxwell, C.V., Jr.; Rakes, L.K.; Galloway, D.; Wistuba, T.J. 2005. Effects of dietary magnesium and short-duration transportation on stress response, postmortem muscle metabolism, and meat quality of finishing swine. *J. Anim. Sci.*, 83: 1633-1645.
- Arraño, C.; Baez, A.; Flor, E.; Whay, R.; Tadich, N. 2007. Estudio preliminar del uso de un protocolo para evaluar el bienestar de vacas lecheras usando observaciones basadas en el animal. *Arch. Med. Vet.*, 39(3): 239-246.
- Atkinson, S. and Algers, B. 2007. The development of a stun quality audit for cattle and pigs at slaughter. *XII International Congress in Animal Hygiene ISAH 2007*. June 17-21. Tartu, Estonia. pp. 1023-1027.
- Augustini, C. and Fischer, K. 1982. Physiological reaction of slaughter animals during transport. En: Moss R (ed.). *The Transport of Animals Intended for Breeding, Production and Slaughter* (CEC Seminar 1981). pp, 125-135. The Netherlands: Martinus Nijhoff.
- Becerril-Herrera, M.; Alonso-Spilsbury, M.; Lemus-Flores, C.; Guerrero-Legarreta, I.; Olmos-Hernández, A.; Ramírez-Necoechea, R.; Mota-Rojas, D. 2009. CO<sub>2</sub> stunning may compromise swine welfare compared with electrical stunning. *Meat Sci.*, 81: 233-237.
- Becerril-Herrera, M.; Jaramillo, P.; Rodríguez, R.; Alonso-Spilsbury, M.; Lemus, C.; Guerrero-Legarreta, I.; Olmos, S.A.; Ramírez-Necoechea, R.; Mota-Rojas, D. 2007b. Blood critical values' profile of American barrows vs. boars arriving to Mexico after 27 hours of transportation. *XIII International Congress in Animal Hygiene Proc.* June 17-21, Tartu, Estonia. pp. 1015-1016.

- Becerril-Herrera, M.; Mota-Rojas, D.; Guerrero-Legarreta, I.; González-Lozano, M.; Sánchez-Aparicio, P.; Lemus-Flores, C.; Flores-Peinado, S-C.; Ramírez-Necochea, R; Alonso-Spilsbury, M. 2007. Effects of additional space during transport on pre-slaughter traits of pigs. *J. Biol. Sci.*, 7(7): 1112-1120.
- Becker, B.A.; Nienaber, J.A.; Christenson, R.K.; Manak, R.C, DeShazer, J.A.; Hahn, G.L. 1985. Peripheral concentrations of cortisol as an indicator of stress in the pig. *Am. J. Vet. Res.* 46 (5) 1034-1038.
- Becker, B.A.; Nienaber, J.A.; DeShazer, J.A.; Hahn, G.L. 1985. Effect of transportation on cortisol concentrations and on the circadian rhythm of cortisol in gilts. *Am. J. Vet. Res.*, 46: 1457-1459.
- Bergeron, R., H. W. Gonyou, and T. E. Eurell. 1996. Behavioral and physiological responses of Meishan, Yorkshire and crossbred gilts to conventional and turn-around gestation stalls. *Can. J. Anim. Sci.*, 76:289–297
- Bia, M.J. and DeFronzo, R.A. 1981. Extra renal potassium homeostasis. *Am. J. Physiol.*, 220: 257-268.
- Bidanel, J. P., J. C. Caritez, J. Gruand, and C. Legault. 1993. Growth, carcass and meat quality performance of crossbred pigs with graded proportion of Meishan genes. *Genet. Sel. Evol.*, 25:83–99
- Blood, D.C., Radostits, O.M., Henderson J.A., Arundel J.H.,y Gay C.C. 1986. *Medicina Veterinaria. Interamericana. México*
- Bonelli, A.M. and Schifferli, C.R. 2001. Síndrome del estrés porcino. *Arch. Med. Vet.* 33(2): 125-135.
- Bradshaw, R.H.; Hall, S.J.G.; Broom, D.M. 1996c. Behavioral and cortisol response of pigs and sheep during transport. *Vet. Rec.* 138: 233-234.
- Bradshaw, R.H.; Parrot, R.F.; Forsling, M.L.; Goode, J.A.; Lloyd, D.M.; Rodway, R.G.; Broom, D.M. 1996a. Stress and travel sickness in pigs: effects of road transport on plasma concentrations of cortisol, beta-endorphin and lysine vasopressin. *Anim. Sci.* 63: 507-516.

- Bradshaw, R.H.; Parrot, R.F.; Goode, J.A.; Lloyd, D.M.; Rodway, R.G.; Broom, D.M. 1996b. Behavioural and hormonal responses of pigs during transport: effect of mixing and duration of journey. *Anim. Sci.* 62: 547-554.
- Bradshaw, R.H.; Randall, J.M.; Forsling, M.L.; Rodway, R.; Goode, J.A.; Brown, S.N.; Broom, D.M. 1999. Travel sickness and meat quality in pigs. *Anim. Welf.* 8: 3-14.
- Broom, D. 1986. Indicators of poor welfare. *Brit. Vet. Sci.*, 142: 526.
- Broom, D.M. 2004. Bienestar animal. En: *Etología Aplicada*. F. Galindo y A. Orihuela (Eds.). México: UNAM, IFAW. pp. 51-87.
- Broom, D.M. 2005. The effects of land transport on animal welfare. *Rev. Sci. Tech.* 24: 683-691.
- Brown, S.N.; Knowles, T.G.; Edwards, J.E.; Warriss, P.D. 1999. Behavioural and physiological responses of pigs to being transported for up to 24 hours followed by six hours recovery in lairage. *Vet. Rec.*, 145(15): 421-426.
- Bush B. M. , *Manual del Laboratorio Veterinario de Análisis Clínicos*, editorial ACRIBIA Zaragoza España, 1982
- Bush, B.M. 1993. *Interpretation of Laboratory Results for Small Animal Clinicians*. UK: Blackwell Scientific Pub.
- Buss, C.S. and Shea-Moore, M.M. 1999. Behavioral and physiological responses to transportation stress. *J. Anim. Sci.* 77: 147.
- Buxadé, C.C. 1999. *Producción Porcina, Aspectos Claves*. Ediciones Mundi-Prensa, 1ra. ed. España
- Caballero, C.S.; Sumano, L.H.; Ocampo, C.L. 1995. Estrés y producción animal. *Memorias de Etología Aplicada*. México: FMVZ. pp. 12-17.
- Cáraves, M. y Gallo, C. 2007. Caracterización y evaluación de la eficacia de los sistemas de insensibilización utilizados en equinos en Chile. *Arch. Med. Vet.*, 39 (2): 105-113.
- Cárdenas, M.J.A.; Paez, E.D.; Lugo, N.R.; Fuentes, H.V.O. 1987. El uso del carazolol para prevenir el síndrome de estrés durante el traslado de cerdos. *Vet Méx*, 18: 337-341.

- Carregher, J.F.; Ingram, J.R.; Matthews, L.R. 1997. Effects of yarding and handling procedures on stress response of red beer stags. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 51: 143-158.
- Carrillo del Valle, M.; Vélez-Trujillo, D.T.; Guerrero-Legarreta, I.; Becerril-Herrera, M.; Ramírez-Necoechea, R.; Alonso-Spilsbury, M.; Flores-Peinado S.; Mota-Rojas, D. 2008. Effect of carcass electric stimulation on meat quality. *JAVA*, 7(10): 1335-1340.
- Carter, L. y Gallo, C. 2008. Effect of long distance transport by road and sea crossing on ferry on live weight losses and carcass characteristics in lambs. *Arch. Med. Vet.*, 40: 259-266.
- Casas, S.A. 1990. *Merma de peso en canales*. Tesis de Licenciatura. México: Medicina Veterinaria y Zootecnia. FMVZ UNAM.
- Castrillón, W.; Fernández, J.A.; Restrepo, L.F. 2007. Variables asociadas con la presentación de carne PSE (pálida, suave, exudativa) en canales de cerdo. *Rev. Col. Cienc. Pec.*, 20: 327-338.
- Channon, H.A.; Payne, A.M.; Warner, R.D. 2002. Comparison of CO<sub>2</sub> stunning with manual electrical stunning (50 Hz) of pigs on carcass and meat quality. *Meat Sci.*, 60: 63-68.
- Channon, H.A.; Payne, A.M.; Warner, R.D. 2003. Effect of stun duration and current level applied head to back and head only electrical stunning of pigs on pork quality compared with pigs stunned with CO<sub>2</sub>. *Meat Sci*, 65: 1325-1333.
- Channon, H.A.; Payne, A.M.; Warner, R.D. 2000. Halothane genotype, pre-slaughter handling and stunning method all influence pork quality. *Meat Sci*, 56(3): 291-299.
- Chevillon, P. 2000. O bem-estar dos suínos durante o pré-abate e no atordoamento. *Anais 1º Conferencia Virtual Internacional sobre Qualidade de Carne Suína*. 16 de Novembro a 16 de Dezembro. Brasil. Concordia, SC. pp. 17-20.
- Choe, J.H.; Choi, Y.M.; Lee, S.H.; Shin, H.G.; Ryu, Y.C.; Hong, K.C.; Kim, B.C. 2008. The relation between glycogen, lactate content and muscle fiber type

- composition, and their influence on postmortem glycolytic rate and pork quality. *Meat Sci.*, 80: 355-362.
- Christensen, L.; Barton Gade, P.; Blaabjerg, L.O. 1994. Investigation of transport conditions in participating countries in the EC Project: PL 920262. *Proc. 40th International Cong. Meat Science and Technology*, 28 August-2 September, The Hague (Paper W-2.01). ID-DLO Institute for Animal Science and Health: Schoonoord, The Netherlands.
- Code of Recommendations for the Welfare of Livestock: Pigs. 2003. 35 pp.
- Croft, P.S. 1952. Problems with electrical stunning. *Vet. Rec.*, 64: 255-258.
- Dall, A.M. and Barton, G.P. 2001. Low stress pre-slaughter handling: effect of lairage time on the meat quality of pork. *Meat Sci.* 57: 87-92.
- Dalla Costa, O.A.; Faucitano, L.; Coldebella, A.; Ludke, J.V.; Peloso, J.V.; Dalla Roza, D.; Paranhos da Costa, M.J.R. 2006. Effects of season of the year, truck type and location on truck on skin bruises and meat quality in pigs. *Livest. Sci.*, 107: 29-36.
- Dantzer, R. 1982. Research on farm animal transport in France: a survey. En: Moss, R. (ed.). *Transport of animals Intended for Breeding, Production and Slaughter*. The Netherlands: Martinus Nihoff. The Hague. pp. 218-230.
- Dantzer, R. 1988. The concept of social stress. Social stress in domestic animals, *A Seminar in the Community Programme for the Coordination of Agricultural Research*, Brussels, Belgium, 26-27 May. Ed. Kluwer Academic Pub. pp. 3-7.
- Dantzer, R. y Mormède, P. 1984. *El Estrés en la Cría Intensiva del Ganado*. España: Acribia. 130 pp.
- Dawkins, M.S. 1980. *Animal Suffering*. UK: Chapman & Hall.
- De Smet, S.M.; Pauwels, H.; De Bie, S.; Demeyer, D.I.; Callewier, J.; Eeckhout, W. 1996. Effect of halothane genotype, breed, feed withdrawal, and lairage on pork quality of Belgian slaughter pigs. *J. Anim. Sci.*, 74: 1854-1863.
- Désautés, C., J.-P. Bidanel, and P. Mormède. 1997. Genetic study of behavioral and pituitary-adrenocortical reactivity in response to an environmental challenge in pigs. *Physiol. Behav.*, 62:337-345

- Devenport, L., Knehans, A., Sundstrom, A. and Thomas, T. 1989. Corticosterone's dual metabolic actions. *Life Science*, 45. 1389-1396.
- Duthie G.G., Arthur J.R., Simpson S.P., and Nicol F. 1988. Plasma pyruvate kinase activity vs creatine kinase activity as an indicator of the porcine stress syndrome. *Am J Vet Res.*, 49(4): 508-10.
- Eckersall, P.D.; Saini, P.K.; McComb, C. 1996. The acute phase response of acid soluble glycoprotein,  $\alpha$ 1-acid glycoprotein, ceruloplasmin, haptoglobin and C-reactive protein, in the pig. *Vet. Immunol. Immunopathol.*, 51:377-385.
- Escobar, A. and Tadich, T. 2006. Caracterización biocinémática, al paso guiado a la mano, del caballo fino Chilote. *Arch. Med. Vet.*, 38(1): 53-61.
- Fabrega, E.; Manteca, X.; Font, J.; Gispert, M.; Carrion, D., Velarde, A.; Ruiz de la Torre, J.L.; Diestre, A. 2002. Effects of halothane gene and pre-slaughter treatment on meat quality and welfare from two pig crosses. *Meat Sci.*, 62: 463-472.
- FAO. 2001. *Directrices para el Manejo, Transporte y Sacrificio Humanitario del Ganado*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific. Tailandia.
- Flor, E. and Tadich, N. 2008. Claudicaciones en vacas de rebaños lecheros grandes y pequeños del sur de Chile. *Arch. Med. Vet.*, 40(2), 125-134.
- Fortín, A. 2002. The effect of transport time from the assembly yard to the abattoir and resting time at the abattoir on pork quality. *Can. J. Anim. Sci.*, 82(2): 141-150.
- Foury, A.; Devillers, N.; Sanchez, M.P.; Griffin, H.; Le Roy, P.; Morméde, P. 2005. Stress hormones, carcass composition and meat quality in Large White x Duroc pigs. *Meat Sci.*, 69: 703-707.
- Fraser, A.F. and Broom, D. 1990. *Farm Animal Behaviour and Welfare*. UK: CABI Intl. 437 pp.
- Gade, P.B. and Christensen, L. 1998. Effect of different stocking densities during transport on welfare and meat quality in Danish slaughter pigs. *Meat Sci.*, 48: 237-247.

- Gallo, C. 2008. Using scientific evidence to inform public policy on the long distance transportation of animals in South America. *Vet. Italiana* 44(1): 113-120.
- Gallo, C.; Espinoza, M.; Gasic, J. 2001. Efectos del transporte por camión durante 36 horas con y sin período de descanso sobre el peso vivo y algunos aspectos de calidad de carne en bovinos. *Arch. Med. Vet.*, 33(1): 43-53.
- Gallo, C.; Lizondo, G.; Knowles, T. 2003. The effects of journey and lairage time on steers transported to slaughter in Chile. *Vet. Rec.*, 152: 361-364.
- Gallo, C.; Pérez, S.; Sanhueza, C.; Gasic, J. 2000. Efectos del tiempo de transporte de novillos previo al faenamiento sobre el comportamiento, pérdidas de peso y algunas características de la canal. *Arch. Med. Vet.*, 32(2): 157-170.
- Gallo, C.; Teuber, C.; Cartes, M.; Uribe, H.; Grandin, T. 2003. Mejoras en la insensibilización de bovinos con pistola neumática de proyectil retenido tras cambios de equipamiento y capacitación del personal. *Arch. Med. Vet.* 35(2): 159-170.
- Gallo, C.; Warriss, P.; Knowles, T.; Negrón, R.; Valdés, A.; Mencarini, I. 2005. Densidades de carga utilizadas para el transporte de bovinos destinados a matadero en Chile. *Arch. Med. Vet.*, 37(2): 155-159.
- Ganong. Fisiología Médica. 17ª ed., Manual Moderno, 1997
- Gatica, C.; Monti, G.; Gallo, C.; Knowles, T.; Warriss, P. 2008. Effects of well boat transportation on muscle pH and onset of rigor mortis of Atlantic salmon. *Vet. Rec.*, 163: 111-116.
- Geers, R.; Bleus, E.; Van Schie, T.; Ville, H.; Gerard, H.; Janssens, S.; Nackaerts, G.; Decuypere, E.; Jourquin, J. 1994. Transport of pigs different with respect to halothane gene: stress assessment. *J. Anim. Sci.*, 72: 2552-2558.
- Geverink, N.A.; Engel, B.; Lambooi, E.; Wiegant, M.V. 1996. Observations on behaviour and skin damage of slaughter pigs and treatment during lairage. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 50: 1-13.
- Geverink, N.A.; Kappers, A.; van de Burgwal, J.A.; Lambooi, E.; Blokhuis, H.J.; Wiegant, V.M. 1998. Effects of regular moving and handling on the behavioural

- and physiological responses of pigs to preslaughter treatment and consequences for subsequent meat quality. *J. Anim. Sci.*, 76: 2080-2085.
- Giraldo, T JS y Sánchez ME. 1998. El lactato como posible factor del mecanismo de fatiga muscular. *Colombia Med.*, 29: 87 – 91.
- Gispert, M.; Faucitano, L.; Oliver, M.A.; Guardia, M.D.; Coll, C.; Siggens, K.; Harvey, K.; Diestre, A. 2000. A survey of pre-slaughter conditions, halothane gene frequency, and carcass and meat quality in five Spanish pig commercial abattoirs. *Meat Sci.*, 55: 97-106.
- González, V.A.; Rojas, G.E.; Aguilera, A.E.; Flores-Peinado, S.C.; Lemus-Flores, C.; Olmos-Hernández, A.; Becerril-Herrera, M.; Cardona-Leija, A.; Alonso-Spilsbury, M.; Ramírez-Necoechea, R.; Mota-Rojas, D.. 2007. Effect of heat stress during transport and rest before slaughter, on the metabolic profile, blood gases and meat quality of quail. *Intl. J. Poultry Sci.*, 6(6): 397-402.
- González-Lozano, M. 2004. *Efecto del Transporte, Ayuno y Periodo de Reposo Pre-Sacrificio en la Calidad de la Canal Porcina*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. México.
- Gosálvez, L.F.; Averos, X.; Valdelvira, J.J.; Herranz, A. 2006. Influence of season, distance and mixed loads on the physical and carcass integrity of pigs transported to slaughter. *Meat Sci.*, 73: 553-558.
- Grandin, T. 1980. Livestock behavior as related to handling facility design. *Int. J. Study of Anim Probl.*, 1: 33-52.
- Grandin, T. 1982. Pig behavior studies applied to slaughter plant design. *Appl. Anim. Ethol.*, 9:141-151.
- Grandin, T. 1987. Animal handling. *Vet Clinics of North America Food Animal Practice*, 3: 323-338.
- Grandin, T. 1988a. Double rail restrainer for livestock handling. *J. Agric. Eng. Res.*, 41: 327-338.
- Grandin, T. 1988b. Possible genetic effect on pig's reaction to CO<sub>2</sub> stunning. *Proc. International Congress of Meat Science and Technology*. Brisbane, Australia 34: 96-97.

- Grandin, T. 1990. Design of loading and holding pens. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 28:187-201.
- Grandin, T. 1994. Euthanasia and slaughter of livestock. *JAVMA*, 204: 1354-1360.
- Grandin, T. 1994. Solving livestock handling problems. *Vet. Med.* 89: 989-998.
- Grandin, T. 1996a. Animal welfare in slaughter plants. *29th Annual Conf. of American Association of Bovine Practitioners. Proc.* pp. 22-26.
- Grandin, T. 1996b. Factors that impede animal movement at slaughter plants, *JAVMA*, 209: 757-759.
- Grandin, T. 1997. Assessment of stress during handling and transport. *J. Anim. Sci.* 75: 249-257.
- Grandin, T. 1998. Objective scoring on animal handling and stunning practices in slaughter plants. *JAVMA*, 212: 36-39.
- Grandin, T. 2000. Introduction: management and economic factors of handling and transport. En: Grandin T. (ed.): *Livestock Handling and Transport*. 2nd ed. UK: CAB International. pp. 1-14.
- Grandin, T. 2000a. Effect of animal welfare audits of slaughter plants by a major fast food company on cattle handling and stunning practices. *JAVMA*, 216: 848-851.
- Grandin, T. 2000b. Handling and welfare of livestock in slaughter plants. En: Grandin (Ed). *Livestock Handling and Transport*, 2nd ed. UK: CAB International, pp. 409-439.
- Grandin, T. 2001a. Solving return to sensibility problems after electrical stunning in commercial pork slaughter plants. *JAVMA*, 219: 608-611.
- Grandin, T. 2001b. Cattle vocalizations are associated with handling and equipment problems in beef slaughter plants. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 71:191-201.
- Grandin, T. 2003a. El bienestar de los cerdos durante su transporte y faena. *Pig News Info*, 24(3): 83-90.
- Grandin, T. 2003b. Transferring results of behavioral research to industry to improve animal welfare on the farm, ranch and the slaughter plant. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 81: 215-228.

- Grandin, T. 2004. Elementos de manejo y transporte. En: *Etología Aplicada*. F. Galindo y A. Orihuela (Eds.). México: UNAM, IFAW. pp. 311-331.
- Grandin, T.; Curtis, S.E.; Widowski, T. 1984. Rearing environment affects pig's time to walk through test chute. *J. Anim. Sci.* (Suppl. 1): 61:88.
- Gregory, N.G. 1998. *Animal Welfare and Meat Science*. UK: CABI Pub.
- Gregory, N.G. 2001. Profiles of currents during electrical stunning. *Australian Vet. J.*, 79: 844-845.
- Gregory, N.G. 2008. Animal welfare at market and during transport and slaughter. *Meat Sci.*, 80: 2-11.
- Gregory, N.G.; Moss, B.; Leeson, R. 1987. An assessment of carbon dioxide stunning in pigs. *Vet. Rec.*, 121: 517-518.
- Guàrdia, M.D.; Estany, J.; Balasch, S.; Oliver, M.A.; Gispert, M.; Diestre, A. 2004. Risk assessment of PSE condition due to pre-slaughter conditions and RYR1 gene in pigs. *Meat Sci.*, 67: 471-478.
- Guàrdia, M.D.; Estany, J.; Balasch, S.; Oliver, M.A.; Gispert, M.; Diestre, A. 2005. Risk assessment of DFD meat due to pre-slaughter conditions in pigs. *Meat Sci.*, 70: 709-716.
- Guerrero M. Y.; Flores-Peinado, S.C.; Becerril-Herrera, M.; Cardona-Lejía, A.; Alonso-Spilsbury, M.; Zamora-Fonseca, M.M.; Toca, J.; Ramirez, R.; Toca, J.A.; Mota-Rojas, D 2007. Insensibilization of california breed rabbits and it's effect on sanguineous pH, temperature, glucose levels, creatine kinase and slaughter performance. *JAVA*, 6(3): 410-415.
- Guerrero, L. and Totosaus, I. 2006. Propiedades funcionales de la carne. *Ciencia y Tecnología de Carnes*. México: Limusa. pp. 235-242.
- Guise, H.J.; Riches, H.L.; Hunter, B.J.; Jones, T.A.; Warriss, P.D.; Kettlewell, P.J. 1998. The effect of stocking density on transit on carcass quality and welfare of slaughter pigs. *Meat Sci.*, 50: 439-446.
- Guyton-Hall. Tratado de Fisiología Médica. 10<sup>a</sup> ed., McGraw-Hill-Interamericana, 2001.

- Hails, M.R. 1978 Transport stress in animals: a review. *Anim. Reg. Studies* 1: 289-343.
- Hallberg J.W., Draper D.D., Topel D.G., and Altrogge D.M. 1983. Neural catecholamine deficiencies in the porcine stress syndrome. *Am J Vet Res.*, 44(3): 368-71.
- Hambrecht, E.; Eissen, J.J.; Newman, D.J; Smits, C.H.M.; Hartog, L.A. den.; Verstegen, M.W.A. 2003 Negative effects of estess immediately before slaughter on pork quality are aggravated by suboptimal transport and lairage conditions. *J. Anim. Sci.*, 83(2): 440-448.
- Hambrecht, E.; Eissen, J.J.; Nooijen, R.I.J.; Ducro, B.J.; Smits, C.H.M.; den Hartog, L.A.; Verstegen, M.W.A. 2004. Pre-slaughter stress and muscle energy largely determine pork quality at two commercial processing plants. *J. Anim. Sci.*, 82: 1401-1409.
- Hambrecht, E.; Eissen, J.J.; Verstegen, M.W.A. 2003. Effect of processing plant on pork quality. *Meat Sci.*, 64: 125-131.
- Hanne, C.B. and Rikke, H.A. 2007. Development in myofibrillar water distribution of two pork qualities during 10-month freezer storage. *Meat Sci.*, 75: 128-133.
- Hartmann, N.C. 1988. Critères biochimiques el hématogiques du stress el levurs relations avec les mécanismes de defense. *Rec. Méd. Vét.*, 164: 743-750.
- Hartung, J.; Floss, M.; Marahrens, M.; Nowak, B.; Feldhusen, F. 1997. Belastungsreaktionen von schlachtschweinen in zwei unterschiedlichen zutriebssystemen zur elektrobeta"ubung. *Dtsch Tieraerztl Wochenschr*, 104: 66-68.
- Hatting, J.; Pitts, N.I.; Ganhao, M.F. 1988. Immediate response to repeated capture and handling of wild impala. *J. Experim. Zool.*, 248: 109-112.
- Hay, M., and P. Mormède. 1998. Urinary excretion of catecholamines, cortisol and their metabolites in Meishan and Large White sows: validation as a non-invasive and integrative assessment of adrenocortical and sympathoadrenal axis activity. *Vet. Res.*, 29:119–128

- Hayashi, Y., Shi, S.-H., Esteban, J. A., Piccini, A., Poncer, J.-C., and Malinow, R. (2000). Driving AMPA receptors into synapses by LTP or CaMKII: Requirement for GluR1 and PDZ domain interaction. *Science.*, 287:2262-2267
- Henckel, P.; Karlsson, A.; Oksbjerg, N.; Petersen J.S. 2000. Control of post mortem pH decrease in pigs muscles: experimental design and testing animal models. *Meat Sci.*, 55: 131-138.
- Hettich, E.M.; Hinostroza, G.; van Schaik, Tadich, N. 2007. Factores asociados a la presentación de cojeras en 50 rebaños lecheros de la X<sup>a</sup> Región, Chile. *Arch. Med. Vet.*, 39(3): 247-254.
- Hicks, T.A.; McGlone, J.J.; Whisnant, C.S.; Kattesh, H.G.; Norman, R.L. 1998. Behavioral, endocrine, immune and performance measures for pigs exposed to acute stress. *J. Anim. Sci.*, 76: 474-483.
- Hoenderken, R. 1976. Improved system for guiding pigs for slaughter to the restrainer. *Die Fleischwirtschaft*, 56(6):838-839.
- Hoenderken, R. 1978. *Electrical stunning of pigs for slaughter*. Ph D. Dissertation, Utrecht, The Netherlands.
- Hoenderken, R. 1983. Electrical and carbon dioxide stunning of pigs for slaughter. En: Eikelenboom, G. (Ed.). *Stunning of Animals for Slaughter*. USA: Martinus Nijhoff Pub. pp. 59-63.
- Hughes, B.O. 1976. Behaviour as an index of welfare. *Proc Vth Europ Poultry Conf*, Malta, pp 1005-1018.
- Hui, Y.H.; Guerrero, L.I.; Rosmini, R.M. 2006. *Ciencia y Tecnología de Cames*. México: Limusa.
- Hurd, H.S.; McKean, J.D.; Griffith, R.W.; Wesley, I.V.; Rostagno, M.H. 2002. Salmonella enterica Infections in market swine with and without transport and holding. *Appl. Environ. Microbiol.*, 68: 2376-2381.
- Immonen, K., Ruusonen, M.; Hissa, K.; Puolanne, E. 2000. Bovine muscle glycogen concentration in relation to finish diet, slaughter and ultimate pH. *Meat Sci.*, 55: 25-31.
- Jain, N.C. 1993. *Essential of Veterinary Hematology*. USA: Lea and Febiger.

- Kaneko, J.J. 1997. Carbohydrate metabolism and its diseases. En: Kaneko JJ, Harvey JW and Bruss ML (eds.). *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. San Diego: Academic Press Inc. pp. 45-81.
- Kaneko, J.J.; Harvey, J.W.; Bruss, M.L. 1997. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. USA: Academic Press.
- Kannan, G., Terrill, T. H., Kouakou, B ., Gazal, O. S., Gelaye, E. A., Amonah, E. A., and Samaké, S. 2000 Transportation of goats :Effects on physiological stress responses and live weight loss. *J. Anim.*, 78: 1450-1457
- Kauffman, G.R.; van Laack, R.L.; Russell, R.L.; Pospiech, C.A.; Cornelius, C.A.; Suckow, C.E.; Greaser, M.L. 1998. Can pale, soft, exudative pork be prevented by post-mortem sodium bicarbonate injection? *J. Anim. Sci.*, 76: 3010-3015.
- Kim, D.H.; Woo, J.H.; Lee, C.Y. 2004. Effects of stocking density and transportation time of market pigs on their behaviour, plasma concentrations of glucose and stress-associated enzymes and carcass quality. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.* 17(1): 116-121.
- Klont, R.E.; Lambooy, E.; Logtestijn, J.G. 1993. Effect of preslaughter anesthesia on muscle metabolism and meat quality of pigs of different halothane genotypes. *J. Anim. Sci.* 71: 1477-1485.
- Knowles, T.G. 1999. A review of road transport. *Vet. Rec.*, 144: 197-201.
- Knowles, T.G.; Brown, S.N.; Edwards, J.E.; Warris, P.D. 1998. Ambient temperature below which pigs should not be continuously showed in lairage. *Vet. Rec.*, 143: 576-578.
- Knowles, T.G.; Warriss, P.D.; Brown, S.N.; Edwards, J.E.; Watkins, P.E.; Phillips, A.J. 1997. Effects on calves less than one month old of feeding or not feeding them during road transport of up to 24 hours. *Vet. Rec.*, 140: 116-124.
- Kocan, A.A.; Glenn, B.L.; Thedford, T.R.; Doyle, R.; Waldrup, K.; Kubat, G.; Shaw, M.G. 1981. Effects of chemical immobilization on hematologic and serum chemical values in captive white-tailed deer. *JAVMA*, 179: 1153-1156.

- Kock, M.D.; Clark, R.K.; Franti, C.E.; Jessup, D.A.; Wehausen, J.D. 1987. Effects of capture on biological parameters in free-ranging bighorn sheep (*Ovis canadensis*): evaluation of postcapture survival. *J. Wildlife Dis.*, 23: 652-662.
- Kuchenmeister, U. and Kuhn, G. 2003. Regulation of intracellular Ca<sup>2+</sup> concentration and meat quality in pigs. *Archiv fur Tierzucht* 46(5): 445-454.
- Kusina, N.T.; Sachikonye, S.; Kusina, J.; Ndiweni, P.; Waran, N. 2003. Effect of on-farm treatment, transport and lairage times on bruising in slaughter pigs in Zimbabwe. *Pig J.*, 52: 91-97.
- Lambooy, B.; Gerard, S.; Merkus, M.; Vorse, N.V.; Pieterse. 1996. Effect of low voltage with a high frequency electrical stunning on unconsciousness in slaughter pigs. *Fleischwirtschaft*, 76: 1327-1328.
- Lambooy, E. and Engel, B. 1991. Transport of slaughter pigs by truck over a long distance: some aspects of loading density and ventilation. *Livest. Prod. Sci.*, 28: 163-174.
- Lambooy, E. and van Putten, G. 1993. Transport of pigs. En: Grandin T (Ed.) *Livestock Handling and Transport*. UK: CAB International: Wallingford. pp 213-231.
- Lambooy, E.; Garssen, G.J.; Walstra, P.; Mateman, G.; Merkus, G.S.M. 1985. Transport of pigs by car for 2 days: some aspects of watering and loading density. *Livest. Prod. Sci.*, 13: 289-299.
- Larsen, H.K. 1982. Comparison of 300 volt manual stunning, 700 volt automatic stunning and CO<sub>2</sub> compact stunning with respect to quality parameters, blood splashing, fractures and meat quality. En: G. Eikelenboom (Ed.). *Stunning of Animals for Slaughter*. The Hague: Martinus Nijhoff Pub. pp. 73-81.
- Lawrie, R.T. 1977. *Ciencia de la Carne*. España: Acribia. pp. 156 -161.
- Lebret, B.; Meunier-Salaün, M.C.; Foury, A.; Mormède, P.; Dransfield, E.; Dourmad, J.Y. 2006. Influence of rearing conditions on performance, behavioral, and physiological responses of pigs to preslaughter handling, carcass traits, and meat quality. *J. Anim. Sci.*, 84: 2436-2447.

- Lee, C.Y.; Kim, D.H.; Woo J.H. 2004. Effects of stocking density and transportation time of market pigs on their behaviour, plasma concentrations of glucose and stress-associated enzymes and carcass quality. *Asian-Australasian J. Anim. Sci.*, 17: 116-121.
- Leheska, J.M.; Wulf, D.M.; Maddock, R.J. 2003. Effects of fasting and transportation on pork quality development and extent of postmortem metabolism. *J. Anim. Sci.*, 81: 3194-3202.
- Lehner, P. 1996. *Handbook of Ethological Methods*. 2<sup>nd</sup> ed. UK: Cambridge University Press. 672 pp.
- Lehninger, A. 1995. *Bioquímica*. España: Omega.
- Lendfers, L.H.H.M. 1971. Loss of pigs due to death during transport; a one year survey at an abattoir. *Proc. 2nd International Symposium on the Condition and Meat Quality of Pigs*. The Netherlands Pudoc Wageningen, pp. 225-229.
- Luescher, U.A.; Friendship, R.M.; Lissemore, D.D.; Mc Keown, D.B. 1989. Clinical ethology in food animal practice. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 22: 191-214.
- Maldonado, M.J.; Mota-Rojas, D.; Becerril-Herrera, M.; Flores-Peinado, S.; Camacho-Morfín, D.; Cardona-Leija, A.; Ramírez-Necoechea, R.; Morfín-Loyden, L.; González-Lozano, M.; Pereda-Solís, M.E.; Alonso-Spilsbury, M. 2007. Broiler welfare evaluation through two stunning methods: effects on critical blood variables and carcass yield. *JAVA*, 6(12): 1469-1473.
- Malmfors, G. 1982. Studies on some factors affecting pig meat quality. *Proc. 28th European Meeting of Meat Research Workers*: 21-23.
- Manteca, V.X. 2005. Assessment of stress during handling, transport and slaughter / Determination del estrés durante el manejo, transporte y sacrificio. *Suis* (14): 20-20...25.
- Martin, P. and Bateson, P. 1986. *Measuring Behaviour: An Introductory Guide*. U.K.: Cambridge Univ. Press. 200 pp.
- Martínez-Quintana, J.A.; Alarcón-Rojo, A.D.; Ortega-Gutiérrez, J.A.; Janacua-Vidales, H. 2006. Incidence of halothane and rendement Napole genes and their effect on quality of pork. *Universidad y Ciencia Tropico Húmedo*, 22(2): 131-139.

- McGlone, J.J.; Salak, J.L.; Lumpkin, E.A.; Nicholson, R.I.; Gibson, M.; Norman, R.L. 1993. Shipping stress and social status effects on pig performance, plasma cortisol, natural killer cell activity, and leukocyte numbers. *J. Anim. Sci.*, 71: 888-896.
- Morgan, J.B., and Smith, G. C. 1995. Results of the "International Beef Quality Audit." *The Final Report of the Second Blueprint for Total Quality Management in the Fed-Beef (Slaughter Steer/Heifer) Industry*. G. C. Smith, ed. Natl. Cattlemen's Beef Assoc., Englewood, CO. pp. 35-40.
- Mormède, P., S. García-Belenguer, J. Dulluc, and C. Oliver. 1994. Independent segregation of a hyperactive hypothalamo-hypophyso-adrenal axis and a reduced behavioural reactivity in pigs. *Psychoneuroendocrinology*, 19:305-311
- Moss, R. 1992. Definition of health and welfare. En Moss R. (Ed.). *Livestock Health and Welfare*. GB: Longman Sci & Tech. pp. 1-19.
- Mota-Rojas, D.; Becerril, H.M.; Ramírez N.R.; Alonso, S.M. 2000a. Relación entre el síndrome del estrés porcino y la calidad de la carne. *Agronegocios en México*, 40: 12-18.
- Mota-Rojas, D.; Becerril, H.M.; Alonso, S.M.; Ramírez-Necoechea, R. 2000b. Efecto de la ausencia del método de insensibilización sobre la canal porcina. *Memorias del XVII Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias*, Atlapa, Panamá. p. 303.
- Mota-Rojas, D.; Becerril, H.M.; Alonso, S.M.; Ramírez-Necoechea, R. 2000c. Evaluación del proceso de recepción y sacrificio de ovinos en un rastro municipal del Estado de México. *Memorias del XVII Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias*, Atlapa, Panamá. p. 297.
- Mota-Rojas, D.; Becerril, H.M.; Alonso, S.M.; Ramírez-Necoechea, R. 2000d. Importancia del proceso de sacrificio. *Porcicultores y su Entorno*, 3 (16): 34-39.
- Mota-Rojas, D.; Becerril-Herrera M.; Lemus-Flores, C.; Trujillo-Ortega, M.E.; Ramírez N.R.; Alonso-Spilsbury, M. 2005b. Efecto del periodo de descanso previo al sacrificio sobre el perfil químico serológico y calidad de la canal en cerdos.

*Memorias XL Congreso Nacional AMVEC*. León, Gto. 13 al 17 de julio. C. Pijoán A. et al. (Eds.). p. 186.

- Mota-Rojas, D.; Becerril-Herrera, M.; Gay, J.F.R.; Lemus, F.C.; Alonso, S.M.L.; Ramírez, N.R.; Escobar, I.I. 2005a. Efecto del transporte en la calidad de la carne de cerdo. En: *Calidad de la Carne, Salud Pública e Inocuidad Alimentaria*. México: Universidad Autónoma Metropolitana. Serie Académicos CBS No. 52. 353 pp.
- Mota-Rojas, D.; Becerril, M.; Lemus, C.; Sánchez, P.; González, M.; Olmos, S.A.; Ramírez, R.; Alonso-Spilsbury, M. 2006a. Effects of mid-summer transport duration on pre- and post-slaughter performance and pork quality in Mexico. *Meat Sci.*, 73: 404-412.
- Mota-Rojas, D.; Becerril-Herrera, M.; Ramírez-Necoechea, R.; Lemus, C.; Alonso-Spilsbury, M. 2006b. Slaughtering process, carcass yield and cutting process in California and Chinchilla rabbit breeds. *J. Food Technol.*, 4(1): 86-89.
- Mota-Rojas, D.; Maldonado, M.J.; Becerril, M.H.; Flores, S.C.P.; González-Lozano, M.; Alonso-Spilsbury, M.; Camacho-Morfin, D.; Ramírez, R.N.; Cardona A.L.; Morfín-Loyden, L. 2008. Welfare at slaughter of broiler chickens: a review. *Intl. J. Poultry Sci.*, 7(1): 1-5.
- Mota-Rojas, D.; Becerril-Herrera, M.; Trujillo-Ortega, M.E.; Alonso-Spilsbury, M.; Flores-Peinado, S.C.; Guerrero-Legarreta, I. 2009. Effects of pre-slaughter transport, lairage and sex on pig chemical serologic profiles. *JAVA*, 8(2): 246-250.
- Mounier, L.; Dubroeuq, H.; Andanson, S.; Veissier, I. 2006. Variations in meat pH of beef bulls in relation to conditions of transfer to slaughter and previous history of the animals. *J. Anim. Sci.*, 84: 1567-1576.
- Murata, H.; Shimada, N.; Yoshioka, M. 2004. Current research on acute phase proteins in veterinary diagnosis: an overview. *Vet. J.*, 168: 28-40.
- Murray, A.C. and Johnson, C.P. 1998. Impact of halothane gene on muscle quality and pre-slaughter deaths in Western Canadian pigs. *Can. J. Anim. Sci.*, 78: 543-548.

- Newel, K.; Franchi, A.; Pouyssegur, J.; Tannock, I. 1993. Studies with glycolysis – deficit cells suggest that production of lactic acid is not the only cause of tumor acidity. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 90: 1127-1131.
- Newsholme, E.A.; Blomstrand, E.; Ekblom, B. 1992. Physical and mental fatigue: metabolic mechanisms and importance of plasma amino acids. *Brit. Medical Bull.*, 48: 477-495.
- NOM-024-ZOO-1995. Norma Oficial Mexicana NOM-024-ZOO-1995, Especificaciones y características zoosanitarias para el transporte de animales, sus productos y subproductos, productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos. *Diario Oficial de la Federación 10-16-95*.
- NOM-033-ZOO-1995. Norma Oficial Mexicana. NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. *Diario Oficial de la Federación*. 16 de julio de 1996.
- Nowak, B.; von Mueffling, T.; Hartung, J. 2007. Can CO<sub>2</sub> stunning meet welfare of slaughter pigs? *XII International Congress in Animal Hygiene ISAH 2007*. June 17-21. Tartu, Estonia. pp. 1038-1043.
- NPPC National Pork Producer Council. 1991. Procedures to evaluate market hogs. *Bulletin Des Moines IA*: 11-16.
- NPPC. 1994. *Procedures to evaluate market hogs*. National Pork Producer Council. 11-16 *Bulletin Des Moines IA*.
- Nyberg, L.; Lundstrom, K.; Edfors-Lilja, I.; Rundgren, M. 1988. Effect of transport stress on concentrations of cortisol, corticosteroid-binding globulin and glucocorticoid receptors in pigs with different halothane genotypes. *J. Anim. Sci.*, 66: 1201-1211.
- O'Neill, D.J.; Lynch, P.B.; Troy, D.J.; Buckley, D.J.; Kerry, J.P. 2003. Influence of the time of the year on the incidence of PSE and DFD in Irish pig meat. *Meat Sci.*, 64: 105-111.
- Oedra, B. R., P. C. Bates, and D. J. Millward. 1983. Time course of the effect of catabolic doses of corticosterone on protein turnover in rat skeletal muscle and liver. *Biochem. J.*, 214:617-627.

- Oliver, M.A., Goup, G.M., Dietre, A., Arnau, J., Noguera, J.L. y Blasco, A. 1994. Comparison of five types pigs crocess. Fresh meat quality and sensory characteristics of dry cured ham. *Livestock Production Science.*, 40: 179-185.
- Oliver, M.A.; Goup, G.M.; Dietre, A.; Arnau, J.; Noguera, J.L.; Blasco, A. 2000. Comparison of five types pigs crocess. Fresh meat quality and sensory characteristics of dry cured ham. *Livest. Prod. Sci.*, 40: 179-185.
- Orozco-Gregorio, H.; Mota-Rojas, D.; Alonso-Spilsbury, M., Olmos, A.; Ramírez, R.; Velazquez, Y.; Nava-Ocampo, A.; Hernández González, R.; Trujillo-Ortega, M.E.; Villanueva-Garcia, D. 2008. Short-term neurophysiologic consequences of intrapartum asphyxia in piglets born by spontaneous parturition. *Int. J. Neurosci*, 118: 1229-1315
- Ovilo, C., A. Clop, J. L., Noguera, M. A., Oliver, C., Barragán, C., Rodríguez, L., Silió, M. A., Toro, A., Coll, J. M., Folch, A., Sánchez, D., Babot, L., Varona and M. Pérez-Enciso. 2002. Quantitative trait locus mapping for meat quality traits in an Iberian x Landrace F2 pig population. *J Anim Sci.*, 80:2801-2808.
- Palacio, J.; Garcia-Belenguer, S.; Gascon, F.M.; Liste, F.; Ortega, C.; Lobera, B.; Martin-Maestro, I.; Angel, J.A.; Lles, J.C.; Bayo, F. 1996. Mortalidad durante el transporte a un matadero en ganado porcino. *Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animal*, 11: 159-169.
- Peeters, E.; Neyt, A.; Beckers, F.; de Smet, S.M.; Aubert, A.E.; Geers, R. 2005. Influence of supplemental magnesium, tryptophan, vitamin C, and vitamin E on stress responses of pigs to vibration. *J. Anim. Sci.*, 83: 1568-1580.
- Peinado, V.I.; Fernández-Arias, A.; Zabala, J.L.; Palomeque J. 1993. Effect of captivity on the blood composition of Spanish ibex (*Capra pyrenaica hispana*). *Vet. Rec.*, 137: 5588-591.
- Pérez, A.J.A. 2006. Color. *Ciencia y Tecnología de Carnes*. México: Limusa. pp. 161-177.
- Pérez, M.P.; Palacio, J.; Santolaria, M.P.; Acena, M.C.; Chacon, G.; Gascon, M.; Calvo, J.H.; Zaragoza, P.; Beltran, S.; Garcia-Belenguer, S. 2002. Effect of transport time on welfare and meat quality in pigs. *Meat Sci.*, 61: 425-433.

- Pérez, M.P.; Palacio, J.; Santolaria, M.P.; Aceña, M.C.; Chacón, G.; Verde, M.T.; Calvo, J.H.; Zaragoza, M.P.; Gascón, M.; García-Belenguer, S. 2002. Influence of lairage time on some welfare and meat quality parameters in pigs. *Vet. Res.*, 33: 239-250.
- Perremans, S.; Randall, J.M.; Allegaert, L.M.; Stiles, A.; Rombouts, G.; Geers, R. 1998. Influence of vertical vibration on heart rate of pigs. *J. Anim. Sci.*, 76: 416-420.
- Perremans, S.; Randall, J.M.; Rombouts, G.; Decuyper, E.; Geers, R. 2001. Effect of whole body vibration in the vertical axis on cortisol and adrenocortical hormone levels in piglets. *J. Anim. Sci.*, 79: 975-981.
- Piñeiro, M.; Piñeiro, C.; Carpinteiro, R.; Morales, J.; Campbell, F.M.; Eckersall, P.D.; Tousaint, M.S.M.; Lampreave, F. 2007. Characterisation of the pig acute phase protein response to road transport. *Vet. J.*, 173: 669-674.
- Pollard, J.C.; Littlejohn, R.P.; Asher, G.W.; Pearse, A.J.T.; Stevenson-Barry, J.M.; McGregor, S.K.; Manley, T.R.; Duncan, S.J.; Sutton, C.M.; Plock, K.L.; Prescott, J. 2002. A comparison of biochemical and meat quality variables in red deer (*Cervus elaphus*) following either slaughter plant. *Meat Sci.*, 60: 85-94.
- Prändl, O.; Fischer, A.; Schmidhofer, T. 1994. *Tecnología e Higiene de la Carne*. España: Acribia. pp. 115-141.
- Pratt, P.W. 1997. Laboratory procedures for veterinary technicians. Edit. Mosby.USA
- Preston, T.R. y Willis, M.B. 1986. *Producción Intensiva de Carne*. México: Diana.
- Prince, J.F. y Schweigert, B.S. 1994. *Ciencia de la Carne y de los Productos Cármicos*. España: Acribia. pp. 139-166.
- Quiróga, T.G. y García S.J.L. 1994. *Manual para la Instalación del Pequeño Matadero Modular de la FAO*. Italia: FAO.
- Raj, A.B. 1999. Behavior of pigs exposed to mixture of gasses and the time required to stun and kill them: welfare implications. *Vet. Rec.*, 144:165-168.
- Raj, A.B.; Johnson, S.P.; Wotton, S.B.; McIntyry, J.L. 1997. Welfare implications of gas stunning of pigs. The time of loss to somatosensory evoked potentials and

- spontaneous electrocorticograms of pigs during exposure to gases. *Vet. Rec.*, 153: 329-339.
- Ramantanis, S.B. 2003. The influence of transport on pig meat quality. *J. Hellenic Vet. Med. Soc.* 54(4): 335-346.
- Ramírez, L.N. 2005. El estrés y la depresión sexual y reproductiva en producción animal. *Mundo Pecuario*, 1(3): 55-57.
- Rodríguez, P.; Oliver, M.; Manteca, X.; Dalmau, A.; Velarde, A. 2006. Efecto del aturdimiento sobre la calidad de la canal y de la carne en corderos. *Eurocarne* 148: 1-6.
- Rosenvold, K. and Andersson, H.J. 2003. Factors of significance for pork quality: a review. *Meat Sci.*, 64: 219-237.
- Ross, M.H. 2002. Animal stunning system, U.S. Patent 6,471, 576, B1, October 20.
- Rubio, L.M.S. 1996. Conceptos relacionados con la calidad de la carne. *Memorias del Curso de Actualización: Ganadería, Industria y Ciencia de Carne en México*. México: FMVZ-UNAM.
- Rundgren, M.; Lundstrom, K.; Edfors-Lilja, I.; Juneja, R.K. 1990. A within-litter comparison of the three halothane genotypes. 1. Piglet performance and effects of transportation and amperozide treatment at 12 weeks of age. *Livest. Prod. Sci.*, 26: 137-153.
- Saco, Y.; Docampo, M.J.; Fabrega, E.; Manteca, X.; Diestre, A.; Lampreave, F.; Bassols, A. 2003. Effect of stress transport on serum haptoglobin and pig-MAP in pigs. *Anim. Welf.*, 12: 403-409.
- Santos, C.; Almeida, J.M.; Matias, E.C.; Fraqueza, M.J.; Roseiro, C.; Sardina L. 1997. Influence of lairage environmental conditions and resting time on meat quality in pigs. *Meat Sci.*, 45: 253-262.
- SAS Institute, Inc. 2004. Version 9.0. Cary, NC, USA: SAS Institute, Inc.
- SCARM. 1998. *Standing Committee on Agriculture and Resource Management. Model Code of Practice for the Welfare of Animals. Pigs*. 2<sup>nd</sup> ed. SCARM Report No. 66. Australia, 13 pp.

- Schaefer, A.; Rosenvold, K.; Purslow, P.P.; Andersen, H.J.; Henckel, P. 2002. Physiological and structural events post mortem of importance for drip loss in pork. *Meat Sci.*, 61: 355-366.
- Schaefer, A.L.; Jones, S.D.M.; Stanley, R.W. 1997. The use of electrolyte solutions for reducing transport stress. *J. Anim. Sci.*, 75: 258-265.
- Schettler, B.; Vidal, R.; Silva R.; Vallejos L.; Sepulveda, N. 2008. Consumer perception of animal welfare and livestock production in the araucanía region, Chile. *Chilean J. Agric. Res.*, 68(1): 80-93.
- Schettler, B.; Vidal, R.; Silva R.; Vallejos L.; Sepulveda, N. 2009. Consumer willingness to pay for beef meat in a developing country: the effect of information regarding country of origin, price and animal handling prior to slaughter. *Food Quality Pref.*, 20(2): 156-165.
- Scroggs, L.V.; Kattesh, H.G.; Morrow, J.L.; Stalder, K.J.; Dailey, J.W.; Roberts, M.P.; Schneider, J.F.; Saxton, A.M. 2002. The effects of split marketing on the behavior, physiology and performance of finishing swine. *J. Anim. Sci.*, 80: 338-345.
- Seal, U.S.; Verme, L.J.; Ozoga, J.J.; Erickson, A.W. 1972. Effects of immobilization on blood analyses of white-tailed deer. *J. Wildlife Mngmt.*, 36: 1034-1040.
- Sears, J. 2003. The welfare of pig during transport and slaughter. *Pig News Info.*, 24: 83N-90N.
- Sekikawa, M., Seno, K. and Mikami M. 1998. Degradation of ubiquitin in beef during storage. *Meat Science.*, 48, 201-204
- Shaw, F.D. and Trout, G.R. 1995. Plasma and muscle cortisol measurements as indicators of meat quality and stress in pigs. *Meat Sci.*, 39: 237-246.
- Shea-Moore, M. 1998. The effect of genotype on behavior in segregated early weaned pigs in an open field. *J. Anim. Sci.*, 76: 100.
- Shen, Q.W.; Gerrard, D.E.; Du, M. 2008. Compound C, an inhibitor of AMP-activated protein kinase, inhibits glycolysis in mouse longissimus dorsi postmortem. *Meat Sci.*, 78: 323-330.

- Shpigel, N. Y., Avidar, Y. y Bogin, E. 2003. Value of measurements of the serum activities of creatine phosphokinase, aspartate aminotransferase and lactate dehydrogenase for predicting whether recumbent dairy cows will recover. *Vet. Rec.*, 152: 773- 776
- Siegel, S. y Castellan, N.J. 1995. *Estadística no Paramétrica Aplicada a las Ciencias de la Conducta*. México: Trillas.
- Silva, J.R.; Tomic, G.; Caviaras, E.; Mansilla, A.; Oviedo, P. 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.
- Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. 2003. Síntesis Informativa del Mercado del Cerdo. *Porcicultores y su Entorno*, 5 (35): 146-150.
- Smith, L.P. and Allen, W.M. 1976. A study of the weather conditions related to the death of pigs during and after their transportation in England. *Agri. Meteorol.*, 16: 115-124.
- Spencer, G.S.G.; Wilkins, L.J.; Hallett, K.G. 1984. Hormonal and metabolite changes in the blood of pigs following loading and during transport and their possible relationship with subsequent meat quality. *Proc. 30th European Meeting of Meat Research Workers*, 9-14 September, Meat Research Institute, Bristol. UK: Meat Research Institute: Bristol. pp. 15-16.
- Stalder, K.J.; Maya, J.; Christian, L.L.; Moeller, S.J.; Prusa, K.J. 1998. Effects of preslaughter management on the quality of carcasses from porcine stress syndrome heterozygous market hogs. *J. Anim. Sci.*, 76: 2435-2443.
- Steel, G.D.R. y Torrie, H. 1986. *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. Colombia: McGraw-Hill.
- Stephens, S.; Boland, M.P.; Roche, J.F.; Reid, J.F.S.; Bourke, S. 1985. Induction of parturition in swine with the prostaglandin analogue fenprostalene. *Vet. Rec.*, 122: 296-299.
- Strappini, A.C.; Metz, J.H.M.; Gallo, C.B.; Kemp B. 2009. Origin and assesment of bruises in beef cattle at slaughter. *Animal*, 3(5): 728-736.

- Tadich, N.; Gallo, C.; Alvarado, M. 2000. Efectos de 36 horas de transporte terrestre con y sin descanso sobre algunas variables indicadoras de estrés en bovinos. *Arch. Med. Vet.*, 33(1): 43-53.
- Tadich, N.; Gallo, C.; Brito, M.; Broom, D. 2009. Effect of weaning and 48 hour transport by road and ferry on some blood indicators of welfare in lambs. *Livest. Sci.*, 121: 132-136.
- Tadich, N.; Gallo, C.; Bustamante, H.; Schwerter, M.; van Schaik, G. 2005. Effects of transport and lairage time on some blood constituents of Fresian cross steers in Chile. *Livest. Prod. Sci.*, 93: 223-233.
- Tadich, N.; Gallo, C.; Echeverría, R.; van Schaik, G. 2003. Efecto del ayuno durante dos tiempos de confinamiento y de transporte terrestre sobre algunas variables sanguíneas indicadoras de estrés en novillos. *Arch. Med. Vet.*, 35(2): 171-185.
- Tadich, N.; Hettich, E.; van Schaik, G. 2006. Prevalencia de cojeras en vacas de 50 rebaños lecheros del Sur de Chile. *Arch. Med. Vet.*, 37(1): 29-36.
- Tarrant, P.V. 1989. The effects of handling, transport, slaughter and chilling on meat quality and yield in pigs: a review. *Irish J. Food Sci. Technol.*, 13: 79-107.
- Tarumán, J. and Gallo, C. 2008. Bruising in lamb carcasses and its relationship with transport. *Arch. Med. Vet.*, 40: 275-279.
- Thoren-Tolling K. 1991. Serum creatine kinase activity as a selection criterion for stress susceptibility after standardised stress in pigs. *Ann Rech Vet.*, 22(4): 395-403.
- Tomas, F. M., Munro, H. N. & Young, V. R. 1979 *Biochem. J.*, 178, 139-146.
- Trejo, G.A.A. 1973. *Reducción de la pérdida de peso al transporte en bovinos mediante el uso de tranquilizantes*. Tesis de Licenciatura. FMVZ UNAM, México.
- Troeger, K. 1989. Plasma adrenaline levels of pigs after different preslaughter handling and stunning methods. *Proc. 35th Int. Cong. Meat Sci. Technol.*, Vol. III. Copenhagen, Denmark. pp. 975-980.
- Troeger, K. and Wolstersdorf, W. 1991. Gas anesthesia of slaughter pigs. *Fleischwirtsch Intl.*, 4: 43-49.

- Troeger, K. and Woltersdorf, W. 1989. Measuring stress in pigs during slaughter. *Fleischwirtsch*, 69(3):373-376.
- Trunkfield, H.R. and Broom, D.M. 1990. The welfare of calves during handling and transport. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 28: 135-152.
- van der Wal, P. G.; Engel, B.; Reimert, H.G.M. 1999. The effect of stress, applied immediately before stunning, on pork quality. *Meat Sci.*, 53: 101-106.
- van Laack, R.L and Kauffman, R.G. 1999. Glycolytic potential of red, soft, exudative pork longissimus muscle. *J. Anim. Sci.*, 77: 2971-2973.
- Van Putten, G. and Elshof, W.J. 1978 Observations on the effect of transport on the well-being and lean quality of slaughter pigs. *Anim. Reg. Studies*, 1: 247-271.
- Vanda, B. 2007. *Necesidades y Beneficios de una Ley General de Bienestar Animal*. México: UNAM, IFAW. 32 pp.
- Vecerek, V.; Malena, M.; Malena, M. Jr.; Voslarova, E.; Chloupek, P. 2006. The impact of the transport distance and season on losses of fattened pigs during transport to the slaughterhouse in the Czech Republic in the period from 1997 to 2004. *Veterinarni Medicina*, 51: 21-28.
- Velarde, A.; Gisper, M.; Faucitano, L.; Manteca, X.; Diestre, A. 2000a. The effect of stunning method on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses. *Meat Sci.*, 55: 309-314.
- Velarde, A.; Gispert, M.; Faucitano, L.; Manteca, X.; Diestre, A. 2000b. Survey of the effectiveness of stunning procedures used in Spanish abattoirs. *Vet. Rec.*, 146: 65-68.
- Velasco, J. 2001. Aspectos importantes en la medición del pH. *Carne Tec.* 8(5):50-51.
- Von Borell, E. and Schäffer, D. 2005. Legal requirements and assessment of stress and welfare during transportation and pre-slaughter handling of pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 97: 81-87.
- Wajda, S., Denaburski, J., 2003. Pre-slaughter handling of pigs. *Anim. Sci. Papers Rep.*, 21: 173-181

- Walsh, B., Tijvel, T., Tonkonogi, M., and Shalin, K. 2002 Increased concentrations of Pi and Lactic acid reduce creatine- stimulated respiration in muscle fibers. *J. Appl. Physiol.*, 92: 2273-2276.
- Warrington, P.D. 1974. Electrical stunning: a review of literature. *Vet. Bull.*, 44: 617-633.
- Warriss, P.D. 2000. Chapter 7: The effects of live animal handling of carcass and meat quality. *Meat Science an Introductory Text*. UK: CABI Pub. pp. 131-155.
- Warriss, P.D. 1987. The effect of time and conditions of transport and lairage on pig meat quality. En: Tarrant PV, Eikelenboom G and Monin G (Eds.) *Evaluation and Control of Meat Quality in Pigs*. The Netherlands: Martinus Nijhoff Pub. pp. 245-264.
- Warriss, P.D. 1994. Ante-mortem handling of pigs. En: Cole DJA, Wiseman J and Varley MA (eds.). *Principles of Pig Science*. UK: Nottingham University Press. pp. 425-432.
- Warriss, P.D. 1995. Pig handling: guidelines for the handling of pigs antemortem. *Meat Focus Intl.*, 4: 491-494.
- Warriss, P.D. 1998. Choosing appropriate space allowances for slaughter pigs transported by road: a review. *Vet. Rec.*, 142: 449-454.
- Warriss, P.D. 1998. The welfare of slaughter pigs during transport. *Anim. Welf.*, 7: 365-381.
- Warriss, P.D. 2002. Optimal lairage times and conditions for slaughter pigs: a review. *Vet. Rec.*, 153(6): 170-176.
- Warriss, P.D., and Brown, S.N. 1994. A survey of mortality in slaughter pigs during transport and lairage. *Vet. Rec.*, 134:513-515.
- Warriss, P.D., Brown, S.N.; Edwards, J.E.; Knowles, T.G. 1998b. Effects of lairage time on levels of stress and meat quality in pigs. *Anim Sci.*, 66: 255-261.
- Warriss, P.D.; Brown, S.N., Barton Gade, P.; Santos, C.; Nanni Costa, L.; Lambooij, E.; Geers, R. 1998a. An analysis of data relating to pig carcass quality and indices of stress collected in the European Union. *Meat Sci.*, 49: 137-144.

- Warriss, P.D.; Brown, S.N.; Adams, S.M.J. 1994. Relationships between subjective and objective assessments of stress at slaughter and meat quality in pigs. *Meat Sci.* 38: 329-340.
- Warriss, P.D.; Brown, S.N.; Bevis, E.A.; Kestin, S.C. 1990. The influence of pre-slaughter transport and lairage on meat quality in pigs of two genotypes. *Anim. Prod.*, 50: 165-172.
- Warriss, P.D.; Brown, S.N.; Edwards, J.E.; Anil M.H.; Fordham, D.P. 1992. Time in lairage needed by pigs to recover from the stress of transport. *Vet. Rec.*, 131: 194-196.
- Warriss, P.D.; Dudley, C.P.; Brown, S.N. 1983. Reduction in carcass yield in transported pigs. *J. Sci. Food Agric.*, 34: 351-356.
- Weaver, S.A.; Dixon, W.T.; Schaefer, A.L. 2000. The effects of mutated skeletal ryanodine receptors on hypothalamic-pituitary-adrenal axis function in boars. *J. Anim. Sci.* 78:1319-1330.
- Webster, A.J.F. 1998 Assessment of welfare state: the 'five freedoms'. *Naturwissenschaften* 85: 262-269.
- Webster, J. 1994. *Animal Welfare: A Cool Eye Towards Eden*. U.K.: Blackwell Sci. 273 pp.
- Weeding, C.M.; Hunter, E.J.; Guise, H.G.; Penny, R.H.C. 1993. Effects of abattoir and slaughter handling systems on stress indicators in pig blood. *Vet. Rec.*, 133: 10-13.
- Weller, J. I., G. R. Wiggans, P. M. Van Raden, and M. Ron. 1996. Application of a canonical transformation to detection of quantitative trait loci with the aid of genetic markers in a multi-trait experiment. *Theor. Appl. Genet.*, 92:998–1002
- Werner, M. and Gallo, C. 2008. Effects of transport, lairage and stunning on the concentrations of some blood constituents in horses destined for slaughter. *Lives Sci.*, 115: 94-98.
- Westerbland, H., Allen, G. D., and Lännergren, J. 2002. Muscle fatigues: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? *News Physiol Sci.*, 17: 17-21.

- White, R.G.; DeShazer, J.A.; Tressler, C.J.; Borchert, G.M.; Davey, S.; Warninge, A.; Parkhurst, A.M.; Milanuk, M.J.; Clems, E.T. 1995. Vocalizations and physiological response of pigs during castration with and without anesthetic. *J. Anim. Sci.*, 73: 381- 386.
- Wilson, J. 1989. Fundamentos de fisiología Animal. Editores Noriega. México
- Wyss, M. and Kaddurah-Daouk, R. 2002. Creatine and creatinine metabolism. *Physiol. Rev.*, 80: 1107-1213.
- Wyss, M., and Kaddurah – Daouk, R. 2000. Creatine and Creatinine Metabolism. *Physiological Reviews*, 80: 1107-1213

## XI ANEXOS



**Esquema 1.** Transporte de ganado porcino



**Esquema 2.** Características fenotípicas de cerdos importados



**Esquema 3.** Cuantificación de temperature otal



**Esquema 4.** Medición del perfil energético, equilibrio ácido-base y gasometría sanguínea al arribo



**Esquema 5.** Evaluación de convulsions al desangrado



**Esquema 6.** Medición del perfil energético, equilibrio ácido-base y gasometría sanguínea al desangrado



**Esquema 7.** Electronarcosis mediante un restrainer



**Esquema 8.** Anestesia por CO<sub>2</sub>



**Esquema 9. Atributos de la calidad de la carne**



ELSEVIER



## CO<sub>2</sub> stunning may compromise swine welfare compared with electrical stunning

M. Becerril-Herrera<sup>a</sup>, M. Alonso-Spilsbury<sup>b</sup>, C. Lemus-Flores<sup>c</sup>, I. Guerrero-Legarreta<sup>d</sup>,  
A. Olmos-Hernández<sup>b</sup>, R. Ramírez-Necochea<sup>b</sup>, D. Mota-Rojas<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> Doctorate Program in Biological Sciences at Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa-Xochimilco, Mexico, Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Guadalupe, D.F. 04960, Mexico

<sup>b</sup> Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Guadalupe, D.F. 04960, Mexico

<sup>c</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad de la Cultura Amado Nervo, Nayarit 63190, Mexico

<sup>d</sup> Laboratorio Bioquímica de Macromoléculas, Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, D.F. 09340, Mexico

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 9 April 2008

Received in revised form 24 July 2008

Accepted 28 July 2008

#### Keywords:

Animal welfare  
Carbon dioxide electrical  
Stunning  
Electronarcosis  
Pigs

### ABSTRACT

The effects of two different stunning methods on critical blood values in fattening pigs at a federal inspection slaughtering plant were monitored. A total of 658 pigs from the same genetic line and origin, were randomly assigned to 3 treatments: reference baseline levels (resting pigs; T1), stunning with CO<sub>2</sub> (T2) and stunned electrically (T3). Energetic profile, acid imbalance and blood gas levels, were monitored. Significant differences ( $p \leq 0.05$ ) between treatments for all variables were found. CO<sub>2</sub> stunned pigs showed hypercapnia, hypercalcemia, hyperglucemia, lactic acidemia, and an increase in haematocrit, coupled with reduced pH, P<sub>O<sub>2</sub></sub>, and Na; electrically stunned pigs had reduced blood pH, P<sub>CO<sub>2</sub></sub>, and P<sub>O<sub>2</sub></sub>. The remaining indicators were increased in relation to the resting swine. Thus CO<sub>2</sub> stunning leads to a major imbalance because of mineral and acid base gaseous interchange, compared to electric stunning, thus possibly compromising animal welfare.

© 2008 Published by Elsevier Ltd.

### 1. Introduction

Maintaining high standards of animal welfare during transportation and slaughter requires the appropriate equipment and supervision of employees. Besides, animals should be unconscious at the time of slaughter in order to avoid pain and stress during the procedure (Gracey, 1989; Grandin, 2003). Most developed countries and many developing countries have laws that require stunning before sacrifice (FAO, 2001). Stunning is based on producing insensibility by striking the animal or other means.

Sacrifice of swine is carried out by bleeding the arteries and veins of the brachiocephalic trunk that interrupts the nutrient and oxygen supply to the brain, causing death of the animal. Therefore acceptable stunning systems must guarantee quick action rendering the animal unconscious without pain, and the unconscious state must be prolonged till the animal's death (Quiroga & García, 1994).

A stunning system can be reversible or irreversible. In the first case, animals can recover consciousness before death; therefore, the time between stunning and bleeding is a determining factor with regard to stunning efficiency. On the contrary, irreversible stunning systems "stun" and cause death of the animal simultaneously. In this case, the objective of the sacrifice is to drain the blood from the carcass, for which time would not be critical from

the animal welfare point of view (Quiroga & García, 1994; Velarde, Faucitano, Manteca, & Diestre, 2000a).

Currently, the most frequently used methods for stunning swine are electric stunning and exposure to carbon dioxide. The aim of this study was to compare the effect of these stunning methods on the energetic profile, acid imbalances, as well as gaseous interchange, as means to determine animal welfare.

### 2. Material and methods

#### 2.1. Location

This study was carried out in a federal inspection plant in Central Mexico.

#### 2.2. Experimental handling

A total of 658 Mexican swine from a cross of Yorkshire-Landrace mother and a Pietrain sire, were monitored. The day before they left the farm for transportation to the slaughterhouse, random blood samples were taken from 159 pigs approximately 155 days old. This sample was taken as both baseline and reference sample. The next day the animals were transported for 7.5 h from the farm to the slaughterhouse and records were kept until they were sacrificed.

Transportation was done according to the animal care regulations in Mexico (official Mexican regulation NOM-024-ZOO-1995).

\* Corresponding author. Tel./fax: +52 55 5483 7535.

E-mail address: [dmota40@yahoo.com.mx](mailto:dmota40@yahoo.com.mx) (D. Mota-Rojas).

### 2.3. Treatment distribution

The stunning was distributed randomly considering the treatments from Table 1.

### 2.4. Energetic profile, acid imbalance and blood gas tests

After pigs had been rested for 4 h in pens, stunning and bleeding were carried out and immediately after hanging and bleeding of major blood vessels, a single 1 mL blood sample was obtained from the jugular vein by anterior neck puncture using a syringe containing lithium heparin. The blood sampling took approximately 20–30 sec. Haematocrit (%), glucose (mg/dL), serum electrolytes [ $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$  (mmol/L)], blood lactate (mg/dL), partial pressure of carbon dioxide [ $P_{\text{CO}_2}$  (mm Hg)] and oxygen [ $P_{\text{O}_2}$  (mm Hg)] levels, were obtained by means of an automatic blood gas and electrolyte analyzer (GEM Premier 3000, Instrumentation Laboratory Diagnostics S.A. de C.V. Mexico). In addition, the time interval between stun to stick was monitored.

### 2.5. Stunning method

Pigs were stunned before sacrifice by the following methods: electrically (head only stunning) using a restrainer at a current over 250 mA with a voltage of 400 V, for 2 sec and by introducing them into a  $\text{CO}_2$  chamber with 70%  $\text{CO}_2$  atmosphere for approximately 60 sec, in a one-gondola dip-lift system.

### 2.6. Statistical analysis

The results obtained were analyzed through a completely random design, which model was

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \xi_{ij}$$

$i = 1, 2, \dots$  treatment

$j = 1, 2, 3, \dots$  repetitions

where:  $Y_{ij}$  = response variable;  $\mu$  = general mean;  $\tau_i$  = treatment effect;  $\xi_{ij}$  = random error.

The results were analyzed according to the proposed model and through the following procedures:

Time from stunning to bleeding was analyzed with an independent sample  $t$  test for independent variables.

In order to determine statistical differences in the treatments the variables were evaluated using the Tukey test ( $p < 0.05$ ).

The pH variable was statistically analyzed using the Kruskal–Wallis test.

Linear regression analysis of each of the stunning methods: regarding the animals anaesthetized with  $\text{CO}_2$ ,  $P_{\text{CO}_2}$  was used as a dependent variable, and  $P_{\text{O}_2}$ , glucose, haematocrit, lactate and pH as independent variables. A similar process was carried out for the electrically stunned animals.

The SAS Institute (1997) computer program was used.

## 3. Results

Table 2 shows the mean and standard error of the mean for the interval between stunning and bleeding, with high significant dif-

**Table 1**  
Treatment distribution according to stunning method

Treatment 1	159 resting pigs were used as reference values
Treatment 2	247 pigs were stunned with $\text{CO}_2$
Treatment 3	252 pigs were stunned electrically

**Table 2**  
Mean and standard mean of the time interval between stun and bleeding

Variable	Stunning with $\text{CO}_2$ $n = 247$	Stunning electrically $n = 252$	P
	Mean $\pm$ SEM	Mean $\pm$ SEM	
Time interval between stun and stick (seconds)	92.62 $\pm$ 1.75	63.51 $\pm$ 1.42	0.0001

$n$ , number of observed pigs; SEM, standard error of the mean.

ferences between treatments ( $p < 0.001$ ),  $\text{CO}_2$  stunned pigs having a longer interval to sticking compared to electrically stunned hogs.

Table 3 shows the mean and standard error of the energetic profile indicator, acid imbalances and blood gas of the pigs stunned by two different methods before sacrifice. It also shows the reference values which determine the effect stunning had on the physiology of the animal and therefore its welfare. Significant differences ( $p < 0.05$ ) between treatments for all variables were found. Results indicate significant differences ( $p < 0.05$ ) between treatments for all variables from animals stunned with  $\text{CO}_2$ , these pigs showed hypercapnia, hypercalcemia, hyperglucemia, lactic acidemia, and an increase in haematocrit, coupled with reduced pH,  $P_{\text{O}_2}$ , and N. In the case of electrical stunning, pigs showed a decrease in blood pH  $P_{\text{CO}_2}$  and  $P_{\text{O}_2}$ .

Swine stunned with  $\text{CO}_2$  had increased  $P_{\text{CO}_2}$ , potassium, calcium, glucose, lactate and haematocrit, coupled with a decrease in pH,  $P_{\text{O}_2}$  and sodium. The electric stunning group showed decreased blood pH,  $P_{\text{CO}_2}$  and  $P_{\text{O}_2}$ ; the remaining indicators increased in relation to the baseline values. The nonparametric statistical analysis applied to the pH variable showed significantly different results ( $p < 0.01$ ) between stunning methods and baseline levels.

Nevertheless, it is worth mentioning that both stunning methods caused hyperglucemia and lactic acidemia, indicating stress before sacrifice. There was also evidence of dehydration in all the stunned animals, measured as a haematocrit increase, which may indicate poor management during lairage; both conditions may affect animal welfare.

Linear regression analysis for animals stunned with  $\text{CO}_2$  (Table 4), indicate that  $P_{\text{O}_2}$ , glucose and pH, negatively correlated with  $P_{\text{CO}_2}$ , this means that when  $P_{\text{CO}_2}$  increases in the blood, oxygen, glucose and pH are diminished. In addition positive correlations between  $P_{\text{CO}_2}$  and haematocrit percentages, as well as lactate

**Table 3**  
Mean and standard error of energetic metabolism, acid–base balance and blood gases from stunned swine

Variables	Baseline levels $n = 159$	Stunning with $\text{CO}_2$ $n = 247$	Stunning electrically $n = 252$
	Mean $\pm$ SEM	Mean $\pm$ SEM	Mean $\pm$ SEM
Blood pH <sup>a</sup>	7.43 $\pm$ 0.006 <sup>a</sup>	6.93 $\pm$ 0.006 <sup>c</sup>	7.14 $\pm$ 0.007 <sup>b</sup>
$P_{\text{CO}_2}$ (mm Hg)	58.03 $\pm$ 0.42 <sup>b</sup>	96.39 $\pm$ 0.93 <sup>a</sup>	53.04 $\pm$ 0.63 <sup>c</sup>
$P_{\text{O}_2}$ (mm Hg)	32.02 $\pm$ 0.57 <sup>a</sup>	27.55 $\pm$ 0.58 <sup>b</sup>	27.48 $\pm$ 0.52 <sup>b</sup>
$\text{Na}^{+}$ (mmol/L)	141.57 $\pm$ 0.17 <sup>b</sup>	140.64 $\pm$ 0.67 <sup>b</sup>	146.13 $\pm$ 0.47 <sup>a</sup>
$\text{K}^{+}$ (mmol/L)	5.40 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>	14.20 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	9.91 $\pm$ 0.13 <sup>b</sup>
$\text{Ca}^{++}$ (mmol/L)	1.27 $\pm$ 0.006 <sup>c</sup>	1.45 $\pm$ 0.006 <sup>a</sup>	1.29 $\pm$ 0.005 <sup>b</sup>
Glucose (mg/dL)	76.57 $\pm$ 0.44 <sup>c</sup>	201.49 $\pm$ 4.41 <sup>a</sup>	184.98 $\pm$ 3.55 <sup>b</sup>
Lactate (mg/dL)	33.10 $\pm$ 0.45 <sup>c</sup>	129.49 $\pm$ 0.57 <sup>a</sup>	124.67 $\pm$ 0.87 <sup>b</sup>
Haematocrit (%)	30.30 $\pm$ 0.37 <sup>c</sup>	51.67 $\pm$ 0.38 <sup>a</sup>	44.35 $\pm$ 0.32 <sup>b</sup>

<sup>a,b,c</sup> in the same row are statistically different, Tukey ( $P \leq 0.05$ ),  $n$ , number of observed pigs; SEM, standard error of the mean.

**Table 4**  
Significant correlated variables in 247 pigs stunned by CO<sub>2</sub>

Dependent variable (y)	Independent variable (x)	Linear equation (y = b + mx)		R	F & P values
		b ± SEM	m ± SEM		
P <sub>CO<sub>2</sub></sub> (mm Hg)	P <sub>O<sub>2</sub></sub> (mm Hg)	122.14 ± 2.41	−0.93 ± 0.08	−0.59	127.80; 0.0001
	Glucose (mg/dL)	119.99 ± 2.34	−0.11 ± 0.01	−0.57	113.84; 0.0001
	Haematocrit (%)	26.04 ± 6.66	1.35 ± 0.12	0.56	112.80; 0.0001
	Lactate (mg/dL)	19.84 ± 12.31	0.59 ± 0.09	0.37	38.80; 0.0001
	pH	426.53 ± 54.83	−47.57 ± 7.90	−0.36	36.26; 0.0001

The independent variables were numbered according to the correlation coefficient (R value). The F and P values observed in the table come from the variance analysis in the linear regression analysis. Parameters b and m in the linear equation are observed with their corresponding standard error mean (SEM).

**Table 5**  
Significant correlation variables in 252 pigs stunned electrically

Dependent variable (y)	Independent variable (x)	Linear equation (y = b + mx)		R	F & P values
		b ± SEM	m ± SEM		
P <sub>CO<sub>2</sub></sub> (mm Hg)	K <sup>+</sup> (mmol/L)	39.55 ± 3.09	1.35 ± 0.30	0.27	19.59; 0.0001
	pH	217.37 ± 38.78	−23.003 ± 5.43	−0.26	17.94; 0.0001
	Glucose (mg/dL)	44.81 ± 2.12	0.04 ± 0.01	0.24	16.36; 0.0001
	Ca <sup>++</sup> (mmol/L)	16.49 ± 9.57	28.19 ± 7.35	0.23	14.69; 0.0002
	P <sub>O<sub>2</sub></sub> (mm Hg)	59.28 ± 2.18	−0.22 ± 0.07	−0.18	9.001; 0.0030

The independent variables were numbered according to the correlation coefficient (R value). The F and P values observed in the table come from the variance analysis of the linear regression analysis. Parameters b and m in the linear equation were observed with their corresponding standard mean error (SME).

concentrations were found. All correlations were statistically significant.

Table 5 shows the linear regression analysis from animals stunned electrically, positive correlations were found for P<sub>CO<sub>2</sub></sub> with potassium, glucose and calcium levels; this means that while P<sub>CO<sub>2</sub></sub> increases, the central respiratory nervous system is affected as a consequence, and potassium, calcium and glucose have major mobility in the blood stream. On the other hand, negative correlations were found in pH and P<sub>O<sub>2</sub></sub> with the dependent variable (P<sub>CO<sub>2</sub></sub>).

#### 4. Discussion

Shaw and Turne (1992), and Hartung, von Müffling, and Nowak (2008), reported that after sacrifice most stunning methods lead to an increase in plasma catecholamines, cortisol, endorphins, lactate, glucose, calcium, magnesium, and proteins among others; there can be major alterations in constituents without apparently compromising animal welfare. This study shows the physical-metabolic effects which are triggered when swine are stunned by two different methods.

##### 4.1. Interval between stun-stick

Anil and McKinstry (1998) recommend that when head only electrical stunning is used with low voltage, pigs should be bled within 15 sec to avoid animal welfare and carcass quality concerns. However, when head to side of body stunning is used with high voltage, bleeding times may be up to 180 sec (Moreno, 2006). In the present study there was a mean interval of 63.5 sec for the electrical stunning group. It is well known that electrical stunning of animals is a reversible and recoverable state; most researchers agree that pigs should be bled within 30 sec to prevent them regaining consciousness.

Velarde, Gispert, Faucitano, Manteca, & Diestre 2000b and Moreno (2006) indicate that CO<sub>2</sub> stunned pigs recover within 1–3 min after withdrawal from the chamber, whereas they die if they are left breathing the CO<sub>2</sub> for 4–5 min. Therefore, time of exposure is important as well as the interval between stun and stick, which should be within 60 sec, according to some European regulations (Atkinson & Algers, 2007). Current research by Hartung et al.

(2008), shows that exposure of pigs to a CO<sub>2</sub> atmosphere of 80% volume for 70 sec is not sufficient for a proper stun. In the present study the average time taken from the CO<sub>2</sub> gondola to hanging and bleeding was quite high (92.6 sec). Atkinson and Algers (2007) showed that only 30% of all pigs in 7 abattoirs studied, where stuck within 60 sec. There are difficulties for many abattoirs to achieve the 60 sec due to technical design of the gondolas and the shackle line. In this study, pigs were stunned in gondolas with capacity for 4 animals at a time.

##### 4.2. CO<sub>2</sub> stunning

When the animals are stunned in the CO<sub>2</sub> chamber, they are not physically restrained; there were a larger percentage of altered indicators in comparison to the baseline levels. Stunning is achieved through a neuronal function caused by hypercapnic hypoxia and diminishing pH in the central nervous system (Velarde et al., 2000a). In addition, stunning in the CO<sub>2</sub> chamber increases the anaerobic oxidative metabolism that increases glucose levels in the blood stream and triggers intracellular flow of K<sup>+</sup> ions by hydrogen ions, causing metabolic acidosis. Exposure to CO<sub>2</sub> stimulates the respiratory rate and can lead to respiratory distress (Raj & Gregory, 1995).

Considering the inverse proportional relation in the partial pressure of the blood gas (P<sub>CO<sub>2</sub></sub>, P<sub>O<sub>2</sub></sub>), Haumann (1989) reports that swine become unconscious with a mixture of 80% CO<sub>2</sub> and 20% air, which proves that the carbon dioxide produces the anesthesia and this is not caused by lack of oxygen (gassing), since experimental evidence after monitoring the oxygen content in the blood (Ring, 1988) and evaluating the recovery time of the animals (Laursen, 1983), suggests that gassing for air does not play an important role in CO<sub>2</sub> stunning.

Introducing animals in unfamiliar places such as gas chambers or the entrance to the slaughterhouse can cause anxiety or stress. Raj and Gregory (1995) found that swine exposed to CO<sub>2</sub> were more reluctant to enter a corral to eat apples, than swine that had been exposed to argon. Hartung, Nowak, Waldmann, and Ellerbrock (2002) observed that 80% CO<sub>2</sub> was not enough to eliminate all reflexes after 70 sec of exposure in swine. Gregory, Mohan Raj, Audsley, and Daly (1990) claim carbon dioxide is unpleasant

to breath due to its acid aroma, which can be uncomfortable at high concentrations, causing the sensation of asphyxia. Even though this phenomenon only affects the animals in the first stages of anesthesia, Gregory (1994) considers that it is enough for it to be classified as an undesirable and inhumane stunning system.

Zeller, Schatzmann, and Imhof (1987) studied the convulsions swine suffer when stunned with CO<sub>2</sub>, and suggest that part of the convulsive episodes happen in the relaxation phase, pigs remaining conscious, because of which they doubt that this is a humanitarian stunning system. Similarly, Prändi, Fischer, Schmidhofer, and Sinell (1994) proved through electroencephalographic studies, that animals stunned with CO<sub>2</sub> lost consciousness only after prolonged excitation and exposure to the gas for 40 sec, which from an animal welfare point of view, is considered inadequate since the animals reaction caused a high state of excitation, that translates into greater stress and renders poor quality meat. On the other hand, Forslid (1982) studied the electroencephalograms of swine anesthetized with CO<sub>2</sub> and found that the convulsive attacks happened after loss of consciousness.

These anxiety attacks trigger catecholamine release, which in turn causes an increase in cardiac rate, oxygen consumption and body temperature; diminishes pH, causes accumulation of lactic acid (Hambrecht, Eissen, & Versteegen, 2003; Hambrecht et al., 2004), increases gluconeogenesis and has a biphasic effect on potassium serum concentration. Initially, this causes a transitory increase in the level of potassium through stimulation of the  $\alpha$ -adrenergic receptor, followed by hypokalemia due to  $\beta_2$  receptor stimulation. This plays an important role in the development of fatigue due to exercise (Bia & DeFronzo, 1981); high levels of potassium serum have also been related to a stress response (Kock, Clark, Franti, Jessup, & Wehausen, 1987; Peinado, Fernández-Arias, Zabala, & Palomeque, 1993).

According to Pollard et al. (2002), glucose levels are an indicator for stress; glycaemia is subject to hormonal control. Therefore the glucagon, glucocorticoids, adrenalin, thyroid hormones, growth hormones and progesterone are hyperglycemic and activate gluconeogenesis and glycogenolysis, or infer the use of glucose by the tissues (Kaneko, 1997). There are a number of studies that describe the increase of serum or plasmatic levels in glucose as a consequence of stress (Bush, Smith, & Custer, 1981; Carragher, Ingram, & Matthews, 1997; Franzman & Thorne, 1970; Hartmann, 1988; Hatting, Pitts, & Ganhao, 1988; Kocan et al., 1981; Kock et al., 1987; Seal, Verme, Ozoga, & Erickson, 1972). In response to stress, glucose levels increase due to catecholamine and glucocorticoids secretion.

Lactate is a metabolite originating in muscular glycogenolysis due to lack of glucose phosphatase 6, necessary for glycogen synthesis. Lactate forming in the muscle is transported by the blood to the liver where it is transformed into glucose. Another source of lactate is anaerobic glycolysis; in the absence of oxygen, pyruvate is reduced to lactate by lactate dehydrogenase (Kaneko, 1997).

Haematocrit increase is attributed to spleen contractions, in part due to diminished plasma volume. The spleen contraction is the effect of liberated catecholamine during sympathetic stimulation (Jain, 1993). The spleen contraction provides a large quantity of oxygenated erythrocytes to the muscular mass that permits major activity for the animal.

#### 4.3. Electrical stunning

Critical blood values from the electrically stunned animals showed metabolic acidosis, hypocapnia, hyperphosphotemia, hyperglycemia, lactic acidosis, and an increase in haematocrit percentage. As before (in the case of the animals stunned in the CO<sub>2</sub> chamber) the effect is caused by *ante mortem* handling, coupled

to the elevated levels of serum sodium due to an excessive loss of water or reduced water ingestion (Bush, 1993).

Electronarcosis is a popular form of stunning in the swine sector, while at the same time is less recommended as compared to gas inhalation due to the fact that electrical stunning can produce a poorer quality final product and augment PSE carcasses (Barton-Gade, 1984; Velarde, Gispert, & Diestre, 1999). Although stunning eliminates the stress of bleeding, it induces physiological changes which can negatively affect the quality of the final product. These changes are due mainly to the increase in blood pressure, muscular activity and increased liquid exudation, also caused by a major denaturation of muscular proteins, with subsequent loss of meat quality caused by contusions, hemorrhages or fractures, or quality loss because of biochemical alterations responsible for muscular transformation of the meat. Indeed, electrical stunning causes higher incidences of PSE meat compared to the CO<sub>2</sub> stunning (Velarde et al., 2000b; Velarde et al., 2001), due to nervous system stimulation that accelerates *rigor mortis* and diminishes muscular pH while the musculature is still warm.

In addition, poor use of this technique results in lower quality carcasses with greater incidence of bruising, hemorrhages and bone fractures (Gregory, Moss, & Leeson, 1987; Larsen, 1982; Troeger, 1996). However, other authors point out additional influential factors such as predisposition to stress, high muscular development, excessive stress before sacrifice, muscular fiber lesions, immobilization, bleeding, and errors committed by personnel, as major causes of these defects (Lambooi, Merkus, & Hulsegge, 1992; Wenzlawowicz, 1996).

Larsen (1982) with electrically stunned animals found between 10% and 19% incidences of PSE meat, whereas animals stunned with CO<sub>2</sub> had an incidence between 2% to 9%. Channon, Payne, and Warner (2003) found that modifications in the amperage levels (0.9, 1.3, 2), contact time and type of electric stunning, had an effect on the incidence of PSE meat, hemorrhages, pH, exudation loss and fractures; they were higher than swine stunned in CO<sub>2</sub> chambers. Moreover, Channon, Payne, and Warner (2002) concluded that the use of electrodes on the head/side tends to decrease pH after sacrifice and produced pale meat with higher losses to exudation.

When comparing the two stunning methods, Mihajlovic, Turubatovic, and Radovanov (1993) observed that the dazed animals in the CO<sub>2</sub> chambers were less stressed moments before sacrifice, avoiding grunting sounds from the animals, while improving handling, and reducing PSE meat (2–6%), and blood splash that appears in the *Longissimus dorsi* muscle and bone fractures. Barton-Gade (1984) observed that electrically stunned swine went into *rigor mortis* earlier and there was more PSE meat 45 min *post mortem*, compared to CO<sub>2</sub> narcosis.

Velarde et al. (1999) did a comparative study in 4 slaughterhouses with electric and CO<sub>2</sub> stunning systems and the relationship to meat and carcass quality at 2 and 7 h *post mortem*; they found that the PSE incidence at slaughterhouses equipped with CO<sub>2</sub> inhalation systems was less compared to electric stunning, both at 2 h (3.8% compared to 8.8%) and 7 h (13.8% compared to 18.8%).

From the animal welfare point of view, Velarde et al. (1999) considered that CO<sub>2</sub> stunning was less efficient than electronarcosis with head and side methods, since physiological reflexes, for example corneal reflex and sensibility to pain, with exception to spontaneous respiration, were clearly superior to electric stunning.

The CO<sub>2</sub> stunning caused lactic acidemia, hyperglycaemia, hyperkalemia, hypercalcemia as well as respiratory and metabolic acidosis in swine, seconds before entering the state of anesthesia. On the other hand, electrocution triggered hypernatremia and hyperglycemia, therefore CO<sub>2</sub> stunning caused major alterations

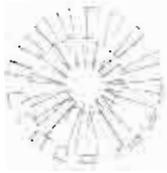
thus possibly compromising animal welfare compared to electrical stunning.

### Acknowledgements

This study is from the first author as a member of the Doctorate Program in Biological Science at the Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa-Xochimilco. Marcelino Becerril-Herrera was supported by the scholarship from CONACYT, Mexico. María Alonso-Spilsbury, Clemente Lemus-Flores, Isabel Guerrero-Legarreta, Ramiro Ramírez-Necoechea and Daniel Mota-Rojas, were supported, as members, by the Sistema Nacional de Investigadores (SNI) in Mexico.

### References

- Anil, M. H., & McKinstry, J. L. (1998). Variations in electrical stunning tong placements and relative consequences in slaughter pigs. *Veterinary Journal*, 155, 85–90.
- Atkinson, S., & Algiers, B. (2007). The development of a stun quality audit for cattle and pigs at slaughter. In Proceedings International Congress in Animal Hygiene. June 17–21. Tartu, Estonia. pp. 1023–1027.
- Barton-Gade, P. A. (1984). Influence of halotane genotype on meat quality in pigs subjected to various pre-slaughter treatments. In Proceedings 30th International Congress of European Meeting of Meat Research Workers. September 9–14. Colorado. Langford. pp. 8–9.
- Bla, M. J., & DeFronzo, R. A. (1981). Extra renal potassium homeostasis. *American Journal of Physiology*, 220, 257–268.
- Bush, B. M. (1993). *Interpretation of laboratory results for small animal clinicians*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Bush, M., Smith, E. E., & Custer, R. S. (1981). Hematology and serum chemistry values for captive Dorcas gazelles: Variation with sex age and health status. *Journal of Wildlife Diseases*, 17, 135–143.
- Carregher, J. F., Ingram, J. R., & Matthews, L. R. (1997). Effects of yarding and handling procedures on stress response of red deer stags. *Applied Animal Behaviour Science*, 51, 143–158.
- Channon, H. A., Payne, A. M., & Warner, R. D. (2002). Comparison of CO<sub>2</sub> stunning with manual electrical stunning (50 Hz) of pigs on carcass and meat quality. *Meat Science*, 60, 63–68.
- Channon, H. A., Payne, A. M., & Warner, R. D. (2003). Effect of stun duration and current level applied head to back and head only electrical stunning of pigs on pork quality compared with pigs stunned with CO<sub>2</sub>. *Meat Science*, 65, 1325–1333.
- FAO (2001). Directrices para el Manejo, Transporte y Sacrificio Humanitario del Ganado. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific. Thailand.
- Forslid, A. (1982). Workshop on stunning of livestock. Proceedings 34th International Congress of Meat Science and Technology. Aug. 29–Sept. 2. Brisbane. pp. 8–10.
- Franzman, A. W., & Thorne, E. T. (1970). Physiologic values in wild bighorn sheep (*Ovis canadensis canadensis*) at capture, after handling and after captivity. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 157, 647–650.
- Gracey, J. F. (1989). Higiene de la carne. México: Interamericana-McGraw Hill, Inc. [pp. 127–150].
- Grandin, T. (2003). Transferring results of behavioral research to industry to improve animal welfare on the farm, ranch and the slaughter plant. *Applied Animal Behaviour Science*, 81, 215–228.
- Gregory, N. G. (1994). Preslaughter handling, stunning and slaughter. *Meat Science*, 36, 45–56.
- Gregory, N. G., Mohan Raj, A. B., Audsley, A. R. S., & Daly, C. C. (1990). Effect of CO<sub>2</sub> on man. *Fleischwirtschaft*, 70, 1173–1174.
- Gregory, N. G., Moss, B., & Leeson, R. (1987). An assessment of carbon dioxide stunning in pigs. *Veterinary Record*, 121, 517–518.
- Hambrecht, E., Eissen, J. J., Nooljen, R. I. J., Ducro, B. J., Smit, C. H. M., den Hartog, L. A., et al. (2004). Pre-slaughter stress and muscle energy largely determine pork quality at two commercial processing plants. *Journal of Animal Science*, 82, 1401–1409.
- Hambrecht, E., Eissen, J. J., & Verstegen, M. W. A. (2003). Effect of processing plant on pork quality. *Meat Science*, 64, 125–131.
- Hartmann, N. C. (1988). Critères biochimiques et hématologiques du stress et leurs relations avec les mécanismes de défense. *Recueil Médicine Vétérinaire*, 164, 743–750.
- Hartung, J., von Mülling, T., & Nowak, B. (2008). Influence of CO<sub>2</sub> stunning on EEG, catecholamines and clinical reflexes of slaughter pigs. In Proceedings 20th International Pig Veterinary Society Congress, June 22–26. Durban, South Africa. p. 265.
- Hartung, J., Nowak, B., Waldmann, K. H., & Eilerbrock, S. (2002). CO<sub>2</sub> stunning of slaughter pigs: Effects on EEG catecholamines and clinical reflexes. *Dtsch Tierärztl Wochenschr*, 109, 135–139.
- Hatting, J., Pitts, N. I., & Ganhao, M. F. (1988). Immediate response to repeated capture and handling of wild impala. *Journal of Experimental Zoology*, 248, 109–112.
- Haumann, K. (1989). Anestesia con dióxido carbónico para ganado porcino en mataderos Daneses. Conferencia en el Instituto Japonés de la Carne, Cárnicos 2000. pp. 81–86.
- Jain, N. C. (1993). *Essential of veterinary hematology*. Philadelphia: Lea & Febiger.
- Kaneko, J. J. (1997). Carbohydrate metabolism and its diseases. In J. J. Kaneko, J. W. Harvey, & M. L. Bruss (Eds.), *Clinical biochemistry of domestic animals*. San Diego: Academic Press Inc (pp. 45–81).
- Kocan, A. A., Glenn, B. L., Thedford, T. R., Doyle, R., Waldrup, K., Kubat, G., et al. (1981). Effects of chemical immobilization on hemologic and serum chemical values in captive white-tailed deer. *Journal of the American Veterinary Medicine Association*, 179, 1153–1156.
- Kock, M. D., Clark, R. K., Franti, C. E., Jessup, D. A., & Wehausen, J. D. (1987). Effects of capture on biological parameters in free-ranging bighorn sheep (*Ovis canadensis*): Evaluation of postcapture survival. *Journal of Wildlife Diseases*, 23, 652–662.
- Lambouij, B., Merkus, G., & Hulsege, I. (1992). Bandrestraint für Schlachtschweine. *Fleischwirtschaft*, 72, 1315–1317.
- Larsen, H. K. (1982). Comparison of 300 volt manual stunning, 700 volt automatic stunning and CO<sub>2</sub> compact stunning with respect to quality parameters, blood splashing, fractures and meat quality. In G. Eikeboom (Ed.), *Stunning of animals for slaughter* (pp. 73–81). The Hague: Martinus Nijhoff Publishers.
- Laursen, A. M. (1983). *Stunning of animals for slaughter*. The Hague: Martinus Nijhoff Publishers. pp. 64–72.
- Mihajlovic, B., Turibatovic, L., & Radovanov, S. (1993). Influence of stunning ways of pigs on meat quality. *Tehnologija mesa 1–2, godina XXXV*. UDK 664.9:637.513.22. Pregledni rad.
- Moreno, G. B. (2006). Higiene e Inspección de la carne. España: Ediciones Díaz de Santos. pp. 162–186.
- Peinado, V. I., Fernández-Arias, A., Zabala, J. L., & Palomeque, J. (1993). Effect of captivity on the blood composition of Spanish ibex (*Capra pyrenaica hispana*). *Veterinary Record*, 137, 5588–5591.
- Pollard, J. C., Littlejohn, R. P., Asher, G. W., Pearse, A. J. T., Stevenson-Barry, J. M., McGregor, S. K., et al. (2002). A comparison of biochemical and meat quality variables in red deer (*Cervus elaphus*) following either slaughter plant. *Meat Science*, 60, 85–94.
- Prändl, O., Fischer, A., Schmidhofer, T., & Sinell, H.-J. (1994). *Tecnología e higiene de la carne*. España: Acrilba.
- Quiroga, T. G., & García S. J. L. (1994). Manual para la instalación del pequeño matadero modular de la FAO. Italia.
- Raj, A. M., & Gregory, N. G. (1995). Welfare implications of gas stunning of pigs. Determination of aversion to the initial inhalation of carbon dioxide or argon. *Animal Welfare*, 4, 273–280.
- Ring, C. (1988). Workshop on stunning of livestock. In Proceedings 34th International Congress of Meat Science and Technology. Brisbane, Australia. pp. 15–19.
- SAS Institute, Inc. (1997). Version 6.12. Cary, NC, USA: SAS Institute, Inc.
- Seal, U. S., Verme, L. J., Ozoga, J. J., & Erickson, A. W. (1972). Effects of immobilization on blood analyses of white-tailed deer. *Journal of Wildlife Management*, 36, 1034–1040.
- Shaw, D. F., & Turne, K. R. (1992). The assessment of pre-slaughter treatments of livestock by measurement of plasma constituents: A review of recent work. *Meat Science*, 32, 311–329.
- Troeger, K. (1996). Transportation of slaughter animals. Treatment during transport and its consequences for product quality. *Fleisch International*, 1, 2–4.
- Velarde, A., Gispert, M., Faucitano, L., Manteca, X., & Diestre, A. (2000a). The effect of stunning method on the incidence of PSE meat and haemorrhages in pork carcasses. *Meat Science*, 55, 309–314.
- Velarde, A., Gispert, M., & Diestre, A. (1999). Sistemas de aturdimiento en porcino: Efectos sobre el bienestar animal y la calidad del producto final. *Eurocarne*, 76, 55–60.
- Velarde, A., Gispert, M., Faucitano, L., Alonso, P., Manteca, X., & Diestre, A. (2001). Effects of the stunning procedure and the halothane genotype on meat quality and incidence of haemorrhages in pigs. *Meat Science*, 58(3), 313–319.
- Velarde, A., Gispert, M., Faucitano, L., Manteca, X., & Diestre, A. (2000b). Survey of the effectiveness of stunning procedures used in Spanish abattoirs. *Veterinary Record*, 146, 65–68.
- Wenzlawowicz, M. V. (1996). Theoretische Grundlagen der elektrischen Betäubung und vorgehensweise beim verdacht auf fehlerhafte durchführung der elektrischen betäubung. Seminar des Beratungs und Schlachtieren. Univ. Berlin, Zeller, W., Schatzmann, U., & Imhof, A. (1987). *Die Fleischwirtschaft*, 67, 1519.



# Aspectos relevantes del bienestar del cerdo en tránsito

## Relevant aspects of swine welfare in transit

Marcelino Becerril-Herrera\* Daniel Mota-Rojas\*\* Isabel Guerrero Legarreta\*\*\*  
Allne Schunemann de Aluja† Clemente Lemus-Flores‡ Miguel González-Lozano\*\*  
Ramilro Ramírez-Necoechea\*\* María Alonso-Spilsbury\*\*

### Abstract

Current globalization policies demand animal welfare standards on animal transportation. In spite of international tendencies to commercialize meat cuts while decreasing live animal transit, transport is still one of the major problems in terms of animal welfare, besides carcass and meat by-products' quality. The present review analyzes, in general terms, the different definitions on animal welfare and factors affecting pig welfare in transit. Several case studies are referred to as examples, showing the animal response to stress during transport and its effects on both meat quality and the economic impact. In addition, legal requirements and Mexican regulations for pig transportation are also described. Information in regard to swine stress and welfare in transit, considers a number of factors that alter the animal metabolic homeostasis with subsequent negative effects on pork quality. It is concluded that knowledge on basic animal behavioral and physiological needs during transport, as well as a suitable training of personnel, are necessary for reducing animal welfare problems. Last but not least, some recommendations on handling practices are given in order to improve swine welfare during transit.

**Key words: SWINE, TRANSPORT, ANIMAL WELFARE, MEXICAN LEGISLATION, LOAD DENSITY, MEAT QUALITY.**

### Resumen

En el marco actual de la globalización, hablar de transporte animal conlleva realizar prácticas que mejoren el bienestar animal, aunque existe la tendencia mundial de incrementar el mercado de la carne en cortes, así como disminuir el comercio de animales vivos, el transporte constituye uno de los factores más preocupantes en términos del bienestar animal, además del impacto en la calidad de la canal y los subproductos respectivos. En la presente revisión se analizan, en términos generales, las distintas definiciones de bienestar animal, así como los factores más importantes que alteran el bienestar de los cerdos durante el transporte; se describen los requisitos legales y la normatividad mexicana para el transporte de animales, así como varios estudios de la respuesta fisiológica del animal durante condiciones adversas del transporte, se señalan, además, las repercusiones sobre la calidad de la carne y su impacto económico. La información con respecto al estrés de los cerdos y su bienestar durante el transporte, considera numerosos factores que alteran el equilibrio homeostático animal y que propician efectos negativos sobre calidad de la carne. Se concluye que tanto el conocimiento de la biología de la especie, como un entrenamiento del personal, son necesarios para disminuir los problemas de bienestar. Finalmente, se recomiendan algunas prácticas derivadas de los hallazgos presentados, con el fin de que se mejore el bienestar de los cerdos en tránsito.

**Palabras clave: CERDOS, TRANSPORTE, BIENESTAR ANIMAL, NORMATIVIDAD MEXICANA, DENSIDAD DE CARGA, CALIDAD DE LA CARNE**

Recibido el 28 de marzo de 2008 y aceptado el 10 de febrero de 2009.

\*Programa de Doctorado en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa-Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, 04960, México, D. F.

\*\*Departamento de Producción Agrícola y Animal, Cuerpo Académico Etología, Producción Porcina y Fauna Silvestre, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, 04960, México, D. F.

\*\*\*Laboratorio Bioquímica de Macromoléculas, Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, 09340, México, D. F.

†Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510, México, D. F.

‡Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nayarit, Carretera a Chapaila, Compostela, 63700, Nayarit, México.

Correspondencia: Daniel Mota-Rojas, correo electrónico: dmota40@yahoo.com.mx Tel/Fax: 5483-7535.

Nota: El trabajo es resultado de la tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas del primer autor.

## Introduction

Nowadays, pork meat has a significant consumption emphasizing that the demand has grown in a direct form and for industrial use;<sup>1</sup> nevertheless, importance has not been granted to quality and welfare of animals as done in other countries. Transport, lesions caused in transit animals, handling of pigs during unloading and rest period before slaughter affect carcass characteristics.<sup>2,3</sup> The concept of animal welfare during transportation is another aspect that should be considered, since unnecessary suffering can be avoided during loading, unloading and in general production and sacrificing stages.<sup>4</sup> By identifying stress factors and animal physiological responses to counteract such alterations, possible solutions can be determined with the aim to improve swine welfare in transit, including the importance of trained personnel to handle animals from farm to slaughterhouse. Furthermore, good handling practices and following of standards during animal transit can avoid deaths and minimize weight losses and carcass damage, as well as abnormalities in meat quality.

### *Animal welfare and transport*

The animal's life quality increases by widening the opportunity to express its natural behavior, which implies more than satisfying its physiological and behavioral needs, and goes further than the negative definition of welfare, like the one from Dawkins,<sup>5</sup> who considers animal welfare as the absence of suffering. This last represents a series of non pleasant emotional states which include fear, frustration and pain. Nevertheless, these emotions are difficult to quantify, hence they have been identified as subjective and other methods of measurement are preferred.

Hughes<sup>6</sup> defines welfare as a complete health, physical and mental state where the animal is in complete harmony with its environment. According to Broom,<sup>7</sup> animal welfare is the state of an individual in relation with its intents to cope with its environment. This definition takes into account not only how the animal can compete, but also its effort in the intent. According to Webster,<sup>8</sup> animal welfare is the state determined by its capacity to avoid suffering situations and keep its self-inclusive ability. As aforementioned, there are definitions which conceive welfare as an absolute term, "existent or absent", and those who define it as a relative term "status". Nowadays, the Mexican veterinary trade definition is "the state in which an animal has its basic physiological necessities of health and behavior, in relation to changes in its environment".

Regardless of the definition adopted, it is essential that the concept "animal welfare" be defined in

## Introducción

En la actualidad la carne de cerdo tiene un consumo significativo, resaltando que la demanda ha crecido en forma directa y para uso industrial;<sup>1</sup> sin embargo, no se le da importancia a la calidad y al bienestar de los animales, como sí ocurre en otros países. El transporte, las lesiones producidas en el animal en tránsito, el manejo de los cerdos durante el desembarque y el periodo de descanso antes del sacrificio afectan las características de la canal.<sup>2,3</sup> Además, debe considerarse que el concepto de bienestar animal durante el transporte puede evitar pérdidas en la calidad de la carne y en la calidad de vida del animal, ya que las buenas prácticas de manejo evitan el sufrimiento innecesario durante los procesos de carga, descarga y en las etapas de producción y sacrificio.<sup>4</sup> Al identificar los factores que propician el estrés, así como las respuestas fisiológicas del animal para contrarrestar dichas alteraciones, se pueden determinar posibles soluciones con la finalidad de mejorar el bienestar de los cerdos en tránsito, ello incluye señalar la importancia en la capacitación del personal que maneja animales para movilizarlos de la granja al rastro. Además, las buenas prácticas de manejo y seguimiento de los estándares durante el tránsito de los animales, evitan muertes y minimizan las pérdidas de peso y daños de la canal, así como las anomalías en la calidad de la carne.

### *Bienestar animal y transporte*

La calidad de vida del animal aumenta al incrementarse o ampliarse la oportunidad de expresar sus comportamientos naturales, lo que implica más que satisfacer sus necesidades fisiológicas y conductuales, y va más allá de la definición negativa de bienestar, como la de Dawkins,<sup>5</sup> quien considera el bienestar animal como la ausencia de sufrimiento. Esto último representa una serie de estados emocionales no placenteros que incluyen miedo, frustración y dolor. Sin embargo, estas emociones son difíciles de cuantificar, de ahí que se les identifica como subjetivas y se prefieren otros métodos de medición.

Hughes<sup>6</sup> define el bienestar como un estado de completa salud, física y mental donde el animal se encuentra en armonía con su ambiente. De acuerdo con Broom,<sup>7</sup> el bienestar animal representa el estado de un individuo en relación con sus intentos por afrontar o sobrellevar su ambiente. Esta definición toma en cuenta no sólo cómo el animal puede competir, sino también su esfuerzo en el intento. Para Webster,<sup>8</sup> el bienestar animal constituye el estado determinado por su capacidad para evadir estados de sufrimiento y mantener su habilidad inclusiva. Como se aprecia,

a way which allows its measurement.<sup>9</sup> Measurements are generally of physiological or behavioral type. For instance, the analysis of glucocorticoid plasma levels turns to be a useful indicator of animal welfare in individuals subjected to short term procedures, like handling and transport.<sup>10</sup> Stress evaluation during transport requires of non invasive methods; these, contrary to the traditional analysis, are based on sampling collection with low human interference (for example, blood sampling and heart rate); nevertheless, these methods can indirectly alter stress response. Telemetric devices for measuring breathing and heart rate, body temperature and blood pressure, are useful tools to obtain unperturbed responses. Recently, non invasive measures of stress have been developed and validated, through metabolites in saliva, feces or urine.<sup>11</sup>

Animal welfare during transit and slaughter must be measured using a variety of parameters which include mortality rate, wounds, behavior changes, physiological values, as well as brain activity (in case of confusion) and meat quality.<sup>12</sup> Broom<sup>13</sup> deepens the aforementioned concept of animal welfare considering the failure degree in a competence and its easiness or difficulty. Considers that health is an important component of welfare, while emotions like pain, fear, and several forms of pleasure, are components of competition mechanisms; therefore, it must be considered, when possible, in a welfare evaluation.

Animal welfare is also important from the economical point of view. The careful and peaceful handling of animals, by trained persons, using adequate facilities, reduces blows and helps keep meat quality.<sup>14</sup> This is important not only from the animal welfare point of view, but from the economic; pork industry in the United States of America loses 0.34 dollars per pig due to pale, soft and exudative meat type (PSE), and 0.08 dollars per pig, as a consequence of injuries,<sup>15,16</sup> reaching losses of 12.50 dollars for seized traumatized animals.<sup>17</sup> Likewise, it has been pointed out that death in transit, in the case of the United Kingdom, represents 10 500 pigs a year.<sup>18</sup> It is important to improve employee security during transport, since peaceful animals are less prone to hurt operators.<sup>16</sup>

Laws as well as practice codes can have great impact in the way people handle animals and consequently, on their welfare during transit. To generate guidelines that can be used to prevent or minimize deficient welfare during transport, it is necessary to know physiological and psychological functioning of animals, as well as attitude or actions of persons involved in the process; for which, Broom<sup>13</sup> has created a complete guide for the persons involved and the steps to follow for animal welfare during transit.

Transport is considered as an important stress factor for farm animals, since it propitiates detrimen-

hay definiciones que conciben el bienestar como un término absoluto, "existente o ausente", y quienes lo definen como un término relativo, "estado". Actualmente, para el gremio veterinario en México, "bienestar animal" se entiende como "el estado en que un animal tiene satisfechas sus necesidades fisiológicas básicas, de salud y de comportamiento, frente a los cambios en su ambiente".

Independientemente de la definición que se adopte, es esencial que el concepto "bienestar animal" sea definido de manera que permita su medición.<sup>9</sup> Las mediciones son generalmente de tipo fisiológico o conductual. Por ejemplo, el análisis de los niveles de glucocorticoides en plasma representa un indicador útil del bienestar animal de individuos sometidos a procedimientos de corto plazo, como el manejo y transporte.<sup>10</sup> La evaluación del estrés durante el transporte requiere de métodos no invasivos; éstos, contrario a los análisis tradicionales, se basan en la recolección de la muestra con baja interferencia humana (por ejemplo, recolección de sangre y vigilancia del ritmo cardíaco); sin embargo, estos métodos pueden alterar indirectamente la respuesta del estrés. Los dispositivos telemétricos para medir frecuencia respiratoria y cardíaca, temperatura corporal y presión arterial, son herramientas útiles para obtener respuestas imperturbadas. Recientemente se han desarrollado y validado medidas no invasivas del estrés, a través de los metabolitos en saliva, heces u orina.<sup>11</sup>

El bienestar animal durante el transporte y sacrificio debe medirse usando una variedad de parámetros que incluyan tasa de mortalidad, heridas, cambios en el comportamiento, valores fisiológicos, así como actividad del encéfalo (en caso de aturdimiento) y calidad de la carne.<sup>12</sup> Broom<sup>13</sup> profundiza el concepto anterior de bienestar animal considerando el grado de fracaso en una competencia y su facilidad o dificultad. Considera que la salud es un componente importante del bienestar, mientras que las emociones, como dolor, miedo y varias formas de placer, son componentes de los mecanismos para competir, por ello deben considerarse, cuando sea posible, en una evaluación del bienestar.

El bienestar de los animales es importante también desde el punto de vista económico. El manejo cuidadoso y tranquilo de los animales, por personas entrenadas, con el uso de instalaciones adecuadas, reduce los golpes y ayuda a mantener la calidad de la carne.<sup>14</sup> Esto último resulta importante no sólo desde el enfoque del bienestar animal, sino desde el aspecto económico; la industria porcícola en Estados Unidos de América pierde 0.34 dólares por cerdo debido a la carne tipo pálida, suave y exudativa (PSE), y 0.08 dólares por cerdo, como consecuencia de los golpes,<sup>15,16</sup> los aspectos anteriores propician pérdidas por decomiso

tal effects over health, welfare and meat quality.<sup>11</sup> Nowadays, cattle commercialization and welfare represent global issues which affect all cattle industry sectors, particularly to international commerce and the demand of an optimal quality food.<sup>19</sup>

During transport, pigs are exposed to factors that compromise their welfare,<sup>20</sup> due to disturbance factors which conjugate, these are of two types: physical and psychological. The first is result of lesions, extreme temperatures, vibrations and vehicle acceleration changes; noise, confinement and overcrowding. The second is the result of animal movement restriction, harmful or unfamiliar odors, environmental novelties, presence of unknown animals, hunger, thirst and fatigue.<sup>21</sup>

It has been observed that handling and transport cause dehydration.<sup>22-24</sup> This last constitutes a logical result of factors such as water deprivation, fluid loss in form of urine, excessive animal sweating, with increase in breathing rate. Nevertheless, good handling during these stages largely contributes to diminish the incidence of such problems.<sup>2,25,26</sup> There is clear interaction between stress factors associated with transit fatigue and food and water deprivation, as well as recovery time after a trip.<sup>11</sup>

In this context, transit time varies from few to several hundreds of kilometers; during load, transport and unloading of animals; it is common for these to present traumatismos, weight loss and inclusive death,<sup>27,29</sup> as a consequence of animal welfare. The new initiatives in welfare regulations suggest that animals must rest after prolonged trips while they remain in the vehicle or after the unloading process in resting pens.<sup>11</sup>

The animal welfare surveillance during transit avoids unnecessary suffering, including load and unloading.<sup>3</sup> In regard to the actual globalization framework, animal welfare interest has increased in recent years, due to consumers, mainly from the northern hemisphere, who demand that livestock must be raised, transported and slaughter in a humane manner. Furthermore, it is pointed out that animal welfare could be used as a non-tax commercial barrier for importation of livestock which were not raised, handled or slaughtered according to appropriate welfare standards.<sup>30</sup> In order to gain progress in this area, animal welfare must be objectively defined and measured.<sup>12</sup> Likewise, a clear welfare definition is necessary so it can be useful in scientific measurements, and used in legal documents and public discussions.<sup>13</sup>

### **Welfare before transport**

Animal transport must be planned, this implies preparing animals, choosing the best transport route,

de animales traumatizados, de 12.50 dólares por cada animal.<sup>17</sup> Asimismo, se ha señalado que la muerte en tránsito, para el caso del Reino Unido, representa 10 500 cerdos al año.<sup>18</sup> Es importante que se considere mejorar las condiciones de los animales durante el transporte; al mejorar el bienestar animal, ello repercutirá en la seguridad de los empleados debido a que el ganado que es tranquilo no lesionará a los operarios.<sup>16</sup>

Tanto las leyes como los códigos de práctica pueden tener gran impacto en la forma en que la gente maneja a los animales y, por ende, sobre su bienestar durante el transporte. Para generar guías que prevengan o minimicen el bienestar deficiente en animales durante el transporte, es necesario conocer el funcionamiento fisiológico y psicológico de los animales, así como las actitudes o acciones de las personas involucradas en el proceso; con ese propósito, Broom<sup>13</sup> ha creado una guía completa para las personas involucradas y los procedimientos aplicables para el bienestar de los animales durante el transporte.

El transporte constituye un factor de estrés importante para los animales de granja, pues propicia efectos que afectan la salud, el bienestar y la calidad de la carne.<sup>11</sup> La comercialización del ganado y su bienestar, hoy día, representan problemáticas globales que afectan a los sectores de la industria del ganado, en especial al comercio internacional y a la demanda de un alimento de óptima calidad.<sup>19</sup>

Durante el transporte, los cerdos están expuestos a factores que comprometen su bienestar,<sup>20</sup> debido a que se conjugan factores de trastorno, éstos son de dos tipos: físicos y psicológicos. El primero resulta de lesiones, temperaturas extremas, vibraciones y cambios en la aceleración del vehículo; ruido, confinamiento y hacinamiento. El segundo surge como producto de la restricción en los movimientos de los animales, olores nocivos o no familiares, novedades en el ambiente, presencia de animales desconocidos, hambre, sed y fatiga.<sup>21</sup>

Se ha observado que el manejo y el transporte causan deshidratación.<sup>22-24</sup> Esto último constituye un resultado lógico de factores como privación del agua, pérdidas de líquido en forma de orina, excesiva sudoración con incremento en la frecuencia respiratoria. Un buen manejo durante estas etapas disminuye la incidencia de tales problemas.<sup>2,25,26</sup> Existe interacción clara entre los factores de estrés asociados con la fatiga del transporte, y la privación del alimento y del agua, así como del tiempo para la recuperación después de un viaje.<sup>11</sup>

En este contexto, el tiempo de transporte varía desde pocos a varios cientos de kilómetros; durante la carga, transporte y descarga de los animales; es común que éstos presenten traumatismos, pérdidas

nature and duration, design and maintenance of the vehicle, necessary document proceedings, provide allowable space, rest, water and food, and animal observation during the trip, disease control and protocol to follow in the event of an emergency. In this sense, it is important to inspect animals before being transported in order to separate those who are not capable and could be probable disease transmitters.<sup>13</sup> To mention one example, it is known of *Salmonella* sp dissemination by pigs during transport and in holding pens.<sup>31</sup>

### **Welfare during transport**

During transit, notable weight loss in final carcass weight can be recorded.<sup>32</sup> Disturbances in transit, load and unload cause weight loss, between 2% and 7%, this determines profit reduction of the final product. Schaefer *et al.*<sup>22</sup> determined that water and food deficiency reduces animal live weight, and that such loss is due to feces in intestinal tract, urine and dehydration, that also caused reduction in carcass weight. Nevertheless, these physiological weight losses (feces and urine) must be distinguished from others caused by stress (unnecessary).

Due to its nature, pig is a stress susceptible species, even with a slight problem.<sup>19</sup> Welfare problems during transit are related with the nature acute and chronic stress. Webster<sup>33</sup> sums up the causes of stress during transit in: *a*) fear and pain associated with handling and mixing animals, *b*) temperature or movement due to excess speed during trip, *c*) hunger, thirst and exhaustion, *d*) uneasiness caused by infectious processes.

Likewise, practical experience shows that the most common causes of lesions, death and trauma during transport are careless handling and overloading of trucks.<sup>14</sup> Hence, that the way the vehicle is driven affects the welfare of animals in transit. When the operators get on the vehicle, they are regularly seated or holding a handlebar; in animals something similar happens, animals which hold themselves on their four legs are less capable of facing problems such as swinging through corners or sudden stop.<sup>13</sup> If a truck is overloaded and an animal falls down, it may be impossible for him to get up again.<sup>14</sup>

The presence of trauma in pigs indicates that the animals were submitted to stress processes at some point along the transportation, which suggests that welfare was compromised.

### **Load density**

Loading previous to transport is probably the moment of greatest stress when transporting animals;<sup>34</sup>

de peso e incluso la muerte,<sup>27-29</sup> como consecuencia de problemas de bienestar animal. Las nuevas iniciativas en regulaciones del bienestar sugieren que los animales deben descansar después de viajes prolongados mientras permanezcan en el vehículo o luego del proceso de descarga, en los corrales de descanso.<sup>11</sup>

La vigilancia del bienestar animal durante el transporte evita su sufrimiento innecesario, que incluye la carga y la descarga.<sup>4</sup> Al respecto, en el marco de la globalización actual, el interés por el bienestar animal ha aumentado en años recientes, debido a que los consumidores, principalmente del hemisferio norte, demandan que los animales de abasto sean criados, transportados y sacrificados en forma humanitaria. Más aún, se señala que el bienestar animal podría ser utilizado como barrera comercial no arancelaria para la importación de productos pecuarios o de animales que no fueron criados, manejados o sacrificados de acuerdo con estándares apropiados de bienestar.<sup>30</sup> Con el propósito de lograr avances en esta área, el bienestar animal deberá ser definido y medido en forma objetiva.<sup>12</sup> Asimismo, es necesario que se adopte un concepto de bienestar claramente definido, que sea útil en mediciones científicas y que sea aplicable en documentos legales y discusiones públicas.<sup>13</sup>

### **Bienestar antes del transporte**

El transporte de los animales debe planearse, esto implica preparar a los animales, escoger la mejor ruta de transporte, naturaleza y duración, diseño y mantenimiento del vehículo, tramitar los documentos necesarios, proporcionar el espacio permitido, reposo, agua y alimento, así como la observación de los animales durante el viaje, control de enfermedades y el protocolo a seguir en caso de una emergencia. En este sentido, es importante inspeccionar a los animales antes de que sean transportados con el fin de separar a aquellos que no sean aptos y sean susceptibles de transmitir enfermedades;<sup>13</sup> por ejemplo, se sabe de la diseminación de *Salmonella* sp por cerdos durante el transporte y en los corrales de espera.<sup>31</sup>

### **Bienestar durante el transporte**

Durante el transporte pueden registrarse notables mermas en el peso final de la canal.<sup>32</sup> Las alteraciones en el transporte, carga y descarga ocasionan pérdidas de peso del animal, entre 2% y 7%, ello determina la reducción de las ganancias del producto final. Schaefer *et al.*<sup>22</sup> determinaron que la carencia de alimento y agua reduce el peso vivo en los animales, y que tal pérdida se debe a las heces del llenado en tracto gastrointestinal, orina y deshidratación, que también causan reducción en el peso de la canal. Sin embargo,

likewise, the space occupied by animals during transport. Warriss<sup>20</sup> assures that the minimum required space for pigs of 90 to 100 kg of live weight is of 250 kg/m<sup>2</sup>; nevertheless, this datum does not apply for very small or large pigs. A load density of 322 kg/m<sup>2</sup> leads to clear evidence of physical stress and space is insufficient for all pigs to lay down at the same time.

On long trips ( $\geq 25$  h) meat quality demerits as a consequence of high density loads ( $> 322$  kg/m<sup>2</sup>), this implicates exhaustion of muscular glycogen and possible fatigue. High density is also associated with high mortality. In three level trucks, the height between these is reduced; it can be of 90 cm.<sup>20</sup>

It is recommended that the vehicle's temperature does not exceed 30°C in order not to alter the thermo-neutral zone. Nevertheless, this is difficult to control. In a hot day, temperature in a vehicle could increase to deadly levels in less than 30 minutes. In hot humid days, pigs should be transported during night or early morning. Grandin<sup>14</sup> has pointed out, that the combination of high temperature with high humidity is dangerous for pigs. According to this author,<sup>35</sup> factors such as transport during summer ( $> 30$  min), animal overcrowding and mixing pigs of different origin, produce increase in the incidence of pale, soft and exudative meat; therefore, she recommends that each animal with a weight of approximately 100 kg is provided with at least 0.35 m<sup>2</sup> during transit.

Guise *et al.*,<sup>36</sup> Gade and Christensen<sup>37</sup> and Sears<sup>38</sup> found that pigs of 100 kg remain on feet on short trips of 1.5 to three hours. Gade and Christensen<sup>37</sup> mention that in moderate climate, in Denmark, providing extra space in short trips did not result in skin damage drop and neither in stress indicators in blood, such as creatin-phosphokinase, lactate and cortisol. In longer trips or hot temperatures, pigs will need more space to lie down without being one on top of the other.

Lee *et al.*<sup>39</sup> studied 57 gilts and 57 barrows of 110 kg; they were designated in six groups according to a 3 × 2 (load density, 0.31; medium, 0.35 and low, 0.39 m<sup>2</sup>/100 kg) factorial arrangement design (1 h *vs* 3 h of transport). Lactate dehydrogenase (LD) concentrations were lower in low load density, compared to medium or high. Incidence of carcasses with PSE meat was greater in groups with high density of animal load. Likewise, the incidence of PSE increased in the 3 h *vs* 1 h in the low density transport, but not in the medium one. Hence, medium load density is preferred over low in long distance transport.

Additional space provided to pigs during transit improves animal welfare, without considerably affecting carcass quality. An increase in space during transport promotes a low incidence of undesirable colors in meat. Nevertheless, in some countries, the final quality of meat is not the selection criteria since

estas pérdidas de peso por razones fisiológicas (orina + heces) deben distinguirse de otras que ocasiona el estrés (innecesarias).

Debido a su temperamento, el cerdo constituye una especie susceptible al estrés, incluso por un problema leve.<sup>19</sup> Los problemas del bienestar durante el transporte se relacionan con la naturaleza del estrés agudo y crónico. Webster<sup>33</sup> resume las causas de estrés durante el transporte en: *a*) miedo y dolor asociado al manejo y mezcla de animales, *b*) temperatura o movimiento por exceso de velocidad durante el viaje, *c*) hambre, sed y agotamiento, y *d*) malestar causado por procesos infecciosos.

Asimismo, la experiencia práctica demuestra que las causas más comunes de lesiones, muertes y golpes durante el transporte las ocasionan el manejo brusco y la sobrecarga de los camiones.<sup>14</sup> En este contexto, la forina como se maneja un vehículo repercute en el bienestar de los animales que son transportados. Cuando los operarios se suben a un vehículo, por lo regular van sentados o asidos de un pasamanos; en los animales sucede algo similar, los animales que se sostienen sobre sus cuatro patas son menos capaces de enfrentar problemas como los que causan el balanceo alrededor de las esquinas o freno repentino.<sup>13</sup> Si un camión se sobrecarga y un animal cae, puede resultar imposible para éste volverse a levantar.<sup>14</sup>

La presencia de golpes en los cerdos indica que los animales fueron sometidos a procesos de estrés en algún punto a lo largo del transporte, lo que sugiere que el bienestar estuvo comprometido.

### **Densidad de carga**

La carga previa al transporte es quizá el momento que provoca demasiado estrés cuando se transporta animales,<sup>34</sup> de igual forma, el espacio que ocupan los animales durante el transporte. Warriss<sup>20</sup> asegura que el espacio mínimo requerido para cerdos de engorda, de 90 a 100 kg de peso vivo, es de 250 kg/m<sup>2</sup>; ese dato, sin embargo, no se aplica para cerdos muy pequeños o muy grandes. Una densidad de carga de 322 kg/m<sup>2</sup> conduce a clara evidencia de estrés físico, y el espacio es insuficiente para que todos los cerdos se acuesten al mismo tiempo.

Durante viajes largos ( $\geq 25$  h) la calidad de la carne demerita como consecuencia de densidades de carga elevadas ( $> 322$  kg/m<sup>2</sup>), lo que implica agotamiento del glucógeno muscular y posible fatiga. Las densidades altas también se asocian con alta mortalidad. En camiones de tres niveles, la altura entre éstos es reducida, puede ser de 90 cm.<sup>20</sup>

Se recomienda que la temperatura en el vehículo no exceda los 30°C para no desestabilizar la zona termoneutral. Sin embargo, esto es difícil de controlar.

there is no economic benefit that motivates such practice.<sup>40</sup>

### **Behavior during transport**

The basic and physiological knowledge of animals during transit is necessary for the definition of minimum space and environment requirements. The majority of central countries have published guidelines and laws for the minimum requirements, including guides on care for farm animals.<sup>11,41,42</sup>

There is evidence that the vehicle trip causes greater stress than remaining on board the same time, but parked. After a 25 minutes trip or waiting with the truck parked, Geverink *et al.*<sup>43</sup> informed that when unloaded, the pigs that had traveled were less active and used less time exploring their environment. Cortisol in saliva was significantly higher in the group that had been transported. Likewise, the levels of vasopressin-lysine have been related with discomfort during transport, this makes it possible to include it as a welfare indicator in transported pigs.<sup>44</sup>

In regard to the animal posture, the percentage of pigs that keep standing during transit is lower when lower densities are used (0.39 m<sup>2</sup>/100 kg LW), than in high or medium (high load density: 0.31 m<sup>2</sup>/100 kg LW; medium, 0.35 m<sup>2</sup>); the opposite is observed in seating position.<sup>45</sup>

Grandin<sup>12</sup> points out that at the end of a long highway trip, animals tend to lay down during the last hours of the trip under any load density, this coincides with recent findings by Mota-Rojas *et al.*<sup>45</sup> who evaluated the arrival position of three pig groups that had been transported for periods of eight, 16 and 24 h, and observed that the greater the transit time the number of animals that arrived on ventral decubitus position increased and even the number of males that arrived in this position was statistically different ( $P < 0.001$ ) when comparing to females transported in the same period. Also, Gallo *et al.*<sup>4</sup> point out that when the hours of travel increase, the animals get tired and tend to lay down or are more predisposed to suffer falls. Hence, the importance to perform behavior observations, detailed with videotape during the trip, which combined with physiological stress parameters, facilitates the result interpretation for the specific animal transport conditions.

### **Social position**

The social position of an animal within a group can also affect the stress levels. McGlone *et al.*<sup>46</sup> observed that submissive pigs stressed more in a period of transport of 4 h than the dominant pigs. Pigs which are taken from different social groups of the same

En un día caluroso, la temperatura en el vehículo se incrementa hasta niveles mortales en menos de 30 minutos. En días calientes y con humedad, los cerdos deben transportarse durante la noche o muy temprano en la mañana. Grandin<sup>14</sup> ha señalado que la combinación de alta temperatura con alta humedad es peligrosa para los cerdos. De acuerdo con dicho autor,<sup>35</sup> factores como transporte durante el verano (> 30 min), hacinamiento de animales y mezcla de cerdos de distintas procedencias, producen incremento en la incidencia de carne pálida, suave y exudativa, por lo que recomienda que cada animal de peso alrededor de los 100 kg disponga de al menos 0.35 m<sup>2</sup> durante el transporte.

Guise *et al.*,<sup>36</sup> Gade y Christensen<sup>37</sup> y Sears<sup>38</sup> encontraron que cerdos de 100 kg permanecen parados durante viajes cortos de 1.5 a tres horas. Asimismo, estos últimos<sup>37</sup> mencionan que en clima moderado, en Dinamarca, proveer espacio adicional en viajes cortos no resultó en disminución de los daños en la piel ni en los indicadores sanguíneos de estrés, como creatinofosfoquinasa, lactato y cortisol. En viajes más largos o durante temperaturas muy calurosas, los cerdos necesitarán más espacio para acostarse sin que yaczan unos sobre otros.

Lee *et al.*<sup>39</sup> estudiaron 57 cerdas nulíparas y 57 cerdos castrados con promedio de 110 kg de peso; los asignaron en seis grupos de acuerdo con un diseño con arreglo factorial de 3 (densidad de carga: alta, 0.31; mediana, 0.35 y baja, 0.39 m<sup>2</sup>/100 kg) × 2 (1 h vs. 3 h de transporte). Las concentraciones de lactato deshidrogenasa fueron menores en la densidad de carga baja, comparadas con la mediana o alta. La incidencia de canales con carne pálida, suave y exudativa (PSE) fue mucho mayor en grupos con alta densidad de carga animal. Asimismo, la incidencia de PSE aumentó en el transporte de 3 h vs. 1 h en la densidad baja, pero no en la media. De ahí que se prefiere la densidad media de carga animal sobre la de baja densidad en transportes de distancias largas.

El espacio adicional para los cerdos durante el transporte mejora el bienestar animal, sin que afecte en forma considerable la calidad de la canal. Un incremento en el espacio durante el transporte promueve baja incidencia de carne pálida. Sin embargo, en algunos países, principalmente en los periféricos, la calidad final de la carne no constituye el criterio de selección pues no existe un beneficio económico que motive dicha práctica.<sup>40</sup>

### **Comportamiento durante el transporte**

El conocimiento del comportamiento básico y fisiológico de los animales durante el transporte es necesario para definir los requisitos mínimos de espacio

or different farm and mix with strangers just before transit, show greater risk of threatening behavior or fighting; nevertheless, pigs, in general, do not fight during transport, mainly they establish social dominance in the order they take place in the pre-slaughter pens.<sup>47</sup> Individuals in mixed groups frequently struggle to establish new dominance ranks, which originates skin bruises, sometimes severe, particularly in the shoulder region.<sup>20</sup> The problem in economic terms and in welfare is sometimes very severe, but it is resolved by keeping animals in familiar groups, instead of mixing them with strangers.<sup>13</sup>

Glycogen depletion associated with threats, fights or mounting, that are present when disembarking, usually results in dark, firm and dry meat (DFD), and damages, such as traumas, are associated to welfare absence.<sup>12</sup> Worldwide, the main causes to penalize porcine carcasses include contusion, sickness and PDE meat. Damages in carcasses result in weight and commercial loss, this negatively affects producer profits and increases fixed costs to the slaughterhouse.<sup>19</sup> The analysis of acute phase proteins from blood samples of animals in the farm before being transported, as well as in the slaughterhouse, has been related with lesions and stress caused by their handling, transport and duration.<sup>48</sup> The measurement of acute phase proteins allows to assess immunological stress levels related with subclinical disease; therefore, they are a potential marker for the slaughterhouse. Recently Piñeiro *et al.*<sup>49</sup> compared the response of acute phase proteins in boars transported for 24 and 48 hours, and compared them to the basal levels (one month before transport); after transportation they found that there were greater levels of haptoglobin, serum amyloid A and protein C, meanwhile the apolipoprotein decreased.

Shea-More<sup>50</sup> found that pigs with few subcutaneous and intermuscular fat were more fearful and explored less an open area, than pigs with a heavy line. Also, it has been observed that the firsts fought more after being mixed.<sup>51</sup>

### Vehicle vibration

Vibration in a vehicle upsets pigs and provokes vomiting during the trip.<sup>44</sup> Vibration can be more adverse than noise.<sup>52</sup> Perremans *et al.*<sup>53</sup> observed that low frequency vibrations, of 2 to 4 Hz, caused major stress than 8 to 18 Hz, since animals with low frequency vibrations had ten times less time to lay down. Perremans *et al.*<sup>54</sup> suggest to avoid low frequency vibrations and high speed, since these cause increase in heart rate in animals during transit. Stress caused by vibration is reduced by using more vehicles with pneumatic suspension.

Peeters *et al.*<sup>55</sup> compared the effect of supplement-

y ambiente. La mayoría de los países centrales han publicado pautas y leyes para los requisitos mínimos, incluyendo guías sobre el cuidado para los animales de granja.<sup>11,41,42</sup>

Existe evidencia de que el viaje en un vehículo provoca mayor estrés que el hecho de permanecer el mismo tiempo a bordo, pero estacionado. Geverink *et al.*<sup>43</sup> informaron que, después de un viaje de 25 minutos o de una espera con el camión estacionado, al ser desembarcados, los cerdos que viajaron estaban menos activos y emplearon menos tiempo explorando su ambiente. El cortisol en la saliva fue significativamente más alto en el grupo que fue transportado. De igual manera, los valores de vasopresina-lisina han sido relacionados con malestar durante el transporte, ello posibilita su inclusión como un indicador de bienestar en cerdos transportados.<sup>44</sup>

Respecto de las posturas de los animales, el porcentaje de cerdos que permanecen de pie durante el transporte es menor cuando se manejan densidades bajas (0.39 m<sup>2</sup>/100 kg PV), que en altas o medianas (densidad de carga: alta, 0.31 m<sup>2</sup>/100 kg PV; mediana, 0.35 m<sup>2</sup>); lo opuesto se observa en la posición de "sentado".<sup>39</sup>

Grandin<sup>12</sup> señala que hacia el final de un viaje largo por carretera, los animales tienden a echarse durante las últimas horas de viaje bajo cualquier densidad de carga, ello coincide con resultados recientes de Morajó *et al.*,<sup>45</sup> quienes evaluaron la posición de llegada de tres grupos de cerdos que habían sido transportados durante periodos de ocho, 16 y 24 h, observaron que a mayor tiempo de traslado se aumentó el número de animales que llegaron en posición decúbito ventral, e incluso el número de machos que arribaron en dicha posición fue diferente estadísticamente ( $P < 0.001$ ) al compararse con las hembras transportadas en un mismo periodo. Asimismo, Gallo *et al.*<sup>4</sup> señalan que al aumentar las horas de viaje, los animales se cansan y tienden a echarse o están más predispuestos a sufrir caídas. De ahí la importancia de realizar observaciones del comportamiento, detalladas por videograbación durante el viaje, que combinadas con parámetros fisiológicos del estrés, faciliten la interpretación del resultado para las condiciones específicas de transporte de animales.

### Posición social

La posición social de un animal dentro de un grupo también puede afectar los niveles de estrés. McGlone *et al.*<sup>46</sup> observaron que los cerdos sumisos presentaron mayor estrés en un periodo de transporte de 4 h que los otros animales dominantes. Los cerdos que son tomados de diferentes grupos sociales de la misma o diferente granja y que se mezclan con extraños justo

ting with magnesium, tryptophan and vitamin E and C, facing a transport simulation. They submitted 126 pigs to vibrations in a transport simulator (8 Hz, 3 m/s) for 2 h, an left them rest the same amount of time; the saliva cortisol concentrations (taken before and after vibrations and after recuperation) of animals to which complement with vitamin E, were lower, combined with lower concentration of lactate before vibrations. The steady concentration of lactate and creatinine-kinase (CK) with vitamin E supplement was very evident, while other treatments lowered lactate at least by 4 mg/dL, or increased CK and damage to the membrane of the muscular tissue; it is pointed out that vitamin E stabilizes the membrane, especially during stress situations.

### **Transit duration and rest period**

Transit duration also affects pigs' welfare.<sup>56</sup> Animals transported less than 100 km exhibited more contusions compared to those transported > 100 km; in spite of this observation, the abnormality its attributed to handling differences in diverse farms.<sup>19</sup>

As already mentioned, stress during transport affects pig carcass quality, that is why concentrations of blood glucose, CK and LDH, are good transport stress indicators<sup>39</sup> compared with animals without stress, these metabolites are liberated as a change product in the cellular membrane permeability and its arrival into the blood flow from the muscular tissue provokes an increase in plasmatic activity. Abraham *et al.*<sup>57</sup> analyzed levels of plasmatic cortisol in pigs free of the halothane gen, and found that it significantly increased ( $P < 0.001$ ) as result of transport. Also, the values of non-esterified fatty acids were increased ( $P < 0.001$ ), glucose ( $P < 0.001$ ) and lactic acid ( $P < 0.01$ ). In both groups of 1 h and 16 h of waiting, pigs increased their levels of lactic acid, glucose and ascorbic acid. With respect to quality, they found significant differences in pH 45 ( $P < 0.001$ ) and internal temperature ( $P < 0.05$ ).

Hambrecht *et al.*<sup>56</sup> report that short transport (50 min) increases cortisol in pigs free of halothane gen, when followed by a short period (< 45 min) in the slaughter holding pens (transport × holding pens,  $P < 0.01$ ). Short transport acute stress diminished ( $P < 0.001$ ) the glycolytic potential of muscle and increased ( $P < 0.001$ ) lactate in plasma, cortisol, muscle temperature, meanwhile there was a decrease in the levels of pH. Likewise, meat color was not affected ( $P > 0.4$ ) by acute stress.

Bradshaw *et al.*<sup>58</sup> transported 50 pigs in a rigid chassis truck for 4.5 h, animals had an 80 kg weight average in a space of 0.49 m<sup>2</sup>, and observed that 26% of the pigs vomited, 52% presented foam and 64% a

antes del transporte, presentan mayor riesgo de comportamiento de amenaza o pelea; sin embargo, los cerdos, en general, no pelean durante el transporte, principalmente establecen dominancia social en el orden que toman lugar en los corrales presacrificio.<sup>47</sup> Los individuos en grupos mezclados luchan con frecuencia para establecer nuevas jerarquías de dominancia, lo cual origina laceraciones de la piel, de cuando en cuando severas, particularmente en la región del hombro.<sup>20</sup> El problema, en términos económicos y de bienestar, es algunas veces muy severo, pero se resuelve al mantener a los animales en grupos con individuos familiares, en vez de mezclarlos con extraños.<sup>13</sup>

El agotamiento del glucógeno asociado con las amenazas, las peleas o la monta, que se presentan durante el desembarco de animales, resulta en carne oscura, firme y seca (*dark, firm y dry*, DFD, por sus siglas en inglés), y los daños, como los golpes, se asocian a ausencia de bienestar.<sup>12</sup> Los principales aspectos, en el ámbito mundial, para castigar las canales porcinas incluyen contusión, enfermedad y carne PSE. Los daños en las canales resultan en pérdida de peso y valor comercial, ello afecta negativamente las ganancias de los productores e incrementa los costos fijos para el matadero.<sup>19</sup> El análisis de las proteínas de fase aguda de las muestras de la sangre de los animales en la granja antes del transporte, así como en el matadero, se ha relacionado con las lesiones y el estrés causados por su manejo, transporte y duración.<sup>48</sup> La medición de proteínas de fase aguda permite valorar los niveles de estrés inmunológico relacionado con infección subclínica; por tanto, representan un marcador potencial de enfermedades al rastro. Recientemente Piñeiro *et al.*<sup>49</sup> compararon la respuesta de proteínas de fase aguda en verracos transportados durante 24 y 48 horas, y los compararon con los niveles basales (un mes antes del transporte); después del transporte encontraron que hubo mayores niveles para haptoglobina, amiloide sérico A, proteína reactiva C, en tanto que la apolipoproteína disminuyó.

Shea-More<sup>50</sup> encontró que los cerdos con poca grasa subcutánea e intermuscular son más temerosos y exploran menos un área abierta, que los cerdos de línea pesada. Asimismo, se ha observado que los primeros pelean más después de que son mezclados.<sup>51</sup>

### **Vibración del vehículo**

La vibración en un vehículo es molesta para los cerdos y provoca que éstos vomiten durante el viaje.<sup>44</sup> La vibración puede ser más adversa que el ruido.<sup>52</sup> Perreman *et al.*<sup>53</sup> observaron que las vibraciones de baja frecuencia, de 2 a 4 Hz, provocan mayor estrés que las de 8 a 18 Hz, pues los animales con vibraciones

combination of both signs;<sup>13</sup> were classified according to each of the high and low hormone level groups (cortisol, beta-endorphin and lysine vasopressin). There was no significant relation between incidence of stress caused by transport and high or low hormone concentrations. In this context, 34% of pigs showed PSE meat in the *Longissimus dorsi*, 24% with DFD in one or more muscles (*Longissimus dorsi*, semimembranosus, abductor), and four of them showed DFD in more than one muscle. There was no significant correlation between quality and cortisol concentration in plasma.

According to Hambrecht *et al.*,<sup>56</sup> prolonged transports (3 h) increase the glycolytic potential of the muscle ( $P = 0.06$ ) and electric conductivity ( $P = 0.08$ ). Concentrations of CK and LDH were greater in the transport groups of 3 h vs 1 h.<sup>59</sup> Leheska *et al.*<sup>59</sup> concluded that prolonged times of transport reduce the presence of PSE and improve the quality of meat, when comparing to short trips of 30 minutes. They also found that 48 hours fast improves pork meat quality.

Bradshaw *et al.*<sup>54</sup> used 80 kg pigs transported in a trailer for equines, for a period of 1 640 min (eight hours on rough roads and eight hours on smooth roads) and a distance of 761 km during the trip. In this case study, cortisol levels were recorded at the beginning and at the end of each trip, being: 14.6 (mmol/L), the mean for pigs which traveled on rough roads, the pig with greater cortisol level showed 21.4 (mmol/L) and the lower 9 (mmol/L). The mean for the pigs that traveled on smooth roads was of 8.5 (mmol/L). For most of the time, pigs remained lying down. During the winding road period, 67.8% of animals remained lying down, 26% standing and 6% walking. During the smooth period of the trip there were more pigs lying down (79.6%), followed by standing (15.2%) and 4.4% walking, all animals transported on the winding road vomited.

Hambrecht *et al.*<sup>56</sup> used pigs free of halothane gene to evaluate the levels of cortisol and lactate in serum and muscle. The load density during transport was of 0.45 m<sup>2</sup>/100 kg LW for all. Density in holding pens was of 0.75 m<sup>2</sup>/100 kg LW. In this research it was considered optimal, short transport (less than 45 min), and gentle with three hours in the holding pen and the least possible stress. Cortisol and lactate increased (55.1 ng/mL vs 77.9 ng/mL and 17.1 mmol/L vs 30.9 mmol/L, respectively) caused by treatment with high stressors, but was not affected by transport type or time spent in holding pens in the slaughterhouse. Lactate concentrations were always kept high in plasma of pigs subjected to high stress before slaughter, compared to the minimum handling of pigs. Despite glycogen in the *Longissimus* was not affected by the long and winding road (3 h), concentrations of lactate in muscle increased (70.2  $\mu$ mol/g vs 74.3  $\mu$ mol/g) as result of

de baja frecuencia tuvieron diez veces menos tiempo para acostarse. Asimismo, recomiendan evitar vibraciones de baja frecuencia y aceleraciones altas, pues ello aumenta la frecuencia cardiaca de los animales durante el transporte. El estrés como consecuencia de la vibración se reduce a medida que se utilizan más vehículos con suspensión neumática.<sup>54</sup>

Peeters *et al.*<sup>55</sup> compararon el efecto de complementar con magnesio, triptófano, vitaminas E y C, ante una simulación de transporte. Sometieron a 126 cerdos a vibraciones en un simulador de transporte (8 Hz, 3 m/s) durante 2 h, y se les dejó descansar el mismo tiempo; las concentraciones de cortisol salival (tomadas antes y después de las vibraciones y después de su recuperación) de los animales a los que se les complementó con vitamina E, fueron menores, aunado a menor concentración de lactato antes de las vibraciones. La concentración estable del lactato y la creatinquinasa con el complemento de vitamina E fue muy evidente, mientras que otros tratamientos disminuyeron el lactato por lo menos 4 mg/dL, o aumentaron la creatinquinasa por lo menos 500 IU/L. Hubo relación entre la fuga de la creatinquinasa y el daño de la membrana del tejido muscular, se señala que la vitamina E estabiliza la membrana, especialmente durante situaciones de estrés.

### **Duración del transporte y periodo de reposo**

La duración del transporte también afecta el bienestar de los cerdos.<sup>56</sup> Animales que fueron transportados a menos de 100 km de distancia exhibieron más contusiones, en comparación con los que se transportó >100 km; a pesar de esta observación, la anomalía se atribuye a las diferencias en el manejo de los cerdos en las diversas granjas.<sup>19</sup>

Como ya se ha señalado, el estrés durante el transporte afecta la calidad de la canal de los cerdos, de ahí que las concentraciones de glucosa en sangre, creatinquinasa (CK) y lactato deshidrogenasa (LDH), son buenos indicadores del estrés por transporte<sup>59</sup> en comparación con animales sin estrés, estos metabolitos son liberados como producto de un cambio en la permeabilidad de membranas celulares y la llegada a la circulación desde el tejido muscular provoca aumento en su actividad plasmática. Abraham *et al.*<sup>57</sup> analizaron los niveles de cortisol plasmático de cerdos libres del gen halotano, y hallaron que aumentó significativamente ( $P < 0.001$ ) como resultado del transporte. También se incrementaron los valores de ácidos grasos no esterificados ( $P < 0.001$ ), glucosa ( $P < 0.001$ ) y ácido láctico ( $P < 0.01$ ). En ambos grupos de 1 h y 16 h de espera, los cerdos aumentaron sus niveles de ácido láctico, glucosa y ácido ascórbico. Con respecto a la calidad, encontraron diferencias significativas en

the increase in glycolytic potential bringing as a consequence the incidence of PSE meat. Treatment with high stressors lowered glycogen in muscle (38.0  $\mu\text{mol/g}$  vs 20.7  $\mu\text{mol/g}$ ) and increased lactate in the *Longissimus* (58.1  $\mu\text{mol/g}$  vs 86.4  $\mu\text{mol/g}$ ). Compared to high stress alone, lactate in plasma, cortisol and muscle temperature got worse, or time in holding pens decreased, which resulted in an increase in *postmortem* muscle acidification. According to these conclusions, the plasma lactate increase, muscle temperature and *postmortem* glycolysis rate, were associated with lower pig carcass quality, predisposing to PSE meat type.

### Mexican regulations for swine transport

Laws and statutes can have great impact in animal handling; therefore, in animal welfare during transport. To publish guidelines that improve animal welfare during transport, biological functions of the species must be understood, as well as attitudes and habits of people involved in the process of handling and transport.

Nowadays, transport is an important stress factor for farm animals and causes negative effects in health, welfare and product quality.<sup>11</sup> Current legislation of the European Union included, in the general rules, guidelines of good practice for the international transport of domestic animals, porcine livestock, among others.<sup>42</sup> The majority of peripheral countries, including Mexico, insist that application laws in animal transport matter be published. In Mexico, the Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), through its Dirección General Jurídica, published new regulations on animal transport in the Norma Oficial Mexicana NOM-024-ZOO-1995, "Specifications and characteristics of animal health rules for animal transport, its products and sub-products, chemical products, pharmaceutical, biological and nourishment for use in animals or consume by these", or NOM-051-ZOO-1995, "Humane treat in animal handling"

Mexican authorities are interested in assuring a proper transport. There are also efforts by Mexican researchers and learning institutions, such as Universidad de Sinaloa, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma Metropolitana, Universidad Autónoma de Morelos, Universidad de Yucatán, Instituto Tecnológico de Sonora, health clinics and other centers and institutions, in developing and creating access to information that assists in creating procedures and appropriate conditions for animal transport. Training and awareness of personnel directly involved in animal handling should not be forgotten.

Animal care and handling must be considered in

el pH 45 ( $P < 0.001$ ) y temperatura interna ( $P < 0.05$ ).

Hambrech *et al.*<sup>56</sup> indican que el transporte corto (50 min) incrementa el cortisol en cerdos libres del gen halotano, cuando le sigue un periodo corto (< 45 min) en los corrales de espera al rastro (transporte  $\times$  corrales de espera,  $P < 0.01$ ). El estrés agudo del transporte corto disminuyó ( $P < 0.001$ ) el potencial glicolítico del músculo y aumentó ( $P < 0.001$ ) el lactato en plasma, cortisol, temperatura del músculo, en tanto que hubo disminución de los niveles de pH. Asimismo, el color de la carne no se afectó ( $P > 0.4$ ) por el estrés agudo.

Bradshaw *et al.*<sup>58</sup> transportaron 50 cerdos en un camión de chasis rígido durante 4.5 h, los animales tenían peso promedio de 80 kg en un espacio de 0.49  $\text{m}^2$ , y observaron que 26% de los cerdos vomitaron, 52% presentaron espuma y en 64% se observó combinación de ambos signos; 13 se clasificaron como pertenecientes a cada uno de los grupos de niveles bajos o altos de hormonas (cortisol, beta-endorfina y lisina vasopresina). No hubo relación significativa entre la incidencia del estrés causado durante el transporte y las concentraciones altas o bajas de hormonas. En este contexto, 34% de los cerdos mostraron carne PSE en el músculo *Longissimus dorsi*, 24% con DFD en uno o más músculos (m. *Longissimus dorsi*, m. semimembranoso, m. *abductor*), y cuatro de ellos presentaron DFD en más de un músculo. No hubo correlación significativa entre la calidad y la concentración de cortisol en plasma.

De acuerdo con Hambrech *et al.*<sup>56</sup> el transporte prolongado (3 h) incrementa el potencial glicolítico del músculo ( $P = 0.06$ ), así como la conductividad eléctrica ( $P = 0.08$ ). Las concentraciones de CK y LDH fueron mayores en los grupos de transporte de 3 h vs 1 h.<sup>59</sup> Leheska *et al.*<sup>59</sup> concluyeron que los tiempos de transporte prolongado reducen la presencia de PSE y mejoran la calidad de la carne, al compararlos con viajes cortos de 30 minutos. También encontraron que ayunos de 48 horas mejoran la calidad de la carne de cerdo.

Bradshaw *et al.*<sup>34</sup> utilizaron cerdos de 80 kg que fueron transportados en un tráiler para equinos, durante un periodo de 1 640 min (ocho horas por camino áspero y ocho horas por camino suave) y una distancia de 761 km durante el viaje. En dicho estudio se registraron los niveles de cortisol al principio y al final de cada viaje, siendo: 14.6 (mmol/L), la media para los cerdos que viajaron por el camino áspero, el cerdo con mayor nivel de cortisol presentó 21.4 (mmol/L) y el menor 9 (mmol/L). La media para los que viajaron por el camino suave fue de 8.5 (mmol/L). La mayor parte del tiempo los cerdos permanecieron echados. Durante el periodo de viaje sinuoso, 67.8% de los animales permanecieron echados, 26% parados

Mexican guidelines. Authorities who publish the law must understand that transport of livestock and poultry for long periods imply discomfort for the animal and detriment of meat quality and quantity. Other fundamental aspect is "emergency euthanasia" for animals in agony, poly-traumatized or fractured at the end of the transfer.

Changes in intensive animal production systems should also be approached. In Mexico, initiatives for animal welfare are in progress with a Ley General de Bienestar Animal. This law pretends to achieve optimal welfare for animals; it was design to regulate shelter, maintenance, handling, use, exploitation, commercialization, transport, slaughter and euthanasia of domestic and wild vertebrae, independently of species or function.<sup>30</sup> Once approved by the Mexican Senate, it is hoped to help create awareness in public, producers and authorities, about animal welfare in Mexico.<sup>45</sup>

## Conclusions

Animals transported in vehicle and unloaded in the slaughterhouse must be handled with care, personnel should be familiarized with the minimum requirements to reach animal welfare, know animal behavioral basis and physiology. For welfare and quality reasons, pigs should be transported in environments not higher than 30°C, preferably not exceeding eight hours of journey. To keep high standards of pigs' welfare during transport and handling, adequate equipment and personnel supervision is required. Good transport administration and follow up standards avoid total loss and reduce to a minimum weight and damage to the carcass, as well as abnormalities in meat quality. Previous to transport, it is important to evaluate animal's health status to avoid loading sick or injured pigs.

## Acknowledgements

Authors wish to thank Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología and Sistema Nacional de Investigadores (SNI) for the financial support both Mexican institutions. Daniel Mota-Rojas, Isabel Guerrero-Legarreta, A. Schuneman de Aluja, Clement Lemus-Flores, Ramiro Ramirez Necochea and Maria Alonso-Spilsbury, members of SNI, Mexico.

## Referencias

1. ALONSO P. Costos de producción en la porcicultura mexicana en un marco de apertura comercial. *Porc Ent* 2003;5:26-30.
2. GALLO C, LIZONDO G, KNOWLES TG. Effects of journey and lairage time on steers transported to slaughter in Chile. *Vet Rec* 2003;152:361-364.

y 6% estuvieron caminando. Durante el periodo de viaje suave hubo más cerdos que permanecieron echados (79.6%), le siguieron los que estuvieron parados (15.2%) y 4.4% caminaron, todos los animales que viajaron por el camino sinuoso vomitaron.

Hambrecht *et al.*<sup>56</sup> utilizaron cerdos libres del gen halotano para evaluar los niveles de cortisol y el lactato en plasma y músculo. La densidad de carga durante el transporte fue de 0.45 m<sup>2</sup>/100 kg PV para todos. La densidad en los corrales de espera fue de 0.75 m<sup>2</sup>/100 kg PV. En esta investigación se consideraron óptimos el transporte corto (menor a 45 min), y gentil con tres horas en el corral de espera y el menor estrés posible. El cortisol y el lactato aumentaron (55.1 ng/mL *vs* 77.9 ng/mL y 17.1 mmol/L *vs* 30.9 mmol/L, respectivamente) como consecuencia del tratamiento con estresores altos, pero no se afectó con el tipo de transporte o la duración en los corrales de espera en el rastro. Las concentraciones de lactato siempre se mantuvieron elevadas en el plasma de los cerdos sujetos a estresores altos presacrificio, comparados con el manejo mínimo de los cerdos. A pesar de que el glucógeno del *Longissimus* no resultó afectado por el transporte largo y accidentado (3 h), las concentraciones de lactato en músculo aumentaron (70.2 µmol/g *vs* 74.3 µmol/g) como resultado del incremento en el potencial glicolítico, ello propició la incidencia de carne PSE. El tratamiento con estresor alto disminuyó el glucógeno del músculo (38.0 µmol/g *vs* 20.7 µmol/g) y aumentó las concentraciones de lactato en el *Longissimus* (58.1 µmol/g *vs* 86.4 µmol/g). Comparado con los efectos del estrés alto solo, el lactato en plasma, el cortisol y la temperatura en músculo empeoraron, o la duración en los corrales de espera disminuyó, ello resultó en incremento de la tasa de acidificación del músculo *post mortem*. Según estas conclusiones, el incremento del lactato en plasma, la temperatura del músculo y la tasa de la glucólisis *post mortem*, se asocian con disminución de la calidad de la canal cerdo, pre-disponiendo a carnes de tipo PSE.

## Regulaciones mexicanas para el transporte del cerdo

Las leyes y los estatutos pueden tener gran impacto en el manejo animal y, por tanto, en el bienestar animal durante el transporte. Para publicar las pautas que mejoren el bienestar animal durante el transporte, deben entenderse las funciones biológicas de la especie, así como las actitudes y los hábitos de la gente implicada en el proceso del manejo y del transporte.

Actualmente, el transporte representa un factor de estrés importante para los animales de granja y ocasiona efectos negativos en la salud, bienestar y en la calidad del producto.<sup>11</sup> La legislación actual de la

3. BECERRIL-HERRERA M, MOTA-ROJAS D, LEMUS-FLORES C, SÁNCHEZ-APARICIO P, GONZÁLEZ-LOZANO M, GUZMÁN PO *et al*. Efecto del transporte sobre indicadores pre y post-sacrificio que alteran la calidad de la carne de cerdo. Memorias de XXXIX Congreso Nacional AMVEC; 2004 julio-agosto 28-1; Mazatlán (Sinaloa) México. Mazatlán (Sinaloa) México: Asociación Mexicana de Veterinarios Especialistas en Cerdos, AC, 2004:200.
4. GALLO C, PÉREZ S, SANHUEZA C, GASIC J. Efectos del tiempo de transporte de novillos previo al faenamiento sobre el comportamiento, las pérdidas de peso y algunas características de la canal. *Arch Med Vet* 2000;32:157-170.
5. DAWKINS MS. *Animal Suffering*. Londres, UK: Chapman & Hall, 1980.
6. HUGHES BO. Behaviour as an index of welfare. *Proc Vth Europ Poultry Conf, Malta* 1976;1005-1018.
7. BROOM D. Indicators of poor welfare. *Br Vet J* 1986;142(524):526.
8. WEBSTER AJF. Assessment of Welfare State: The 'Five Freedoms'. *Naturwissenschaften* 1998;85:262-269.
9. BROOM DM. Bienestar animal. En: GALINDO F, ORIHUELA A, editores. *Etología Aplicada*. México DF: Universidad Nacional Autónoma de México, International Fund for Animal Welfare; 2004:51-87.
10. FRASER AF, BROOM D. *Farm Animal Behaviour and Welfare*. New York: CABI International, 1990:437.
11. VON BORELL E, SCHÄFFER D. Legal requirements and assessment of stress and welfare during transportation and pre-slaughter handling of pigs. *Liv Prod Sci* 2005;97:81-87.
12. GRANDIN T. Assessment of stress during handling and transport. *J Anim Sci* 1997;75:249-257.
13. BROOM DM. The effects of land transport on animal welfare. *Revi Sci Tech Off Int Epiz* 2005;24:683-691.
14. GRANDIN T. Elementos de manejo y transporte. En: GALINDO F, ORIHUELA A, editores. *Etología Aplicada*. México DF: Universidad Nacional Autónoma de México, International Fund for Animal Welfare; 2004:311-331.
15. NATIONAL PORK PRODUCER COUNCIL. *Procedures to evaluate market hogs*. Des Moines Iowa: NPPC, 1994.
16. GRANDIN T. Animal welfare in slaughter plants. 29<sup>th</sup> Annual Conference of American Association of Bovine Practitioners Proceedings; 1996 septiembre 12-15; San Diego, California. San Diego, California: Association of Bovine Practitioners, 1996:22-26.
17. MORGAN JB, SMITH GC. Results of the "International Beef Quality Audit." The Final Report of the Second Blueprint for Total Quality Management in the Fed-Beef (Slaughter Steer/Heifer) Industry. Englewood, Colorado. *Cattlemen's Beef Association*, 1995: 35-40
18. WARRISS PD, BROWN SN. A survey of mortality in slaughter pigs during transport and lairage. *Vet Rec* 1994;134:513-515.
19. KUSINA NT, SACHIKONYE S, KUSINA J, NDIWENI P, WARAN N. Effect of on-farm treatment, transport and lairage times on bruising

Unión Europea colocó en las reglas generales de las guías de buenas prácticas para el transporte internacional de los animales domésticos, al ganado porcino, entre otros.<sup>42</sup> La mayoría de los países periféricos, incluyendo México, insisten en que se publiquen leyes de aplicaciones en materia del transporte animal. En México, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), a través de su Dirección General Jurídica, publicó nuevas regulaciones sobre el transporte animal en la Norma Oficial Mexicana NOM-024-ZOO-1995, "Especificaciones y características zoonosanitarias para el transporte de animales, sus productos y subproductos, productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumos por éstos", así como en la NOM-051-ZOO-1995, "Trato humanitario en la movilización de animales".

Las autoridades mexicanas tienen interés en asegurar el transporte apropiado. Hay también esfuerzos de investigadores mexicanos e instituciones educativas, como la Universidad de Sinaloa, la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma Metropolitana, la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, la Universidad Autónoma de Yucatán, el Instituto Tecnológico de Sonora, algunas clínicas de salud y otros centros e instituciones de educación u oficiales, en desarrollar y crear acceso a la información que asista en la creación de procedimientos y condiciones apropiadas para el transporte animal. No se debe olvidar la capacitación y sensibilización del personal directamente vinculado con el trato con animales.

El cuidado animal y su manejo deben ser considerados en los reglamentos mexicanos. Las autoridades que publican la ley deben entender que el transporte del ganado y de las aves de corral durante periodos prolongados, implica malestar para el animal y detrimento de la calidad y de la cantidad de la carne. Otro aspecto fundamental es el "sacrificio de emergencia" para animales en agonía, politraumatizados o fracturados al término del traslado.

Los cambios en los sistemas de producción animal intensivos también deben abordarse. En México las iniciativas para el bienestar animal están en camino con una Ley General de Bienestar Animal. Esta ley pretende lograr el bienestar óptimo de los animales; se diseñó para regular el alojamiento, mantenimiento, manejo, uso, explotación, comercialización, transporte, matanza y eutanasia, de los animales vertebrados domésticos y silvestres, independientemente de su especie o función.<sup>30</sup> Una vez que sea aprobada por el Senado mexicano, se espera que ayude a sensibilizar y concientizar al público, a los productores y a las autoridades, acerca del bienestar animal en México.<sup>45</sup>

- in slaughter pigs in Zimbabwe. *Pig J* 2003;52:91-97.
20. WARRISS PD. Choosing appropriate space allowances for slaughter pigs transported by road: A review. *Vet Rec* 1998;142:449-454.
  21. DANTZER R, MORMÈDE P. El estrés en la cría intensiva del ganado. Zaragoza, España: Acribia, 1984:130.
  22. SCHAEFER AL, JONES SDM, STANLEY RW. The use of electrolyte solutions for reducing transport stress. *J Anim Sci* 1997;75:258-265.
  23. BROWN SN, KNOWLES TG, EDWARDS JE, WARRISS PD. Behavioural and physiological responses of pigs to being transported for up to 24 hours followed by six hours recovery in lairage. *Vet Rec* 1999;145:421-426.
  24. TADICH N, GALLO C, ALVARADO M. Effects of 36 hour transport by land with and without rest, on some blood traits indicative of stress in bovines (In Spanish). *Arch Med Vet* 2000;32:171-183.
  25. GALLO C, ESPINOSA M, SANHUEZA C, GASIC J. Effects of trailer transportation during 36 hours with and without rest, on the live weight and some carcass traits in bovines (In Spanish). *Arch Med Vet* 2001;33(1):43-53.
  26. QUIROGA TG, GARCÍA SJL. Manual para la Instalación del Pequeño Matadero Modular de la FAO, No. 20. Roma Italia: FAO. Estudio FAO Producción y Salud Animal, 1994:250.
  27. GONZÁLEZ-LOZANO M, SÁNCHEZ-APARICIO P, MOTA-ROJAS D, ALONSO-SPILSBURY ML, RAMÍREZ-NECOECHEA R, BECERRIL-HERRERA M *et al.* Efecto del Transporte, Ayuno y Periodo de Reposo Pre-sacrificio en la Calidad de la Canal Porcina. México DF: Universidad Autónoma Metropolitana, Comunicaciones Técnicas No. 4, 2007.
  28. MOTA-ROJAS D, BECERRIL-HERRERA M, GAY JFR, LEMUS FC, ALONSO SML, RAMÍREZ-NECOECHEA R *et al.* Efecto del transporte en la calidad de la carne de cerdo. En: MOTA-ROJAS D, BECERRIL-HERRERA M, GAY JFR, LEMUS FC, ALONSO SML, RAMÍREZ-NECOECHEA R *et al.*, editores. Calidad de la Carne. Salud Pública e Inocuidad Alimentaria. México DF: Universidad Autónoma Metropolitana, Serie Académicos No. 53, 2005.
  29. MOTA-ROJAS D, BECERRIL-HERRERA M, LEMUS-FLORES C, TRUJILLO-ORTEGA ME, RAMÍREZ-NECOECHEA R, ALONSO-SPILSBURY M. Efecto del periodo de descanso previo al sacrificio sobre el perfil químico serológico y calidad de la canal en cerdos. Memorias de XL Congreso Nacional AMVEC; 2005 julio 13-17; León (Guanajuato) México. León (Guanajuato) México: Asociación Mexicana de Veterinarios Especialistas en Cerdos, AC, 2005:186.
  30. VANDA B. Necesidades y beneficios de una ley general de bienestar animal. México DF: Universidad Nacional Autónoma de México, International Fund for Animal Welfare, 2007:32.
  31. HURD HS, MCKEAN JD, GRIFFITH RW, WESLEY IV, ROSTAGNO MH. *Salmonella enterica* infections in market swine with and without transport and holding. *Appl Environ Microbiol* 2002;68:2376-2381.
  32. PRÄNDL O, FISCHER A, SCHMIDHOFER T, SINELL

## Conclusiones

Los animales trasladados en un vehículo y descargados en el rastro deben ser manejados con cuidado, el personal estará familiarizado con los requisitos mínimos para conseguir el bienestar animal, conocer las bases del comportamiento y la fisiología animal. Por razones de bienestar y de calidad, los cerdos serán transportados en ambientes que no excedan los 30°C, de preferencia que no excedan las ocho horas de jornada. Con el propósito de mantener altos estándares del bienestar de los cerdos durante el transporte y su manejo, se requiere de equipo apropiado, así como la supervisión del empleado. La buena administración del transporte y seguimiento de los estándares evitan la pérdida total y reducen al mínimo las pérdidas de peso y daños a la canal, así como anomalías en la calidad de la carne. Es importante evaluar, previamente al transporte, el estado de salud de los animales para evitar cargar cerdos enfermos o lastimados.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y por el Sistema Nacional de Investigadores, ambas instituciones en México. Marcelino Becerril-Herrera es estudiante de Doctorado; Daniel Mota-Rojas, Isabel Guerrero-Legarreta, Aline Schuneman de Aluja, Clemente Lemus-Flores, Ramiro Ramírez Necoechea y María Alonso-Spilsbury son miembros del SNI.

HJ. Tecnología e Higiene de la carne. Zaragoza, España: Acribia, 1994:124-126.

33. WEBSTER J. Animal Welfare: A Cool Eye Towards Eden. Oxford, UK: Blackwell Science, 1994:273.
34. BRADSHAW RH, PARROT RE, GOODE JA, LLOYD DM, RODWAY RG, BROOM DM. Behavioural and hormonal responses of pigs during transport: effect of mixing and duration of journey. *Anim Sci* 1996;62:547-554.
35. GRANDIN T. Solving livestock handling problems. *Vet Med* 1994;89:989-998.
36. GUISE HJ, RICHES HL, HUNTER BJ, JONES TA, WARRISS PD, KETTLEWELL PJ. The effect of stocking density on transit on carcass quality and welfare of slaughter pigs. *Meat Sci* 1998;50:439-446.
37. GADE PB, CHRISTENSEN L. Effect of different stocking densities during transport on welfare and meat quality in Danish slaughter pigs. *Meat Sci* 1998;48:237-247.
38. SEARS J. The welfare of pig during transport and slaughter. *Pig News Info* 2003;24(3):88N-90N.
39. LEE CY, KIM DH, WOO JH. Effects of stocking density and transportation time of market pigs on their behaviour, plasma concentrations of glucose and stress-associated enzymes and carcass quality. *Asian-Australas J Anim Sci* 2004;17:116-121.

40. BECERRIL-HERRERA M, MOTA-ROJAS D, GUERRERO-LEGARRETA I, GONZALEZ-LOZANO M, SANCHEZ-APARICIO P, LEMUS-FLORES C *et al*. Effects of additional space during transport on pre-slaughter traits of pigs. *J Biol Sci* 2007;7:1112-1120.
41. STANDING COMMITTEE ON AGRICULTURE AND RESOURCE MANAGEMENT. Model Code of Practice for the Welfare of Animals. Pigs. 2<sup>nd</sup> ed. East Melbourne, Victoria, Australia: SCARM Report No. 66, 1998:13.
42. DEPARTAMENT FOR ENVIROMENT FOOD AND RURAL AFFAIRS. Code for Recommendations for the Welfare of Livestock: Pigs. London, UK: Defra Publications, 2003:35.
43. GEVERINK NA, KAPPERS A, VAN DE BURGWAAL JA, LAMBOOIJ E, BLOKHUIS HJ, WIEGANT VM. Effects of regular moving and handling on the behavioural and physiological responses of pigs to preslaughter treatment and consequences for subsequent meat quality. *J Anim Sci* 1998;76:2080-2085.
44. BRADSHAW RH, PARROT RF, FORSLING ML, GOODE JA, LLOYD DM, RODWAY R *et al*. Stress and travel sickness in pigs: effects of road transport on plasma concentrations of cortisol, beta-endorphin and lysine vasopressin. *J Anim Sci* 1996;63:507-516.
45. MOTA-ROJAS D, BECERRIL-HERRERA M, LEMUS-FLORES C, SANCHEZ-APARICIO P, GONZALEZ-LOZANO M, OLMOS-HERNANDEZ A *et al*. Effects of mid-summer transport duration on pre- and post-slaughter performance and pork quality in Mexico. *Meat Sci* 2006;73:404-412.
46. MCGLONE JJ, SALAK JL, LUMPKIN EA, NICHOLSON RI, GIBSON M, NORMAN RL. Shipping stress and social status effects on pig performance, plasma cortisol, natural killer cell activity, an leukocyte numbers. *J Anim Sci* 1993;71:888-896.
47. GEVERINK NA, ENGEL B, LAMBOOIJ E, WIEGANT MV. Observations on behaviour and skin damage of slaughter pigs and treatment during lairage. *Appl Anim Behav Sci* 1996;50:1-13.
48. SACO Y, DOCAMPO MJ, FABREGA E, MANTECA X, DIESTRE A, LAMPREAVE F *et al*. Effect of stress transport on serum haptoglobin and pig-MAP in pigs. *Anim Welfare* 2003;12:403-409.
49. PIÑEIRO M, PIÑEIRO C, CARPINTERO R, MORALES J, CAMPBELL F, ECKERSALL P *et al*. Characterization of the pig acute phase protein response to road transport. *Vet J* 2006;173:669-674.
50. SHEA-MOORE M. The effect of genotype on behavior in segregated early weaned pigs in an open field. *J Anim Sci* 1998;76(Suppl. 1):100.
51. BUSS CS, SHEA-MOORE MM. Behavioral and physiological responses to transportation stress. *J Anim Sci* 1999;77(Suppl. 1):147.
52. STEPHENS S, BOLAND MP, ROCHE JF, REID JFS, BOURKE S. Induction of parturition in swine with the prostaglandin analogue fenprostalene. *Vet Rec* 1985;122:296-299.
53. PERREMANS S, RANDALL JM, ROMBOOTS G, DECUYPERE E, GEERS R. Effect of whole body vibration in the vertical axis on cortisol and adrenocortical hormone levels in piglets. *J Anim Sci* 2001;79:975-981.
54. PERREMANS S, RANDALL JM, ALLEGAERT L, STILES MA, ROMBOOTS G, GEERS R. Influence of vertical vibration on heart rate in pigs. *J Anim Sci* 1998;76:416-420.
55. PEETERS E, NEYT A, BECKERS F, DE SMET SM, AUBERT AE, GEERS R. Influence of supplemental magnesium, tryptophan, vitamin C, and vitamin E on stress responses of pigs to vibration. *J Anim Sci* 2005;83:1568-1580.
56. HAMBRECHT E, EISSEN JJ, NEWMAN DJ, SMITS CHM, DEN HARTOG LA, VERSTEGEN MWA. Negative effects of stress immediately before slaughter on pork quality are aggravated by suboptimal transport and lairage conditions. *J Anim Sci* 2005;83:440-448.
57. ABRAHAM C, WEBER M, BALOGH K, MEZES M, HUSZENICZA G, FEBEL H *et al*. Effect of transport and lairage on some physiological and meat quality parameters in slaughter pigs [A szállítás és a pihentetés korulmenyeinek hatása a hizosertesek egyes élettani és husminosegi jellemzőire]. *Magyar Allatorvosok Lapja* 2005;127:139-145.
58. BRADSHAW RH, RANDALL JM, FORSLING ML, RODWAY R, GOODE JA, BROWN SN *et al*. Travel sickness and meat quality in pigs. *Anim Welfare* 1999;8:3-14.
59. LEHESKA JM, WULF DM, MADDOCK RJ. Effects of fasting and transportation on pork quality development and extent of post-mortem metabolism. *J Anim Sci* 2003;80:3194-3202.