

T  
1126

 XOXIMILCO SERVICIOS DE INFORMACION  
ARCHIVO HISTORICO

123927



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
METROPOLITANA**  
UNIDAD XOCHIMILCO

---

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

**TESIS**

(IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS)

TITULADA:

**Valoración hemodinámica ante-mortem y propiedades  
químicas de la canal de cerdos sacrificados en diferentes  
rastros**

Para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

Presenta:

**MVZ Guadalupe Evangelina Aguilera Arango**

Comité Tutorial

Director:

**Dr. Daniel Mota Rojas**

Asesores:

**Dr. Marcelino Becerril Herrera**

**Dr. Ramiro Ramírez Necochea**

México, D. F.

Marzo, 2011

La Maestría en Ciencias Agropecuarias de la Universidad  
Autónoma Metropolitana pertenece al padrón de  
posgrados de excelencia del Consejo Nacional de Ciencia y  
Tecnología (CONACyT)

La autora de este texto fue becaria del Consejo Nacional de  
Ciencia y Tecnología (CONACyT), con el número de  
registro: 23282

## **DIRECTORES DE TESIS**

### **Dr. Daniel Mota Rojas**

Profesor e Investigador del Departamento de Producción  
Agrícola y Animal  
Universidad Autónoma Metropolitana- Campus Xochimilco.  
México D.F.

### **Dr. Ramiro Ramírez Necoechea**

Profesor e Investigador del Departamento de Producción  
Agrícola y Animal  
Universidad Autónoma Metropolitana- Campus Xochimilco.  
México D.F.

### **Dr. Marcelino Becerril Herrera**

Profesor-Investigador de Unidad Académica de Ingeniería  
Agro-hidráulica, Benemérita Universidad Autónoma de  
Puebla. Tlaltlauquitepec, Puebla.



## **JURADO DE EXAMEN**

### **PRESIDENTA**

**Dra. Isabel Guerrero Legarreta**

Profesora e Investigadora del Departamento de  
Biotecnología  
Universidad Autónoma Metropolitana- Unidad Iztapalapa.  
México D.F.

### **VOCAL**

**Dr. Ramiro Ramírez Necoechea**

Profesor e Investigador del Departamento de Producción  
Agrícola y Animal  
Universidad Autónoma Metropolitana- Unidad Xochimilco.  
México D.F.

### **SECRETARIO**

**Dr. Marcelino Becerril Herrera**

Profesor-Investigador de Unidad Académica de Ingeniería  
Agro-hidráulica, Benemérita Universidad Autónoma de  
Puebla. Tlatlauquitepec, Puebla.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Daniel Mota Rojas y al Dr. Ramiro Ramírez Necochea por brindarme su enseñanza, apoyo, comprensión y por su compromiso con mi aprendizaje.

De igual manera expreso un agradecimiento al Dr. Marcelino Becerril Herrera, por su calidez humana, apoyo y por todos los conocimientos compartidos.

Al Cuerpo Académico de Etología, Producción Porcina y Fauna Silvestre (EPPyFaSi) de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco a quienes agradezco por ser gente profesional, humana y comprometida.

Adicionalmente agradezco al Sr. Raymundo Bolaños Flores por su apoyo y facilidades para la realización del presente estudio en el rastro.

**El presente trabajo se lo dedico a Dios, a mi familia y amigos por su amor y apoyo incondicional que siempre me acompaño en este proceso de aprendizaje y crecimiento...**

# ÍNDICE

RESUMEN	12
I. INTRODUCCIÓN	19
II. MARCO REFERENCIAL	21
2.1. Producción de carne en México	21
III. MARCO TEÓRICO	25
3.1. Bienestar animal	25
3.1.1. Estrés	26
3.1.2. Fisiología del estrés previo al sacrificio.	27
3.1.3. Valoración del estrés ante-mortem	30
3.1.3.1. Gasometría sanguínea	31
3.1.4. Importancia de auditar el bienestar animal en los centros de matanza	32
3.2. Características de los centros de matanza	34
3.2.1. Rastros TIF	36
3.2.2. Rastros No TIF	37
3.3. Factores ante-mortem que afectan la carne	38
3.3.1. Genética	38
3.3.2. Transporte	42
3.3.3. Reposo	45
3.3.4. Método de aturdimiento	46
3.4. Procesamiento de la carne de cerdo	49
3.4.1. Definición de matanza	49
3.4.2. Etapas del proceso de matanza	50
3.4.2.1. Insensibilizado	50
3.4.2.2. Izado	50
3.4.2.3. Desangrado	50
3.4.2.4. Escaldado	51
3.4.2.5. Depilado	51
3.4.2.6. Eviscerado	52
3.4.2.7. Esquinado	52
3.4.2.8. Refrigeración	52

3.4.3.	<i>Flujograma de las Etapas del sacrificio o proceso de sacrificio</i>	54
3.5.	<i>Calidad de la carne</i>	55
3.5.1.	<i>Definición de calidad</i>	55
3.5.2.	<i>PSE</i>	56
3.6.	<i>Factores post-mortem</i>	57
3.6.1.	<i>Transformaciones enzimáticas del músculo PSE</i>	58
<b>IV.</b>	<b>PROBLEMÁTICA A RESOLVER</b>	<b>60</b>
<b>V.</b>	<b>PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>61</b>
<b>VI.</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>61</b>
<b>VII.</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>62</b>
7.1.	<i>Objetivos particulares</i>	62
<b>VIII.</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>63</b>
8.1.	<i>Localización</i>	63
8.2.	<i>Primera etapa. Efecto de la duración del transporte</i>	63
8.3.	<i>Segunda etapa. Auditoria del bienestar animal: observaciones ante-mortem</i>	64
8.4.	<i>Tercera etapa. Método de Aturdimiento</i>	65
8.5.	<i>Mediciones ante-mortem</i>	68
8.6.	<i>Mediciones post-mortem</i>	68
8.7.	<i>Análisis estadísticos</i>	71
<b>IX.</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>72</b>
9.1.	<i>Valoración de las variables críticas sanguíneas por efecto del transporte</i>	72
9.2.	<i>Observaciones del manejo ante-mortem</i>	77
9.3.	<i>Valoración de las variables críticas sanguíneas en la matanza</i>	80
9.4.	<i>Bioquímica de la carne</i>	85
<b>X.</b>	<b>DISCUSIÓN</b>	<b>86</b>
10.1.	<i>Efecto de la duración del transporte sobre el metabolismo energético, equilibrio ácido base y gases sanguíneos al momento del arribo</i>	86
10.2.	<i>Observaciones ante-mortem: posiciones de llegada e indicadores de bienestar en el manejo</i>	89
10.2.1.	<i>Posiciones de llegada</i>	89

10.2.2.	<i>Patadas arriba</i>	90
10.2.3.	<i>Lesiones</i>	91
10.2.4.	<i>Gritos</i>	92
10.2.5.	<i>Vocalizaciones y el uso de picana eléctrica</i>	92
10.2.6.	<i>Tiempo de acarreo</i>	93
10.3.	<i>El efecto del método de aturdimiento sobre metabolismo energético, equilibrio ácido-base y gases sanguíneos al desangrado.</i>	94
10.4.	<i>Efecto del transporte y el método de aturdimiento sobre la calidad de la carne</i>	98
<b>XI.</b>	<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>99</b>
<b>XII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>103</b>

## INDICE DE CUADROS Y DIAGRAMAS

Cuadro 1: Valores típicos límites de pH en el músculo PSE y normal de cerdo en <i>Longissimus dorsi</i> .....	57
Cuadro 2: Media y error estándar del metabolismo energético, equilibrio ácido-base y gases sanguíneos al momento del arribo para su sacrificio en diferentes duraciones del transporte.	73
Cuadro 3: Variables hemodinámicas correlacionadas significativamente en 253 animales arribados del G <sub>1</sub> , transporte corto de 5-6 horas.....	74
Cuadro 4: Variables críticas sanguíneas correlacionadas significativamente en 212 animales arribados en G <sub>2</sub> , transporte medio de 10-12 horas.....	75
Cuadro 5: Variables críticas sanguíneas correlacionadas significativamente en 160 cerdos transportados por más de 24h (G <sub>3</sub> ).....	76
Cuadro 6: Posiciones de llegada de los cerdos al arribo de los cerdos para sacrificio en 2 tipos de rastros.....	77
Cuadro 7: Indicadores de bienestar al arribo de los cerdos para sacrificio en 2 tipos de rastros.	77
Cuadro 8: Media y error estándar de los indicadores de bienestar animal durante el desembarque de los cerdos para sacrificio en 2 tipos de rastros.....	78
Cuadro 9: Media y error estándar de las observaciones del manejo ante muerte en el descanso de los cerdos para sacrificio en 2 tipos de rastros.....	79
Cuadro 10: Media y error estándar del metabolismo energético, equilibrio ácido base y gases sanguíneos durante el desangrado de cerdos aturdidos por dos métodos y sin aturdimiento.	81
Cuadro 11: Variables críticas sanguíneas correlacionadas significativamente en 140 cerdos sacrificados por corte de los grandes vasos cervicales sin previo aturdimiento.....	82
Cuadro 12: Variables críticas sanguíneas correlacionadas significativamente en 185 cerdos aturdidos eléctricamente.....	83

<i>Cuadro 13: Variables correlacionadas significativamente en 195 animales aturdidos en cámaras de CO<sub>2</sub></i> .....	84
<i>Cuadro 14: Media y error estándar de las variables físico-químicas de la canal de cerdo 45 min post-sacrificio con y sin aturdimiento.</i> .....	85
<i>Cuadro 15: pH de canal de cerdo a los 45 min post sacrificio y con diferentes métodos de aturdimiento</i> .....	85
<i>Diagrama 1: Etapas de evaluación y medición.</i> .....	67
<i>Diagrama 2: Medición del perfil energético, desequilibrio ácido-base y gasometría sanguínea.</i> .....	70



## RESUMEN

El propósito del presente estudio fue valorar los indicadores de bienestar animal durante el arribo, reposo y método de aturdimiento en cerdos sacrificados en diferentes rastros y su efecto en los perfiles fisiometabólicos y la incidencia de canales pálidas suaves y exudativas (PSE). Para evaluar el efecto de la duración del transporte, se muestrearon 634 cerdos a su arribo al rastro, los cuales tuvieron diferentes periodos de traslado. Los cerdos se dividieron en 3 grupos con diferentes tiempos de transporte: Grupo 1 ( $G_1$ ) con 253 cerdos que fueron transportados durante 6 horas, Grupo 2 ( $G_2$ ) con 212 cerdos transportados por 12 horas y Grupo 3 ( $G_3$ ) con 160 cerdos transportados por 24 horas, la velocidad promedio del traslado fue de 45km/h. Al día siguiente los cerdos fueron sacrificados según la rutina de cada rastro. Para valorar los indicadores de bienestar animal se consideraron 7594 cerdos en 2 tipos de rastro (TIF Vs. No TIF). En esta etapa de observación se evaluó la postura de los cerdos al arribo, así como los indicadores de bienestar animal durante el descenso del transporte y etapa de reposo. Para evaluar el efecto del método de aturdimiento, se tomaron muestras sanguíneas a 738 cerdos. Los animales fueron llevados a 3 establecimientos diferentes: rastro 1, cerdos sacrificados sin aturdimiento ( $R_1$ ,  $n=140$ ); rastro 2, cerdos aturdidos con electronarcosis ( $R_2$ ,  $n=185$ ) y rastro 3, cerdos aturdidos con cámaras de  $CO_2$  ( $R_3$ ,  $n=195$ ). El día previo al viaje, se eligieron 221 cerdos aleatoriamente con 159 días de edad, a los cuales se tomaron como muestras de referencia. En los resultados respecto de las variables críticas sanguíneas de cerdos transportados por diferentes periodos, se aprecian diferencias significativas ( $P<0.05$ ) en la duración de los diferentes tiempos de transporte (basales= 0h,  $G_1=5-6$  h,  $G_2=10-12$  h,  $G_3=$  más de 24 h). Los animales que se transportaron por tiempos cortos ( $G_1= 5-6$ h) presentaron valores más bajos en pH ( $7.37\pm 0.63$ ),  $pO_2$  ( $24.92\pm 0.53$ ),  $K^+$  ( $5.21\pm 0.04$ ), y los más altos en glucosa ( $99.87\pm 1.00$ ) y lactato ( $62.24\pm 1.54$ ); siendo estadísticamente diferentes a los demás tiempos de transporte. Un

comportamiento similar se presenta en los cerdos transportados por tiempos medios ( $G_2=10-12$  h), en donde se observan los valores más bajos en  $pCO_2$  ( $36.26\pm 0.52$ ) y los más elevados en  $Na^+$  ( $148.64\pm 0.2$ ). En cuanto a los animales transportados por tiempos largos ( $G_3=$  más de 24 h) es importante mencionar el proceso de hipotermia ( $37.93\pm 0.06$ ), así como el incremento en el porcentaje de hematocrito ( $45.93\pm 0.49$ ). Los resultados relacionados a las posturas e indicadores de bienestar animal muestran diferencias significativas ( $P<0.05$ ) en el porcentaje de cerdos lesionados durante el arribo en el rastro TIF fue 24.01% superior al porcentaje de cerdos heridos en el rastro No TIF. Respecto al uso del arreador eléctrico se muestra una tendencia a incrementarse en un 28% en el rastro no TIF vs. TIF, a pesar de no existir una diferencia significativa ( $P>0.1916$ ). Otro indicador a destacar es el número de cerdos que se resbalan durante el desembarque, el cual se redujo a la mitad en el rastro TIF respecto al no TIF ( $P>0.2131$ ). Respecto al número de traumatismos encontrados en los cerdos durante el descenso al corral de espera, destaca que el rastro No TIF ( $445.44\pm 85.41$ ) comparados con el rastro TIF se incrementa 3 veces de manera significativa este indicador ( $P<0.001$ ). En torno a la duración del arreo de los cerdos a su corral de espera, este indicador fue 18 minutos superior en los grupos de cerdos manejado en el rastro no TIF ( $P<0.0047$ ). En los resultados de la etapa referente al tipo de método de aturdimiento, se aprecia que el método repercute sobre los indicadores de estrés sanguíneos; se destaca una marcada hiperlactatemia, hiperglucemia, hiperpotasemia e hipocapnia en los animales de  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  comparado con los valores basales, pero aún más para los valores de lactato en animales sin ningún método de aturdimiento y para los valores de glucosa, potasio y  $pCO_2$  con el método de  $CO_2$ . Estos valores se relacionan a una acidemia respiratoria y metabólica, caracterizada por un descenso en el pH y en la concentración de  $HCO_3^-$  acompañada por el metabolismo anaerobio y la acumulación de la concentración de cationes ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^+$ ) provenientes del lactato. El método de electronarcosis es el que presenta menores alteraciones en los perfiles sanguíneos, el aturdimiento por  $CO_2$  tiene mayores desequilibrios hemodinámicos que la muerte del cerdo sin previo aturdimiento. En cuanto a

los resultados de las variables físico-metabólicas de la canal caliente como temperatura, pH y color por el método L, a, b; medidos en las canales de cerdos a los 45 minutos *post-mortem*. La temperatura de las canales de los animales sacrificados sin aturdimiento fueron más altas en comparación con los animales aturdidos; por otra parte, las variables que representan el color de la canal ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) no tienen diferencias significativas entre los métodos de aturdimiento. Se concluye que el periodo de transporte que más afecta en el perfil fisiometabólico del cerdo es el periodo corto y medio. En el periodo de transporte largo, se aprecia que los cerdos logran adaptarse y restablecen el equilibrio ácido base, mineral y metabólico, aunque el grado de deshidratación sigue en aumento. Respecto a los indicadores de bienestar animal por efecto del tipo de rastro, se aprecia que el número de cerdos fracturados, lesionados y prolapsados se incrementan significativamente en el rastro TIF. Esto indica que en el rastro TIF evaluado, no se capacita al personal para atenuar el estrés y mejorar el bienestar de los cerdos durante el desembarque y arreo al área de matanza. Los métodos de aturdimiento empleados en las plantas mexicanas de faena de cerdos tienen repercusiones importantes en el bienestar animal. El método de aturdimiento que afecta negativamente a los cerdos es el  $CO_2$ , pues tiene incluso más repercusiones negativas en comparación con la faena sin aturdimiento, ya que los animales presentan elevados niveles de lactato, glucosa,  $Na^{++}$ ,  $K^+$ , los cuales están relacionados con el estrés y la agonía de los cerdos, además de afectar también la calidad de la carne. Aunque en la actualidad sea inadmisibles que exista aún faena sin previo aturdimiento por el sufrimiento de los animales al momento del degüelle, se tendrá también que seguir evaluando los métodos de aturdimiento ya existentes, por afectar de igual forma el bienestar ya sea por su efecto intrínseco, por su mala aplicación o su diseño mal adecuado, y mejorar así sus condiciones; pero de igual forma, seguir investigando para implementar nuevos métodos que mejoren las condiciones de los cerdos.

**Palabras claves:** Bienestar animal, calidad de la carne, transporte, aturdimiento, indicadores de bienestar, cerdos, estrés, PSE.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the indicators of animal welfare during arrival, lairage time and method of stunning in hogs sacrificed in different slaughterhouses, and their effect on the physiometabolic profiles and the incidence of pale, soft and exudative meat (PSE). In order to evaluate the effect of the duration of transport, 634 pigs were studied upon arrival at the slaughterhouse after different periods of transport. The hogs were divided into 3 groups according to the different transport times. Group 1 ( $G_1$ ), 253 hogs that were transported for 6 hours; Group 2 ( $G_2$ ), 212 pigs transported for 12 hours; and Group 3 ( $G_3$ ), 160 pigs transported for 24 hours. The average velocity of transport was 45 km/h. Once the pigs descended from the truck and before transfer to the holding station, they were sampled to evaluate the effect of the duration of transport. On the following day, the hogs were sacrificed according to the routine used in each slaughterhouse. In order to evaluate the indicators of animal welfare during unloading and herding to the stunning station in 2 types of slaughterhouse (TIF vs. no TIF) 7594 pigs were considered. In this stage of experimentation, the posture of the hogs upon arrival was evaluated, as were the indicators of animal welfare during descent from the transport and the holding stage. To evaluate the effect of the stunning method, 738 pigs were utilized. The animals were taken to 3 different establishments: Slaughterhouse 1, hogs sacrificed without stunning ( $R_1$ ,  $n=140$ ); Slaughterhouse 2, hogs stunned using electronarcosis ( $R_2$ ,  $n=185$ ); and Slaughterhouse 3, hogs stunned in a  $CO_2$  chamber ( $R_3$ ,  $n=195$ ). Blood samples were taken to evaluate the physiometabolic profile on the day prior to transport, 221 hogs were chosen at random at 159 days of age. Those pigs were taken as reference samples. In the results with respect to the critical blood variables of hogs transported for different periods, significant differences can be observed ( $P<0.05$ ) in the duration of the different transport times (basals = 0h,  $G_1$  = 5-6 h,  $G_2$  = 10-12 h,  $G_3$  = over than 24 h). The animals transported for short periods ( $G_1$  = 5-6 h)

presented lower values for pH ( $7.37\pm 0.63$ ),  $pO_2$  ( $24.92\pm 0.53$ ),  $K^+$  ( $5.21\pm 0.04$ ), and the highest values for glucose ( $99.87\pm 1.00$ ) and lactate ( $62.24\pm 1.54$ ). These values were statistically different from those for the other transport times. A similar behavior was observed in the pigs transported for medium times ( $G_2 = 10-12$  h), where the lowest  $pCO_2$  levels ( $36.26\pm 0.52$ ) and the highest  $Na^+$  levels ( $148.64\pm 0.2$ ) were found. With respect to the animals transported for long periods ( $G_3 =$  over 24 h) it is important to note the hypothermic process ( $37.93\pm 0.06$ ), as well as the increase in the percentage of hematocrit ( $45.93\pm 0.49$ ). The results related to postures and indicators of animal welfare show significant differences ( $P<0.05$ ) in the percentage of injured hogs ( $26.47\pm 3.73\%$ ) that arrived at Slaughterhouse TIF, compared to the injured hogs ( $2.46\pm 0.55\%$ ) at Slaughterhouse No TIF; that is, the percentage of injured hogs during arrival at Slaughterhouse TIF was 24.01% above the percentage of injured hogs at Slaughterhouse No TIF. However, in both cases one can observe the absence of significant differences in the others indicators of the behavior of the hogs delivered to both slaughterhouses. With regards to the use of the electric carrier, their appeared a tendency towards an increase of 28% in Slaughterhouse No TIF vs. TIF, although there was no significant difference ( $P>0.1916$ ). Another indicator to be underlined is the number of hogs who slipped during unloading. The number of falls was reduced by half in Slaughterhouse TIF as compared to No TIF ( $P>0.2131$ ). With respect to the number of traumas found in the hogs during descent at the lairage station, it should be noted that in Slaughterhouse No TIF ( $445.44\pm 85.41$ ) compared to Slaughterhouse TIF there was an increase of 3 times, hence this indicator was significant ( $P<0.001$ ). Concerning the duration of hurting the pigs to the holding station, this indicator was 18 minutes higher in the groups of hogs handled in Slaughterhouse No TIF ( $P<0.0047$ ). In the results referring to the type of stunning method used, it can be seen that the method affects the indicators of blood stress, highlighted by a market hyperlactatemia, hyperglycemia, hyperkalemia and hypocapnia in the animals at  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ , compared to the basal values but even more for the values for lactate in animals where no stunning method was used and for the values for glucose, potassium and  $pCO_2$

when the CO<sub>2</sub> method was used. These values are associated with respiratory and metabolic acidemia characterized by a decrease in pH and in the concentration of HCO<sub>3</sub>, accompanied by anabolic metabolism and the accumulation of the concentration of cations (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>+</sup>) that originate in the lactate. The electronarcosis method presents fewer alterations in the blood profiles, stunning with CO<sub>2</sub> resulted in greater hemodynamic disequilibriums than deaths without previous stunning. In terms of the results of the physic-metabolic variables in the heated channel such as temperature, pH and color using the L, a, b method, measured in the channels with hogs at 45 minutes *post-mortem*, the temperature of the channels of the animals sacrificed without stunning were higher than in the case of stunned animals. On the other hand, the variables that represent color in the channel (L\*, a\*, b\*) showed no significant differences with respect to the stunning method used. The conclusion is that the transport periods that most greatly affect the physic-metabolic profile of the hogs are the short and medium ones. During long periods of transport, it is seen that the hogs manage to adapt and reestablish their acid - base, mineral and metabolic balance, though the degree of dehydration continued to increase. Turning to the indicators of animal welfare due to the effect of the type of slaughterhouse it is seen that the number of fractured, injured and prolapsed hogs increases significantly at Slaughterhouse TIF. This indicates that in the Slaughterhouse TIF evaluated, the personnel are not trained to attenuate the stress in improve the welfare of the hogs during unloading and hurting to the killing area. The stunning methods used at Mexican hog Slaughterhouses have significant repercussions on animal welfare. The stunning method that most negatively affects hogs is CO<sub>2</sub>, as it shows even more negative effects when compared to slaughtering without stunning, as the animals present high levels of lactate, glucose, Na<sup>++</sup> and K<sup>+</sup> factors that are related to stress and agony in the hogs. This also affects meat quality. Although at present it is unacceptable to kill animals without prior stunning due to the suffering they experience when their throats are slit, it is important to continue evaluating existing stunning methods since they affect animal welfare through their intrinsic effect, due to poor application, or to inadequate design, as a means of improving their

conditions. Also, more research is required to implement new methods that improve the condition of the pigs.

**Keywords:** animal welfare, meat quality, transport, stunning, welfare indicators, pigs, stress, PSE.

## I. INTRODUCCIÓN

Cuando un animal se estresa por hambre, fatiga, ambiente, animales desconocidos y maltrato (Grandin, 1997), se presenta un desequilibrio metabólico que influye en el potencial glucolítico *post-mortem*, alterando el grado de acidez muscular y el color de la carne, repercutiendo en la incidencia de canales pálidas suaves y exudativas (PSE) (Hambrecht *et al.*, 2004; Alarcón *et al.*, 2005; Warris, 2000).

Además éstas características son indeseables tanto para los consumidores como para la industria procesadora, provocando grandes pérdidas económicas por presentar muerte de los animales antes de su sacrificio, apariencia indeseable y rendimientos muy bajos en los productos procesados (Alarcón *et al.*, 2005).

Factores como el transporte, reposo y método de aturdimiento repercuten en el bienestar animal y por consiguiente en la calidad de la carne. En México existen pocos estudios acerca de esta problemática. Los primeros resultados publicados en México fueron a través de estudios realizados por Alarcón *et al.* (2005) y Mota-Rojas *et al.* (2005, 2006).

Por lo tanto la importancia de la realización de un estudio que evalúe los factores que inciden en el bienestar animal y la calidad de la carne en México, permitirá alertar a las autoridades para tratar de mejorar las condiciones previas al sacrificio de los animales. Y por tanto, permitir que los productos derivados de la carne puedan estar en las estipulaciones internacionales para su introducción a un mercado exigente no solo en el aspecto de la calidad, sino también en el bienestar animal, aspecto fundamental en la actividad.

El transporte, la carga y descarga, el arreo de los animales a las áreas de descanso, el ayuno, la mezcla de animales, y el método de aturdimiento son factores que influyen en el estrés de los animales, pero sin embargo para



obtener un producto de consumo como lo es la carne, es indispensable realizar éstas faenas en los establecimientos de matanza, entonces ¿cómo prevenir o reducir estos factores? Una de las recomendaciones de Grandin (2010), es la evaluación concienzuda de las condiciones del transporte, el arreo, las áreas de descanso y los métodos de aturdimiento utilizados en los rastros; y así, con la información obtenida, realizar las correcciones necesarias para disminuir el número de lesiones, dolor y sufrimientos innecesarios a los animales, y buscar alternativas que disminuyan el tiempo de traslado, evaluar el estado de salud de los animales que se serán transportados apartando a los tendrán más problemas de enfrentar el transporte.

Por lo anteriormente mencionado, el objetivo del presente estudio es valorar los indicadores de bienestar animal por efecto de la duración del transporte, manejo de los animales durante el desembarque y método de aturdimiento en cerdos sacrificados en diferentes rastros y su efecto en la bioquímica de la carne.

## II. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. *Producción de carne en México*

En México, la porcicultura ocupa el tercer lugar en importancia por su aportación a la producción total de cárnicos (Pérez, 2007).

Si bien su participación en el Producto Interno Bruto es mínima, alrededor del 0.3%, asociado al crecimiento demográfico acelerado, que de 1985 al 2005, creció de 12.6 millones de habitantes a 103.3 millones de habitantes, y por tanto también al aumento de sus demandas alimenticias. Su relevancia reside en la aportación de un conjunto de productos importantes en la dieta de los estratos de bajos ingresos de la población, al uso -en forma indirecta- de vastas superficies agrícolas y forman una amplia y compleja cadena productiva que incluye la producción de granos forrajeros y oleaginosas, la elaboración de alimentos balanceados, fármacos, biológicos veterinarios y la operación de establecimientos de sacrificio, despiezado y de industrialización de la carne (Pérez, 2007).

A nivel mundial, la producción porcícola es de 770 millones de cabezas, con una generación anual estimada de carne de 65 millones de toneladas. En México se cuenta con 15 millones de cabezas que producen 1.1 mil toneladas de carne de cerdo al año. Se cuenta además con 5,434 granjas tecnificadas; 3.5 millones en granjas semi-tecnificadas y 2.1 millones de cerdos se desarrollan en chiqueros de traspatio (ganadería familiar). Es el décimo quinto productor mundial de carne de cerdo y realiza exportaciones por 67,800 toneladas con un ingreso de divisas superior a los 320 millones de dólares (SAGARPA, 2009b). En lo referente a las importaciones, en el 2008 se observa un aumento en la importación de carne fresca, refrigerada y congelada de 386,600 toneladas, es decir un 18.8% más comparado con el año anterior (SAGARPA, 2009c).

El consumo per cápita nacional de carne de cerdo se calcula aproximadamente entre los 8 y 10 kilogramos al año, y los estados que más contribuyen a la producción en el 2008 son: Sonora (19.4%), Jalisco (18.8%), Guanajuato (9.0%), Puebla (8.9%), Yucatán (7.7%) y Veracruz (6.0%) (SAGARPA, 2009c). Da empleo directo a 350,000 personas, genera 1.7 millones de empleos indirectos; representa un valor de producción superior a los 30 mil millones de pesos y produce 1.3 millones de toneladas anuales (SAGARPA, 2009a).

De acuerdo con información de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA (2009c), el faenado de ganado porcino se ha venido comportando en forma similar a la producción, ya que no se han registrado fuertes variaciones en cuanto al peso del ganado para abasto y su rendimiento.

De tal forma, se encuentra que de 2005 a 2006, el número de cabezas de porcino procesadas alcanzó 14.3 millones que fue 1.1% superior al 2005. En 2007 el volumen de ganado sacrificado fue de 14.7 millones de cabezas, 2.9 mayor al 2006 y en 2008 se observó una depresión negativa de 0.3% para situarse en 14.6 millones de cabezas (SAGARPA, 2009c).

La carne de porcino en México continuó incrementando su participación en el mercado exterior gracias a los esfuerzos realizados por las empresas mexicanas y a la apertura lograda por las autoridades, que han permitido que en el 2008 las exportaciones de carne (67.800 ton) y de productos porcinos (1,226 ton) llegaran a los consumidores de Japón, Corea del sur y EUA (SAGARPA, 2009c).

Pero a pesar de esta gran apertura para la exportación, aun la mira para exportar carne de cerdo a la Unión Europea está lejos de ser posible, ya que el bienestar de los animales es un tema de gran importancia para los europeos. El sentido de responsabilidad pública hacia los animales que se encuentran al

cuidado humano es cada vez mayor. La UE lleva más de treinta años desarrollando legislación en materia de bienestar de los animales, y sigue abanderando iniciativas, tanto en Europa como a escala internacional (Comisión Europea, 2007).

Alrededor del 62% de los consumidores europeos se manifestaron dispuestos a cambiar sus hábitos de compra a fin de adquirir productos que fueran más respetuosos con el bienestar de los animales. Además, el 43% declararon tener en cuenta el bienestar animal alguna vez o cada vez que compraban carne. El 74% de los consumidores de la UE creen que sus decisiones de compra pueden repercutir de manera positiva en el bienestar de los animales. La inmensa mayoría de los consumidores de la UE desearía que en el etiquetado de los alimentos figurasen indicaciones más visibles sobre buenas normas de bienestar de los animales, para poder elegir su comida sobre la base de dichas consideraciones. En este sentido, para los consumidores europeos, el bienestar de los animales de cría está firmemente ligado a la seguridad de los alimentos e incluso, a la calidad de los productos cárnicos. (Comisión Europea, 2007).

Sin embargo, las variaciones en la calidad de la carne porcina han sido de mayor importancia desde que la condición pálida, suave y exudativa (PSE) fue reconocida por Ludvigsen en 1953 (Kauffman *et al.*, 1998). La cual ha sido reportada también en pavos y pollos (Warris, 2000).

La carne PSE es uno de los problemas más importantes sobre la calidad de la carne, ya que repercute en grandes pérdidas económicas y afecta toda la cadena productiva de la carne (Warris, 2000). Castrillon *et al.* (2007) muestran estimaciones de pérdidas económicas en diferentes países, como por ejemplo, en la industria cárnica porcina de los Estados Unidos, una pérdida US\$ 32 millones anuales por causa de carne PSE; en la industria alimenticia australiana se registra una pérdida de US\$ 20 millones y la industria porcina del Reino Unido unos \$20 millones anualmente.



### III. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. *Bienestar animal*

El bienestar animal es un concepto relativamente nuevo que lentamente se está introduciendo en la ganadería moderna, sobre todo en los sistemas de producción intensiva, además de ser uno de los temas más importantes en la ciencia animal, por su compleja naturaleza que hace difícil medirlo objetivamente con técnicas simples (Levrino y Villarroel, 2003). El bienestar animal se puede medir en términos de alteraciones fisiológicas y de comportamiento que pueden ser una buena medida para determinar la situación del nivel de estrés de los animales (von Borell, 2001; Levrino y Villarroel, 2003).

De acuerdo con Grandin (2000), el bienestar de los animales está comprometido a menudo por la actitud y el manejo inadecuados por parte del personal. El temor y el dolor son causas muy importantes de estrés en el ganado, que afectan a la calidad de la carne. El dolor generalmente es la consecuencia de una lesión o del maltrato, que a su vez influye en la calidad de la carne de los animales afectados (Grandin, 1997; Chambers y Grandin, 2001).

Los animales se estresan por tensión psicológica (alojamiento, manejo y situaciones novedosas) o estrés físico (ayuno, fatiga, lesiones, o temperaturas extremas); las respuestas al miedo, en particular, son difíciles de apreciar ya que obedecen a la forma en cómo el animal percibe el manejo y/o el transporte (Grandin, 1997; von Borell, 2001). Las habilidades que tiene el animal para hacer frente a los estresores depende en parte a sus experiencias; por ejemplo las respuestas al miedo en el manejo varían acorde con sus experiencias en el contacto con humanos, que alternadamente están influenciadas por la actitud de los granjeros hacia los animales (Broom, 1991; Grandin, 1997; von Borell, 2001;

Mounier *et al.*, 2006), de igual forma esta situación se puede apreciar en la convivencia en un grupo social unido que puede desunirse durante las situaciones estresantes, especialmente con animales de diferentes edades (Grandin, 1997; Mounier *et al.*, 2006).

### **3.1.1. Estrés**

Para Selye (1970) el estrés es una respuesta inespecífica del organismo ante cualquier demanda a la que se lo somete, los factores productores de estrés son diferentes, pero todos ellos producen esencialmente la misma respuesta de estrés biológico. La respuesta de estrés incluye una serie de cambios fisiológicos y conductuales que aumentan la oportunidad de supervivencia del individuo cuando debe hacer frente a una amenaza y mantener así su homeostasis. Muchas veces es perjudicial cuando hay una elevación crónica de los mediadores químicos de esta respuesta.

El estrés de un animal resulta de la acción de uno o más factores estresantes que pueden ser de origen externo o interno. Si un componente de ansiedad se puede considerar dañino depende de la forma en cómo el organismo puede hacer frente a una situación que amenaza la recuperación de su estado de homeostasis. De esta forma, el estrés se puede medir y supervisar en términos de alteraciones fisiológicas y de comportamiento que pueden ser indicativas del estado de bienestar individual. En la actualidad la visión biológica es que el estrés severo invariablemente involucra un bienestar pobre. Sin embargo, el estrés por sí mismo no afecta negativamente el bienestar, sino que el bienestar pudo haber sido deteriorado incluso cuando las muestras de estrés no son tan obvias o visibles (von Borell, 2001).

### 3.1.2. Fisiología del estrés previo al sacrificio.

Previo al sacrificio, durante el traslado a la planta de sacrificio, los animales pueden verse expuestos a varios factores estresantes, por ejemplo el ayuno o un ejercicio extenuante, pero también por la ruptura del grupo social y del ambiente familiar, el manejo (en la carga y descarga) y la novedad. Estos aspectos varían acorde con las condiciones de transferencia, pudiendo afectar negativamente la calidad de la carne (Broom, 2003; citado por Mounier *et al.*, 2006).

La respuesta a los factores de estrés requiere una serie de acontecimientos que comienzan con la detección y la señalización de los varios mecanismos biológicos del animal sobre la existencia de una amenaza. Estos acontecimientos son seguidos por la activación de mecanismos neurofisiológicos que articulan un esfuerzo biológico para resistir y prevenir un daño importante (Sandi *et al.*, 2001).

En una situación de estrés, el hipotálamo integra la información procedente de las vías sensoriales, desencadenando la activación del sistema nervioso simpático y del eje Hipotálamo-Hipófisis-Adrenal. Durante la percepción de un estímulo estresante, la primera reacción fisiológica del organismo, que ocurre en cuestión de segundos, es una reacción de alarma que se produce a través de la activación del sistema simpático (Sandi *et al.*, 2001).

El sistema nervioso parasimpático mantiene la homeostasis y es principalmente responsable del ahorro de energía y relajación durante el estrés. Las actividades parasimpáticas son antagonizadas por las actividades simpáticas que movilizan energía durante el estrés (von Borell, 2001). La señal de activación simpática comienza cuando las neuronas pre-ganglionares simpáticas de la médula espinal reciben la información procedente del hipotálamo a través de las vías autónomas que provienen, directamente del núcleo para ventricular, o del núcleo del tracto solitario en el tronco cerebral; estas neuronas transmiten la señal hasta la cadena ganglionar simpática paraventral, en donde hacen sinapsis con



las neuronas post-ganglionares. Cuando estas neuronas post-ganglionares simpáticas son activadas, liberan noradrenalina en distintos órganos que inervan. La noradrenalina activa distintos receptores adrenérgicos, como los receptores  $\beta$ 1-adrenérgicos en el corazón, produciendo aumento de la fuerza de contracción y de la frecuencia cardíaca. En los pulmones producen la relajación de la musculatura bronquial, lo cual permite una mejor ventilación pulmonar, y por lo tanto incremento en la frecuencia respiratoria, y un mayor aporte de oxígeno en la sangre. Por otro lado, los receptores  $\alpha$ -adrenérgicos producen una contracción en los vasos sanguíneos en aquellos órganos o tejidos cuya función no es imprescindible en la respuesta del estrés. Esta acción permite una redistribución de la circulación sanguínea hacia los órganos que requieran mayor aporte sanguíneo (Sandi *et al.*, 2001).

Además de estas modificaciones fisiológicas, el sistema simpático produce cambios metabólicos importantes, como su acción en el hígado, donde estimula la glucogenólisis (Sandi *et al.*, 2001); es decir, la ruptura del glucógeno para obtener glucosa, lo cual conduce a un aumento de glucosa en sangre, que podrá ser utilizada por aquellos tejidos y órganos que demanden mayor aporte energético (Cunningham, 1999). En conjunto estos cambios fisiológicos y metabólicos ayudan a un mayor flujo sanguíneo con un mayor aporte de oxígeno y glucosa hacia órganos como los músculos para un mayor esfuerzo físico (Sandi *et al.*, 2001; von Borell, 2001).

Como se mencionó anteriormente el hipotálamo es el encargado de coordinar y activar tanto al sistema simpático como al eje hipotálamo-hipófisis adrenal. Los centros cognoscitivos del cerebro tales como la corteza cerebral, perciben las amenazas exteriores y actúan iniciando mecanismos de respuesta vía señal nerviosa, que activan la hormona liberadora de corticotropina, produce principalmente por las neuronas en el núcleo paraventricular del hipotálamo (von Borell, 2001). La hormona liberadora de corticotropina es lanzada por las terminales del axón, los cuales se proyectan a la región de la eminencia mediana y se transporta por el sistema porta-hipofisario de la sangre a la hipófisis anterior,

donde aumenta la síntesis y la secreción de la hormona adrenocorticotropa (ACTH) y  $\beta$ -endorfina (Cunningham, 1999), un péptido opiáceo cuya función parece estar relacionada con la analgesia inducida por el estrés (Sandi *et al.*, 2001).

La liberación de la hormona adrenocorticotropa activa el eje de Hipotálamo-Hipófisis-Adrenal. Es así que en el animal, el estrés y la actividad muscular producen un aumento en los niveles de catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) de la médula suprarrenal, característica de la expresión de lucha-huida, preparando el cuerpo para responder y hacer frente al factor de estrés (aumentando ritmo cardíaco y la presión arterial) (Cunningham, 1999). La liberación de la hormona adrenocorticotropa a la circulación sanguínea, realiza la captación de glucosa en el músculo esquelético y, al llegar a la corteza adrenal, estimula la producción y liberación de los glucocorticoides en la sangre como el cortisol, en donde la máxima concentración de estas hormonas suele observarse a los 30 minutos de haber comenzado la situación estresante (Sandi *et al.*, 2001).

La hormona adrenocorticotropa (ACTH), el cortisol y la tiroxina, producen un aumento en el monofosfato de adenosina (AMP) cíclico y en la actividad de la fosfatasa muscular, que degrada el glucógeno a glucosa 6-fosfato, la cual no es permeable a la membrana celular, y por tanto, se degrada a lactato en condiciones anaeróbicas; este lactato es reconvertido a glucosa en el músculo por el Ciclo de Cori (Ciclo del ácido láctico), regulándose así la glucemia (Prädl *et al.*, 1994; Mayes y Bender, 2004). La concentración de lactato en sangre es un efecto  $\beta$ -adrenérgico de la adrenalina, lo que estimula la liberación de insulina y la producción de la glucogenólisis, neoglucoogénesis y glucogenogénesis durante el estrés y el ejercicio muscular, como una respuesta al elevado nivel de cortisol en sangre, el cual tiene un efecto antagónico a la insulina, pues previene la entrada de glucosa al músculo y tejido adiposo, para que esté disponible en otros órganos como el hígado y el cerebro (Alarcón y Duarte 2006).

Coelho (1994) menciona que el estrés destruye las membranas celulares en los animales, lo que resulta en una lisis de eritrocitos y un incremento en la concentración de piruvato y creatina kinasa. El  $\text{Ca}^{2+}$  es liberado desde las mitocondrias presentándose una incapacidad del retículo sarcoplasmático para retener estos iones empezando así la rigidez muscular. La concentración citosólica del  $\text{Ca}^{2+}$  dentro de las fibras musculares, tiene un papel importante en el metabolismo del músculo y es un componente vital que contribuye al desencadenamiento de la rápida glucólisis *post-mortem* y el desarrollo de carne pálida, suave y exudativa. El calcio acelera la glucólisis por 2 mecanismos: incrementando la actividad de la ATPasa activada por calcio y/o sirviendo como co-factor en varias reacciones glucolíticas. Después de presentarse una glucólisis acelerada, prosigue el descenso del pH y de la saturación de oxígeno en la sangre, incrementándose el lactato, la concentración de  $\text{CO}_2$  y la temperatura corporal rápidamente a  $42^\circ\text{C}$  o más (Bowker *et al.*, 2000).

### **3.1.3. Valoración del estrés ante-mortem**

Los estudios sobre las respuestas al estrés en los animales de granja se han llevado a cabo sobre la base de alteraciones fisiológicas y de comportamiento irregular fenómenos que podrían ser difíciles de interpretar (Grandin, 1997; von Borell, 2009).

El intento de huida, las vocalizaciones, el pataleo o lucha son indicadores de comportamiento para el estrés. Existen otras mediciones para éste comportamiento fisiológico como el cortisol, utilizado como un indicador para el estrés, pero de poco valor si no se considera el contexto en el que el sustancia se libera y no saber qué consecuencias tiene para un animal además de ser una medida dependiente del tiempo, pues toma de 10 a 20 minutos para alcanzar valores máximos (Grandin, 1997; von Borell, 2009). La creatinin fosfoquinasa (CPK) y el lactato parecen ser medidas útiles para determinar el estrés en el manejo de los cerdos (Warris, 2000).

Otras respuestas fisiológicas que se observan en situaciones de estrés, destacan el aumento en la secreción de catecolaminas, que propicia otras respuestas como el aumento del gasto cardíaco, aumento en el consumo de oxígeno, aumento en la temperatura corporal, disminución del pH corporal, acumulación de ácido láctico y aumento en la gluconeogénesis, con lo que se aumenta el metabolismo basal (Rosmini y Signorini, 2006) y el aumento de los niveles de glucosa en sangre, esta respuesta es utilizada también como un indicador para la medición del estrés (Becerril-Herrera *et al.*, 2010, 2009).

### **3.1.3.1. Gasometría sanguínea**

La medición de gases en sangre ( $pO_2$ ,  $pCO_2$  y pH), además de técnicas complementarias, proporcionan información esencial para evaluar al paciente y realizar un diagnóstico correcto (Nodwell *et al.*, 2005). Los gases en sangre proporcionan información importante sobre el estado de estrés en los animales y pueden ayudar tanto a clínicos e investigadores en la evaluación del estado de estrés (Hambrech *et al.*, 2004).

El monitoreo de la gasometría sanguínea se puede realizar de forma intermitente, al analizar muestras sanguíneas continuamente de forma invasiva (gasometría intra-arterial continua). Ésta monitorización intermitente de los gases y el equilibrio ácido base, se realiza por medio de la toma repetida de muestras de sangre. Es muy importante que se tomen una serie de precauciones al obtener y manejar las muestras sanguíneas, para garantizar que los resultados sean fidedignos (Villanueva *et al.*, 2008).

Para la valoración del bienestar animal, Becerril-Herrera *et al.* (2009 y 2010) utilizaron la gasometría sanguínea para la valoración del estrés de cerdos que están expuestos a distintos estresores momentos previos al sacrificio como el transporte y diferentes métodos de aturdimiento, ya que la gasometría permite medir indicadores como el lactato y la glucosa relacionados con el aceleramiento

del metabolismo ante una situación de estrés, la  $PCO_2$ ,  $PO_2$  y el pH relacionados con la presencia de acidosis respiratoria o metabólica también relacionadas con el estrés.

#### **3.1.4. Importancia de auditar el bienestar animal en los centros de matanza**

Como se ha visto en esta revisión, el bienestar animal ha tomado gran importancia en la industria procesadora de carne en todo el mundo. Cada vez es mayor el número de veterinarios, científicos y personal encargado del manejo de industrias procesadoras de carne, que se interesan en el control y verificación del bienestar, por el impacto que tiene sobre la calidad de la carne y porque cada vez hay más consumidores preocupados por el trato que se les da a los animales previo a su muerte (Grandin, 2000b).

En Europa, se dieron las pautas para la evaluación del bienestar gracias a la preocupación de los consumidores sobre el trato humanitario. Varias grandes cadenas de supermercados europeas iniciaron las auditorías a sus proveedores de carne para asegurarse de que cumplieran con las reglamentaciones sobre matanza humanitaria. Hasta hace poco tiempo, no se hacía este tipo de auditorías en las plantas de faena de EE.UU. El 5 de febrero de 1999, el Instituto Norteamericano de la Carne (*American Meat Institute*), con el apoyo de un fondo de McDonald's Corporation, organizó un encuentro en Kansas City con el objeto de enseñar a los representantes de la industria las pautas desarrolladas por ese instituto para el manejo y el aturdimiento. En esta reunión, se presentó a los representantes de las industrias de la carne y de las comidas rápidas un sistema objetivo de calificación de las prácticas de manejo y de aturdimiento (Grandin, 2000).

En este sentido, la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) tiene normas o estándares básicos mínimos de bienestar para el manejo, transporte y matanza de animales en los rastros, con el propósito de controlar enfermedades infecto-contagiosas. De igual forma, este sistema de

estandarización del bienestar ha sido utilizado por compañías restauranteras de comida rápida para evaluar sus plantas de matanza. Cabe señalar que los estándares que establece la OIE, como los estándares que cada país tiene en particular y los estándares de las compañías de carne y comida rápida, deben complementarse. El uso de este sistema ha resultado en grandes mejoras tanto en el manejo de los animales como en el aturdimiento previo al sacrificio en las plantas faenadoras (Grandin, 2010).

El sistema de auditoría abarca especies como bovinos para engorda, cerdos para engorda y aves. Este sistema de auditoría se basa en estándares en el manejo de los animales, mide las condiciones de cualquier agresión, manejo negligente, o abusivo hacia los animales, o la falta de pericia en el uso del equipo en estas plantas. Los estándares son mediciones continuas de una escala numérica. Algunos ejemplos de problemas de bienestar que pueden ser medidos con estos estándares es el porcentaje de animales emaciados, con cojeras, lesionados o con presencia de contusiones. Otro ejemplo es el registro de actos inapropiados que tienen injerencia en el bienestar animal por mal manejo o por la falta de habilidades del personal para el manejo del equipo; como el porcentaje de animales inmovilizados, o el porcentaje de animales mal aturridos por falla en el primer intento de aturdimiento (Grandin, 2010).

En particular existen prácticas como golpear o arrastrar animales que están totalmente prohibidas tanto por las legislaciones como por los estándares requeridos por las compañías privadas. Por ejemplo, en los estándares de la OIE durante el sacrificio de los animales de abasto, ninguna de las prácticas deben mostrar golpes, caídas o ataques en contra de los animales. En estos casos las mediciones se realizan con la presencia o ausencia de estas prácticas, ya que ningún número de estos actos o prácticas deben estar presentes (Grandin, 2010).

Estos estándares especifican exactamente como realizar los procedimientos, los espacios requeridos e indica las piezas requeridas en los

equipos. Dentro de los estándares existen normas fundamentales de ingeniería que se requieren para asegurar un nivel mínimo de bienestar aceptable o que, indican los requisitos de espacio. Algunos ejemplos son intensidades de corriente eléctrica mínima con aturdimiento eléctrico y los requisitos mínimos de espacio de estabulación. La mayoría de problemas con equipos mal diseñados pueden ser detectados y medidos con los animales basados en la medición de resultados. Por ejemplo, si el área de aturdimiento está mal diseñada, es probable que pueda causar caídas en los animales o bajar el porcentaje de animales aturdidos con eficacia en el primer intento (Grandin, 2010).

### **3.2. Características de los centros de matanza**

Según la NOM-194-SSA-2004, rastro se define como todo establecimiento dedicado al sacrificio y faenado de animales para abasto. La NOM, establece que la distinción entre rastros y mataderos se define en función del volumen de matanza de los establecimientos, considerándose como rastros aquellos que faenen como mínimo 168 animales de ganado mayor (bovinos y equinos), 336 animales de ganado menor (cerdos, ovinos y caprinos), 5,000 aves o una combinación entre las diferentes especies, semanalmente. Los mataderos sin embargo faenan menos de las cantidades mencionadas anteriormente.

Generalmente los tipos de rastro se dividen en aquellos que operan bajo autorización federal, estatal y municipal. Los tres tipos son establecimientos diseñados para el sacrificio de especies pecuarias como el porcino, bovino, ovino, caprino y aves (SIAP, 2007).

Dependiendo del tipo de rastro, éste puede estar especializado en un tipo de especie en particular o para más especies. Hay rastros municipales con certificación TIF y son centros de sacrificio administrados por particulares con la concesión del Municipio, estos, como los Establecimientos TIF (Tipo Inspección Federal) de particulares y de organismos de productores de ganado, cumplen con

los requisitos de infraestructura y manejo de productos, con base en las normas establecidas por el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) (SIAP, 2007).

Considerando la discriminación entre rastros y mataderos que indica la NOM-194-SSA1-2004, en México se identifican 4,851 establecimientos de sacrificio de ganado, conformados por 866 rastros municipales, 95 rastros TIF y 3,701 mataderos.

La información preliminar del SIAP (2007), indica que el número de porcinos procesados en el 2005 fue de 14.3 millones de cabezas, lo cual resulta 3.1% superior a los datos obtenidos en el 2004. Durante el 2005, 13 entidades federativas reportaron procesamiento de porcinos en rastros TIF, sin determinarse apertura de nuevas instalaciones; dentro de estos 13 estados, 4 conjuntaron el 84.8% del sacrificio de rastros TIF, con un total de cabezas de 4.4 millones, mismas que significaron una tercera parte del sacrificio total de porcinos del país. Dentro de estas 4 entidades se encuentran Guanajuato, México, Sonora y Yucatán; destaca Sonora, con sacrificios en establecimientos TIF superior a los 2 millones de cabezas, lo que representa el 40.2% del total de porcinos procesados en TIF, seguido por el Estado de México, con 1.1 millones de cabezas y el 22.0% de la transformación de porcinos en TIF (Gallardo *et al.*, 2006).



### **3.2.1. Rastros TIF**

El sistema de intervención Tipo Inspección Federal (TIF), es un procedimiento que garantiza la inocuidad de los productos cárnicos elaborados en establecimientos que ostentan la certificación TIF (SENASICA, 2008).

Los establecimientos TIF se apegan a normas nacionales e internacionales de sanidad e higiene. Entre las normas nacionales a las cuales se deben apegar de manera cabal son la NOM-008-ZOO-1994 y NOM-009-ZOO-1994, las cuales marcan la pauta para construir y equipar los establecimientos, así como el procesamiento de la carne (SENASICA, 2008).

Esta certificación permite la movilización dentro del país de una manera más fácil, al contar con la garantía de la calidad sanitaria con la que fue elaborado el producto. Del mismo modo, abre la posibilidad del comercio internacional, ya que los establecimientos TIF son los únicos elegibles para exportar (SENASICA, 2008).

El personal adscrito a la inspección dentro del Sistema TIF, es capacitado y evaluado constantemente, para poder ofrecer un servicio de calidad a la industria cárnica y de este modo el poder monitorear y verificar que los establecimientos dedicados a la industrialización de la carne, estén siempre en concordancia con las regulaciones más innovadoras y actuales (SENASICA, 2008).

### 3.2.2. Rastros No TIF

El servicio de rastro o matadero municipal tiene el objetivo de proporcionar áreas e instalaciones para la matanza, faenado, conservación y distribución de carne y productos cárnicos en condiciones adecuadas de higiene. Es un servicio público prestado por los municipios, aunque la mayoría de los casos con ciertas deficiencias y en lugares poco adecuados, sin considerar las normas de higiene necesarias para su funcionamiento (Signorini *et al.*, 2005).

Un alto porcentaje de los rastros y mataderos en los ayuntamientos presentan incumplimientos a la normatividad sanitaria vigente. Las deficientes condiciones sanitarias en muchos rastros, derivadas de la falta de instalaciones y equipo modernos y las malas condiciones de aseo en los locales donde se faenan las canales, contribuyen a la contaminación exógena y se constituye en un peligro para la salud pública (Signorini *et al.*, 2005).

Las disposiciones legales que regulan la operación de los rastros en el ámbito estatal son las Constituciones Políticas de los Estados y las Leyes Orgánicas Municipales, las cuales en su contenido retoman lo establecido en el artículo 115 constitucional, señalando al servicio público de rastros como una atribución del municipio (Signorini *et al.*, 2005).

La Ley de Salud Pública de los Estados también contiene algunas disposiciones en esta materia; en ellas se establece que el control de los rastros en el municipio está a cargo del ayuntamiento, facultándolo para revisar los animales de pie y en canal, y señalando la carne que puede ser destinada a la venta pública (Signorini *et al.*, 2005).

### **3.3. Factores ante-mortem que afectan la carne**

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. Durante el transcurso de estos factores *ante-mortem*, se pueden presentar ciertos ajustes fisiológicos, como cambios en el ritmo del corazón, en la respiración, en la temperatura corporal y en la presión sanguínea, que ocurren cuando del animal es expuesto a un ambiente incómodo o peligroso (Mota *et al.*, 2005). Es entonces cuando el animal responderá a través de la excitación (estrés), fatiga y variaciones en la temperatura corporal normal (Prädl *et al.*, 1994; Mota *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2005; Alarcón *et al.*, 2006).

Como se mencionó anteriormente la respuesta del organismo a un estrés, provoca una glucólisis acelerada, la cual sucede principalmente *post-mortem* (Prädl *et al.*, 1994), provocando una rápida producción de ácido láctico a una temperatura elevada inmediatamente después del sacrificio, originando así una carne PSE (Kauffman *et al.*, 1978; Prädl *et al.*, 1994; Alarcón *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2005). El manejo *ante-mortem* como el transporte, el sacrificio y los corrales de descanso, pueden originar algunas prácticas de manejo estresantes (Guàrdia *et al.*, 2004). Aunque también la predisposición genética como en el caso de los cerdos con síndrome de estrés porcino, que provoca una exagerada reacción al estrés (Lawrie, 1977; Warris, 2000).

#### **3.3.1. Genética**

Durante los últimos 50 años, la selección intensiva para desarrollar músculo y disminuir la deposición de grasa, ha contribuido a incrementar la incidencia del síndrome de estrés porcino en los cerdos y también un aumento en la carne PSE (O'Neill *et al.*, 2003).

Debido a la demanda de los consumidores y a las crecientes expectativas comerciales, ha obligado a los poricultores de todo el mundo a tecnificarse y a seleccionar animales de crecimiento rápido con mayor rendimiento y capacidad productiva de carne, los cuales están relacionados con animales de mejor conformación muscular y magros (Calvo *et al.*, 1997; Pommier *et al.*, 1998), pero este avance tecnológico ha ocasionado cerdos mucho más sensibles al estrés medio ambiental y al manejo (Alarcón *et al.*, 2005). Esta sensibilidad al estrés normalmente llamada Síndrome del Estrés Porcino está relacionada con individuos genéticamente modificados. Sin embargo, en la actualidad se reconoce que el Síndrome de Estrés Porcino, al igual que el Síndrome de la Hipertermia Maligna, comparte el mismo defecto genético (Fujii *et al.*, 1991).

En estudios realizados por Alarcón *et al.* (2005), estimaron que la incidencia de músculo PSE es 3.5 veces mayor en granjas tecnificadas comparadas con granjas no tecnificadas, por utilizar animales de mayor conformación muscular y más magros que generalmente vienen de líneas genéticas más susceptibles al estrés.

Hoy en día, se han identificado dos mutaciones en el genoma del cerdo que afectan la calidad de la carne: el gen rendimiento napole (RN) y el gen halotano (Oliver *et al.*, 1993).

El gen halotano, es conocido como el gen de susceptibilidad al síndrome de estrés porcino y origina la carne pálida, suave y exudativa. Llamado de esta forma porque los animales que lo poseen, reaccionan con fibrilaciones (movimientos involuntarios) mientras son expuestos al gas halotano (Velazco, 2001). 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) en el cerdo, donde se presenta una sustitución de una citosina por una timina (Fuji *et al.*, 1991).

Puesto que todos los genes ocurren en pares (genética mendeliana), uno del padre y otro de la madre, un cerdo puede tener una de las tres combinaciones del Gen Hal. Si recibe el gen de ambos padres, el animal será positivo o afectado; si recibe el gen de uno de los padres, se llama portador y si hereda el gen normal de ambos progenitores, el animal será completamente normal o negativo (Velazco, 2001). En el caso de la carne de cerdos Hal positivos (Nn y nn), el pH a los 45 minutos *post-mortem* llega a ser hasta de 5.5. La presencia del alelo n del gen halotano pone en manifiesto un defecto en el canal liberador de  $Ca^{++}$  del retículo sarcoplásmico (Martínez-Quintana *et al.*, 2006), en el cual, la liberación de  $Ca^{++}$  sucede al doble de lo normal, causando un aumento en el metabolismo del músculo y provocando una acumulación de ácido láctico, lo cual se manifiesta en un pH menor de la carne (Bowker *et al.*, 2000). La capacidad de secuestrar  $Ca_2^+$  por el retículo sarcoplásmico del músculo de cerdos Hal<sup>+</sup> es inferior a la de cerdos Hal<sup>-</sup> (Küchenmeister y Kuhn, 2003). Aunque en los animales portadores, una sola copia del alelo recesivo n del gen halotano produce carne con pH a los 45 minutos *post-mortem* más bajo que la carne de animales normales; sin embargo, en el pH a las 24 horas, el color y la capacidad de pérdida por goteo de la carne no son significativamente afectadas ( $p \geq 0.05$ ) (Martínez-Quintana *et al.*, 2006).

Las prácticas de manejo para la erradicación del gen halotano, tienden a mantener cerdos heterocigotos, los cuales pueden permanecer ocultos ya que no reaccionan a la prueba de halotano y no presentan Síndrome de Estrés Porcino, pero a su sacrificio y procesamiento, esta población presenta una incidencia alta de carne PSE. Se ha demostrado que ciertas razas han tomado caminos de selección muy estrictos, que de alguna u otra forma, han aislado al gen Hal dentro de las líneas genéticas. Se estima el 30% de los animales de raza Landrace y Yorkshire son portadores de dicho gen, y esto es importante ya que estas razas se utilizan en cruas terminales que acaban en la cadena de producción. Esto implica que un gran número de los animales que alcanzan el proceso de engorda, positivos o portadores, están predispuestos a presentar carne PSE (Velazco,

2001). Por lo cual se requiere identificarlos y tomar medidas que disminuyan los riesgos de pérdidas económicas (Sánchez-Chiprés *et al.*, 2008).

En cuanto a la incidencia de síndrome de estrés porcino, diversos estudios han señalado una frecuencia que varía de cero al 89%, siendo las razas más afectadas la Pietrain y la Landrace Belga. Asimismo, se considera que existe una incidencia de 0.7% a 1.6% de muertes de cerdos durante el transporte procedentes de granjas con alta incidencia de síndrome de estrés porcino (Sánchez-Chiprés *et al.*, 2008).

Por otro lado, otra mutación que afecta la calidad de la carne y desarrolla PSE, es el gen RN (Naveau 1986, citados por Martínez-Quintana *et al.*, 2006) ha sido asociado con la acidez de la carne de cerdo y fue llamado rendimiento napole debido a que provoca una disminución en el rendimiento tecnológico de la carne (Fernández y Monin, 1994). Este gen se ubica en el cromosoma 15 del cerdo (Milan *et al.*, 1995) y es una mutación en el gen PRKAG3, el cual codifica para la subunidad gama de la proteína cinasa activada por AMP (AMPK  $\gamma$ 3). Esta mutación se debe a una sustitución de una arginina (R) por una glutamina (Q) en la posición número 200 de la secuencia de dicha proteína (R200Q) y sólo se ha detectado en cerdos con algún componente de la raza Hampshire (Milan *et al.*, 2000). Los animales portadores de este gen comparados con los animales normales tienen un nivel de glucógeno muscular superior al 70% (Estrade *et al.*, 1993), 7% menos de proteína y un pH final de la carne más bajo que en los animales no portadores de dicho alelo (Monin *et al.*, 1987) y sólo se ha detectado en cerdos con algún componente de la raza Hampshire (Milan *et al.*, 2000). En particular la raza Hampshire, posee altos niveles de glucógeno muscular *ante-mortem* y su músculo sufre una amplia glucólisis *post-mortem*, resultando en un pH final bajo y un color pálido (Bowker *et al.*, 2000).

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), 7% menos de proteína y un pH final de la carne más

bajo que los animales no portadores de dicho alelo (Martínez-Quintana *et al.*, 2006)

Los dos genes, tanto el gen halotano como rendimiento napole, son causa de grandes pérdidas económicas en la industria porcina debido al bajo rendimiento en la carne procesada (Maddock *et al.*, 2002). Tal vez los productores deberían de tener algún atractivo para depurar sus hatos. Sin embargo esta tarea no es fácil ni de bajo costo; podría tomar hasta dos años y el costo de los animales desechados puede ser muy costoso. Aunque se podría asegurar que el retorno de la inversión (costo-beneficio) provenga de la mejora en la comercialización de los cerdos dado que se puede ahorrar en una menor mortalidad y menores pérdidas a causa de la carne PSE (Velazco, 2001). Pero aún así, también los cerdos negativos o libres del gen Hal, también pueden presentar carne PSE, debido a agresivas causas ambientales o de manejo (Bowker *et al.*, 2000). Se ha calculado que los productores son responsables del 50% de la incidencia y los embarcadores del otro 50%, por tanto hay mucho que componer antes de limpiar un hato del gen Hal (Velazco, 2001).

### **3.3.2. Transporte**

El transporte es considerado como un factor de estrés en los cerdos (Broom, 1991; Grandin, 1997) y su efecto es importante en la calidad de la carne (Martoccia *et al.* 1995; Grandin, 1997) por consiguiente, se debe tener atención en este punto para minimizar la tensión de los animales (Lawrie, 1997; Alarcón y Duarte, 2006).

Algunas condiciones estresantes que afectan el bienestar en el transporte de los animales incluyen variaciones en la velocidad y vibraciones del camión, contacto con extraños, alta densidad de carga, mezcla de animales, establecimiento de nuevas jerarquías, condiciones ambientales tales como humedad y altas temperaturas, (Grandin, 1997; Mota-Rojas *et al.*, 2006); 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.

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. Para Grandin (1997) el estrés que se observa en animales sujetos a vibraciones durante el transporte, puede ser más elevado del que se presenta en la carga y descarga del vehículo que los transporta.

Con relación a la duración del transporte, los cerdos que se han transportado a distancias cortas tienden a mostrar mayor incidencia de PSE que los que se transportan a largas distancias (Grandin, 1997; Velazco, 2001). Los cerdos que se transportan durante el verano en menos de 30 minutos, son más agresivos y difíciles de manejar, produciendo así un incremento en la incidencia de la carne PSE (Grandin, 1997; Velazco, 2001; Mota *et al.*, 2006).

Mota-Rojas *et al.* (2006), reportaron que en los animales sometidos a un estrés agudo se predispone 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 alto en machos comparado con las hembras (Guàrdia *et al.*, 2004).

El tipo de piso en el camión transportador puede afectar la calidad de la carne de cerdo (Guàrdia *et al.*, 2005). De acuerdo a Guàrdia *et al.* (2004), bajo



condiciones de transporte, una superficie del piso a base de poliéster disminuye el riesgo de carne PSE alrededor de 1.5%, esto se argumenta porque una superficie de poliéster ofrece un ambiente más confortable para el transporte, particularmente por que reduce el ruido y deslizamiento ya que la superficie es rugosa y suave, además de ser un buen aislante térmico, comparado con pisos con superficies de aluminio o hierro, ya que este el piso de hierro da como consecuencia una alta incidencia de que se presente carne PSE. Guàrdia *et al.* (2005), mencionan que el hierro no es el material más apropiado para ser usado como piso; el contacto con la superficie de hierro puede incrementar los niveles de estrés para los cerdos debido a que los animales se resbalan y no pueden mantenerse firmes. Además, si se utiliza un sistema hidráulico de rampas de elevación para cargar a los animales, disminuye el riesgo de carnes PSE (Guàrdia *et al.*, 2004, 2005).

Transportar a los animales bajo altas temperaturas ambientales, 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 que en invierno (6.5% vs. 3.4%), dado que los cerdos son más sensibles a altas temperaturas, ya que carecen de glándulas sudoríparas y por lo tanto les resulta difícil disipar el calor corporal (Guàrdia *et al.*, 2004), por esta misma razón se recomienda que el espacio para cada cerdo promedio sea de 0.35 m<sup>2</sup>/100 kg de peso vivo del animal, o una densidad entre 200 y 285 kg/m<sup>2</sup> en las jaulas del camión (Barton-Gade y Christensen, 1998). Este espacio debe ser incrementado en un 10% en la época cálida y cuando la ruta está influenciada por tránsito pesado o por áreas urbanas, donde la ventilación puede reducirse por la disminución de la velocidad (Tarrant, 1989; citado por Alarcón y Duarte, 2006).

### 3.3.3. 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) (Grandin, 1997). El descanso sirve tanto para minimizar los factores estresantes ocasionados por el transporte como para reponer las reservas de glicógeno (Prince y Schweigert, 1994), previniendo ciertas características indeseables en la carne.

Los animales deben permanecer normalmente en los corrales 24 o al menos 12 horas antes de pasar a la sala de sacrificio. Durante este periodo el animal únicamente tendrá acceso al consumo de agua potable. Los cerdos en reposo deben tener disponibilidad de agua para beber y duchas durante la época de calor (Alarcón y Duarte, 2006). 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 *et al.*, 2006). Al mojar los cerdos con agua después del transporte presenta tres ventajas: refresca, reduciendo la tensión en el sistema cardiovascular; tranquiliza, reduciendo la conducta agresiva en el reposo y limpieza, para reducir la contaminación en la línea de sacrificio (Grandin, 1997; Mota *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 *et al.*, 2006).

Sin embargo, desde el punto de vista del bienestar animal, es mejor que los animales sean sacrificados inmediatamente después de la llegada, hecho que no es muy práctico en la mayoría de los rastros. Si los animales se sacrifican inmediatamente después de su llegada al rastro, proporcionarán carne de mala calidad y no tendrán la acidez adecuada ya que el sangrado será incompleto. Si

no existe un periodo de descanso adecuado, los cambios vasculares no se normalizarán incrementando la proporción de carnes PSE (González *et al.*, 2007). Alarcón *et al.* (2005) recomiendan otorgar un manejo con estrés reducido en las etapas previas al sacrificio, sobre todo en los corrales de descanso del rastro.

#### **3.3.4. Método de aturdimiento**

Los animales de abasto son aturdidos 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). Un sistema de aturdimiento puede ser reversible o irreversible. En el primer caso, el animal puede recuperar el sentido antes de muerte; por lo tanto, el tiempo entre el aturdimiento y desangrado es un factor determinante con respecto a la eficacia del método de aturdimiento. En el caso contrario, es irreversible cuando se causa la muerte del animal simultáneamente. En este caso, el objetivo del sacrificio es drenar la sangre del animal muerto (Becerril-Herrera *et al.*, 2009).

Después de sacrificio, la mayoría de los métodos de aturdimiento producen un aumento en los niveles de catecolaminas, cortisol, endorfinas, lactato, glucosa, calcio, magnesio y proteínas del plasma entre otros; estas alteraciones son importantes, ya que proporcionan una idea sobre el bienestar animal que puede estar comprometido (Shaw y Turne, 1992; Hartung, *et al.*, 2008; citados por Becerril-Herrera *et al.*, 2009).

##### **3.3.4.1. Aturdimiento eléctrico**

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, 1994,). El paso de corriente por el cerebro induce en el animal un estado epileptiforme, caracterizado por contracciones musculares tónicas y clónicas (Velarde *et al.*, 2000). Además de un aumento de la concentración plasmática de catecolaminas, que induce aumento de la presión sanguínea y vasoconstricción periférica (Hambrecht *et al.*, 2004). Esto beneficia a la expulsión de sangre en las vasos sanguíneos y reduce el contenido de sangre residual en el músculo (Velarde *et al.*, 2000). Cuando el aturdidor eléctrico se efectúa sólo en la cabeza, se recomienda un voltaje bajo, y su desangrado en menos de 25 segundos para evitar atentados en contra del bienestar animal. Pero si el aturdimiento en cualquier otra parte del cuerpo se utiliza con alto voltaje, el sangrado puede realizarse hasta los 180 segundos (Moreno, 2006).

Channon *et al.*, (2003) señalan que las modificaciones en los niveles de amperaje (0.9, 1.3, 2), junto con el tiempo y tipo de aturdidor, pueden afectar la incidencia de carne PSE, la aparición de petequias y una mayor exudación en la canal. En general, la aplicación de 1.3 amperes por 10 segundos con electrodos dio lugar, en promedio, a la mayor cantidad de equimosis en la carne afectando cortes primarios de la espaldilla, especialmente en la superficie de musculatura. Y en el aturdimiento eléctrico de cerdos con 0,9 amperes durante 19 segundos resulto en una menor incidencia de equimosis en la carne en comparación con cerdos en todos los demás tratamientos.

Se ha descrito que los 5 minutos 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, da lugar a un nivel de cortisol más alto en la sangre, incrementándose la presencia PSE aún en cerdos resistentes al estrés (Hambrecht *et al.*, 2004), ya que 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 las desnaturalización de proteínas, reduciendo la capacidad de retención de agua y

aumentando la palidez de la carne (Hambrecht *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2006).

Sin embargo, los niveles de cortisol aumentan en un estrés prolongado (ej., en el transporte y o en peleas) y producen carne dura, firme y seca (DFD), pero no en un estrés a corto plazo el cual se relaciona más carne PSE, no pudiéndose establecer una relación entre los niveles del cortisol y la ocurrencia de la carne de PSE (Hambrecht *et al.*, 2004).

Alarcón (2006) menciona que al aplicar un tiempo no mayor a los 4 segundos entre el insensibilizado y el desangrado, aunado al tiempo del escaldado que fue de 5 minutos, mejoró el pH y la temperatura de la carne. 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<sup>45</sup> más lenta (medido a los 45 minutos) que cuando entran al sacrificio en forma individual. Recomienda que el tiempo de insensibilizado y desangrado sea menor de 10 segundos para obtener carne de calidad.

#### **3.3.4.2. Aturdimiento con CO<sub>2</sub>**

El dióxido de carbono es un gas que al ser inhalado a altas concentraciones produce pérdida de la conciencia por depresión de la función neuronal. En este aturdimiento, los animales son metidos en una jaula e introducidos a una cámara con una concentración superior al 70% de CO<sub>2</sub>. Cuanto mayor es la concentración de CO<sub>2</sub>, más rápida es la inducción a la inconsciencia. El tiempo de exposición al CO<sub>2</sub> debe ser aquel que permita mantener al animal inconsciente hasta su muerte (Rodríguez *et al.*, 2006). Velarde *et al.* (2000) y Moreno (2006), indican que los cerdos aturdidos con CO<sub>2</sub> se recuperan en el plazo de 1 a 3 minutos después de retirarlos de la cámara de exposición, mientras que mueren si se dejan respirando el CO<sub>2</sub> por 4 a 5 minutos. Por lo tanto, el periodo de la exposición, es importante el cual debe ser en el plazo

de 60 segundos según algunas regulaciones europeas (Atkinson y Algers, 2007, citados por Becerril-Herrera *et al.*, 2009).

La ventaja de este sistema es que no requiere la sujeción de los animales y permite el aturdimiento en grupo. En el cerdo, la utilización comercial de este sistema ha aumentado básicamente por cuestiones como la seguridad del operario y la mejora en la calidad de la carne (Rodríguez *et al.*, 2006).

El aturdimiento altera la función neuronal causada por hipoxia hipercapnia y la disminución de pH en el sistema nervioso central (Velarde *et al.*, 2000). Además, el aturdimiento en la cámara del CO<sub>2</sub> aumenta el metabolismo oxidativo anaerobio, que aumenta los niveles de glucosa en la corriente sanguínea y el flujo intracelular de los disparadores de iones de K<sup>+</sup> en los iones hidrogenados, causando acidosis metabólica (Becerril-Herrera *et al.*, 2009). La exposición al CO<sub>2</sub> estimula la tasa respiratoria y puede llevar a la señal de socorro respiratoria (Raj y Gregory, 1995).

### **3.4. Procesamiento de la carne de cerdo**

#### **3.4.1. Definición de matanza**

La conversión de los cerdos de animales de abasto, en carne para el consumo humano, comprende básicamente dos tipos de operaciones: la matanza y el faenado. Se entiende por matanza a la insensibilización y muerte de los animales a través del degüelle. El faenado comprende, de acuerdo con la NOM-194-SSA-2004, a la etapa posterior al sacrificio de los animales para abasto y según la especie, eliminación de la cabeza, patas, piel, cerdas, plumas y vísceras así como la limpieza de la canal, vísceras y cabeza. También incluye la división de la canal longitudinalmente a lo largo de la línea media (esquinado) (Mota *et al.*, 2005).

### **3.4.2. Etapas del proceso de matanza**

Las operaciones del proceso de matanza más importantes comprenden el insensibilizado, el izado, el desangrado, el escaldado, el depilado, el eviscerado, el esquinado y la refrigeración. A continuación se da una breve definición de cada una de ellas, y después en el punto 3.4.3 se muestra el flujograma del sacrificio.

#### **3.4.2.1. Insensibilizado**

Como se mencionó previamente, el insensibilizado o aturdimiento es un proceso que se realiza para provocar la inconsciencia de los animales antes de ser sacrificados por el degüelle, éste disminuye los movimientos y facilita el desangrado (Prädler *et al.*, 1994; Mota *et al.*, 2005).

#### **3.4.2.2. Izado**

Es la elevación del animal en el riel de trabajo, dado que por cuestiones sanitarias no es recomendable que esté en contacto con el piso. Se realiza en una de las patas del animal, colocando un gancho con cadena que cuelga del riel de trabajo (Prädler *et al.*, 1994; Mota *et al.*, 2005).

#### **3.4.2.3. Desangrado**

El desangrado es un conjunto de operaciones que provocan la salida de la sangre y la muerte definitiva del animal cortando los grandes vasos del cuello. En

el cerdo se realiza por corte de las arterias carótidas y venas yugulares, o bien de la vena cava anterior (Prädl *et al.*, 1994; Mota *et al.*, 2005).

#### **3.4.2.4. Escaldado**

El escaldado consiste en someter a los animales a un calentamiento húmedo (60 a 65°C), aunque puede variar de (50 a 70° C), con lo cual se afloja la capa externa de la piel (epidermis) y los pelos para favorecer el posterior depilado. El tiempo de escaldado en la caldera es en promedio de 5 a 6 minutos (Prädl *et al.*, 1994; Mota *et al.*, 2005; Alarcón y Duarte, 2006).

Sin embargo, la remoción inmediata de la piel ayuda a la pérdida de calor y se obtienen mayores beneficios en la calidad de la carne. La rapidez de la línea de sacrificio es de vital importancia para evitar que el proceso bioquímico del descenso de pH esté acompañado de una temperatura alta, recomendándose que el tiempo transcurrido desde la insensibilización hasta la introducción a las cámaras de enfriamiento, sea de 25 a 40 minutos (Álvarez y Torre, 1997; citados por Alarcón y Duarte, 2006).

#### **3.4.2.5. Depilado**

Consiste en eliminar todas las cerdas del cuerpo de animal con la finalidad de ofrecer una buena presentación al cuero, patas y cabeza, que serán empleados en la elaboración de productos procesados para su venta. Se utilizan depiladores de campana, cuchillos con buen filo e incluso las manos para la extracción de cerdas largas. Otro sistema de depilado puede ser el chamuscado, que tiene como desventaja de que el calor seco demasiado fuerte endurece la piel y proporciona un color amarillo a ésta, pero elimina las cerdas en lugares poco accesibles (Mota *et al.*, 2005).



#### 3.4.2.6. *Eviscerado*

Con la apertura del vientre, comienza el proceso de evisceración o extracción de las vísceras rojas (corazón, riñones, pulmones, médulas, tráqueas y estómagos en el caso del cerdo) y verdes (intestinos) de la cavidad torácica y abdominal (Mota *et al.*, 2005).

#### 3.4.2.7. *Esquinado*

Es la división de la canal en dos mitades y se lleva a cabo con una segueta manual o eléctrica, dividiendo la columna vertebral en su parte central y a lo largo de la canal, con la finalidad de facilitar la obtención de cortes primarios para su comercialización (Mota *et al.*, 2005).

#### 3.4.2.8. *Refrigeración*

Es conveniente reducir la temperatura muscular después de la muerte tan rápidamente como sea posible, para minimizar la desnaturalización proteica que ocurre en este periodo, inhibir el crecimiento microbiano y reducir la presencia de carne PSE. Los sistemas de enfriamiento rápido consisten en cuartos o túneles que combinan temperaturas bajas con velocidades altas de aire para disminuir la temperatura de la canal (Prädl *et al.*, 1994)

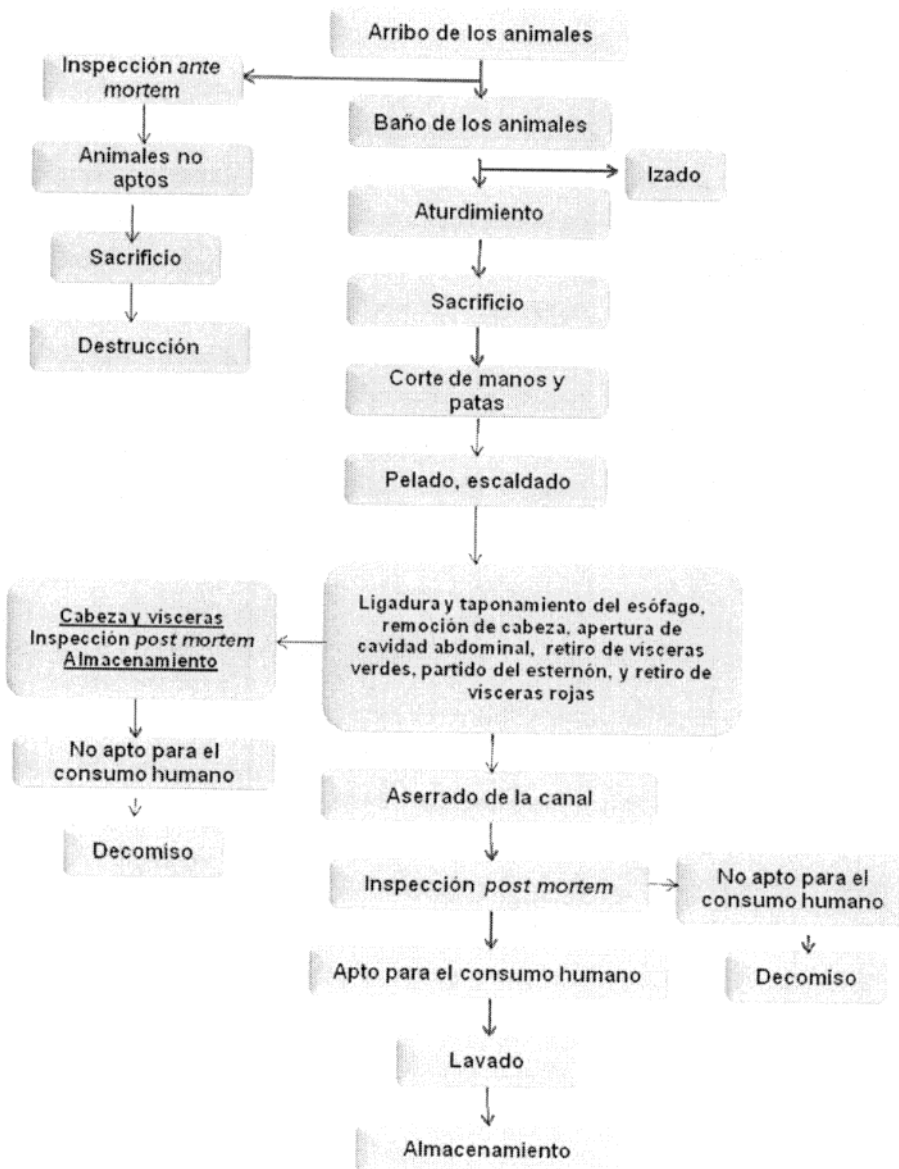
El enfriamiento rápido se consigue al inducir un choque térmico en un túnel frío que sea capaz de bajar 6 o 7°C la temperatura de la canal, en 90 a 100 minutos. Para lograrlo, las canales se introducen al túnel a más tardar 30 minutos *post-mortem* a una temperatura de -12 a -32°C. Sin embargo, cuando el proceso de instauración del *rigor mortis* se ha iniciado a los 20 o 30 minutos *post-mortem*,

el frío no tiene efecto benéfico, sólo mejora el aspecto externo en algún grado (Prädl *et al.*, 1994; Prince *et al.*, 1994).

Después de la congelación puede haber mayor desnaturalización de las proteínas y una menor solubilidad de las proteínas en carne PSE comparada con carne normal alterando las estructuras y las interacciones entre las proteínas y los protones del agua, esto modifica el pH la carne (Bertram *et al.*, 2007).

Si bien es cierto que las prácticas de manejo son responsables del 10 al 15% de la variación de PSE, en la realidad, las prácticas de enfriamiento son responsables del 20 al 40% del problema. La ventaja del enfriado rápido radica en una disminución lenta del pH, lo que puede reducir la incidencia de carne PSE (Velazco, 2001); aunque los procedimientos más rápidos de enfriado no prevendrán el PSE porque en casos severos el daño ya ha ocurrido antes de que las canales entren en el refrigerador (Prädl *et al.*, 1994).

### 3.4.3. Flujograma de las etapas del sacrificio o proceso de sacrificio



### **3.5. Calidad de la carne**

#### **3.5.1. Definición de calidad**

Chorné (1996), define a la calidad de la carne fresca de cerdo, como la combinación de factores que proveen un producto comestible, nutritivo y saludable después de su proceso y almacenamiento; en condiciones de proceso debe ser atractivo en apariencia, apetitoso y palatable después del cocimiento. Además, la calidad debe ser consistente. El valor nutritivo es básico para la calidad de la carne de cerdo.

Abascal (1998), menciona que la calidad de la carne en el porcino está determinada por un conjunto de factores muy diversos, entre los cuales cita la conformación corporal del cerdo, que se refiere al rendimiento en canal, y las características de la carne y grasa producidas, expresadas en su consistencia, color, olor y sabor. Finalmente se menciona el valor nutritivo de los productos obtenidos.

La calidad comestible es la sensación física y estética causada por la carne en el transcurso de la masticación (Preston y Willis, 1986; citado por Mota *et al.*, 2005), es decir, carne sin defectos que cumplan las especificaciones y que reúna o supere las expectativas del consumidor o del importador (Mota *et al.*, 2005).

La calidad de las carnes porcinas incluye como mínimo características como la raza del animal, tipo de alimentación al que se ha sometido y del tratamiento sufrido antes y durante la faena. Estas tres características influyen en fenómenos bioquímicos que se producen después de la muerte. Entre ellos, la glicólisis (con consecuencias sobre el contenido de agua y capacidad de retención hídrica de la carne de cerdo), el pH final, la dureza, el color y la capacidad de

absorción de sal (Varnam y Sutherland, 1998). En estudios de paneles de degustación se indica que los músculos PSE tienen una reducción mayor durante el cocinado, son más secos y con menos sabor (Kauffman *et al.*, 1978).

### 3.5.2. PSE

La carne PSE (pale, soft y exudative), es causada por una combinación de factores que estresan al animal y causan un rápido declive en el pH inicial (Grandin, 1997), lo que incide directamente en el color, textura y la capacidad de retención de agua (CRA) (Velazco, 2001; Silva *et al.*, 2005).

La carne PSE se caracteriza por ser un defecto causado por una miopatía exudativa y despigmentante, o bien como una degeneración muscular (Briskey y Wismer-Pedersen, 1961 citados por Alarcón y Duarte 2006) en respuesta a una alta tasa de acidificación en el músculo rápidamente después de la muerte del animal (Guàrdia *et al.*, 2004). En cerdos, esto ha sido bien establecido, observándose una rápida acumulación de ácido láctico por una rápida glucólisis *post-mortem* (Prädl *et al.*, 1994; Warris, 2000). En los músculos que se convierten en carne PSE, la caída del pH es mucho más rápida que en el músculo normal, a 37°C. Y es comúnmente definida cuando alcanza un pH a los 45 minutos *post-mortem* <6. Sin embargo, en algunos países, particularmente donde la prevalencia es alta, este criterio es más estricto, por ejemplo, puede ser usado un pH <5.8 (Warris, 2000); ver Cuadro 1.

**Cuadro 1:** Valores típicos límites de pH en el músculo PSE y normal de cerdo en *Longissimus dorsi*.

	PSE	Normal
pH <sub>45</sub>	<6.0	6.4
pH <sub>u</sub>	5.3	5.5

\* pH<sub>45</sub>: medido a los 45 minutos *post-mortem*; pH<sub>u</sub>: medido a las 24 horas *post-mortem* (Warris, 2000).

La combinación de un pH bajo y una temperatura alta, causan desnaturalización de algunas proteínas musculares y una reducción en la cantidad de agua de estas fibras (Castrillón *et al.*, 2007). La contracción de los componentes miofibrilares, da como resultado una salida de fluido al espacio extracelular (entre las fibras musculares) (Warris, 2000). De acuerdo a la apreciación visual y física, la superficie de la carne PSE se observa suave, húmeda, pálida, con abundante exudado y a la cocción resulta fibrosa y seca (Prädl *et al.*, 1994).

Por lo tanto la calidad de la carne porcina es un aspecto de gran importancia, ya que el bienestar de los cerdos asegura una mejor calidad y un mayor beneficio económico para la producción y no solo como un deber ético de los productores y de toda la cadena productiva (Silva *et al.*, 2005)

### 3.6. Factores *post-mortem*

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 y la rapidez con que descienda la temperatura de la canal caliente.

### **3.6.1. Transformaciones enzimáticas del músculo PSE**

En la calidad de la carne porcina se incluye características mínimas como la raza del animal y proceso sufrido antes y durante la faena. Estos factores incluyen fenómenos bioquímicos que se producen después de la muerte, entre ellos, la glucólisis y el pH final. (Prädl *et al.*, 1994; Prince *et al.*, 1994; Varnam y Sutherland, 1998). Lawrie (1977) considera que la susceptibilidad al estrés es uno de los factores que afecta el estatus de la reserva de glucógeno muscular.

Una de las principales vías metabólicas en la conversión de músculo a carne es la glucólisis en el tejido vivo la cual genera ATP. En el músculo *post-mortem*, el tejido intenta mantener la homeostasis preservando la concentración de ATP celular, pero debido a la falla circulatoria después del desangrado, el músculo carece de oxígeno requerido para el metabolismo oxidativo. Posteriormente, el glucógeno muscular es metabolizado vía glucólisis anaerobia, para la fosforilación de ADP a ATP (Prädl *et al.*, 1994; Warris, 2000). Los cambios químicos que ocurren después de la muerte, es decir durante el desarrollo del rigor, incluyen un descenso en el pH, en la concentración de ATP y en el Creatín fosfato (CP). El creatín fosfato cae con rapidez inmediatamente después de la muerte, y el pH sigue el mismo curso. Las concentraciones de ATP se mantienen constantes hasta que el CP alcanzan un nivel bajo (Pearson, 1994).

Sin embargo la glucólisis anaerobia es ineficiente en comparación a la aeróbica para la generación de ATP (Warris, 2000; Prädl *et al.*, 1994). Por lo tanto este continuo metabolismo *post-mortem* disminuye los niveles de glucógeno y ATP haciendo que se acumule ácido láctico y disminuyendo el pH muscular. Este proceso resulta en una total disminución del pH final que va de 5.4 a 5.7 a las 24 horas, generalmente observado en el músculo *Longissimus* del cerdo (Prädl *et al.*, 1994; Bowker *et al.*, 2000; Warris, 2000).

Histológicamente en la sección longitudinal del músculo se observa una distribución alterna de fibras fuertemente contraídas, junto con otras adyacentes pasivamente retorcidas, así como la existencia de bandas irregularmente esparcidas, que penetran en la profundidad de la fibra y parecen hallarse formadas por proteína sarcoplasmática desnaturalizada, que contiene creatinina quinasa, y que se ha precipitado sobre las miofibrillas reduciendo la solubilidad de las últimas (Lawrie, 1977). En un pH bajo, se observa 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 (Klont *et al.*, 1993).



#### IV. PROBLEMÁTICA A RESOLVER

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 la transferencia de los animales al rastro hasta la distribución de los productos finales (Alarcón *et al.*, 2006). 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 *ante-mortem* 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 debido al transporte, dado que la carne de los animales sacrificados en estado de agotamiento es más susceptible de descomponerse y sufrir pérdidas considerables de peso.

La evaluación y seguimiento del manejo *ante-mortem* en dos tipos de rastros, 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) y en un rastro municipal. También, estas mediciones nos permitirán conocer de manera integral y objetiva, el buen o mal desempeño del equipo y trabajadores en la plantas objeto de estudio.

## V. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuál es el comportamiento de los gases sanguíneos, variables metabólicas y del equilibrio ácido base en respuesta a la duración del tiempo de transporte en cerdos que arriban al establecimiento de matanza?
- ¿La aplicación de una auditoria en comportamiento animal, permitirá conocer el estado de bienestar de los cerdos previo a la matanza en los dos tipos de rastro?
- ¿Cuál es el efecto del método de aturdimiento en cerdos sacrificados en dos tipos de rastro (TIF y no TIF) en el bienestar animal y la incidencia de canales pálidas, suaves y exudativas (PSE)?

## VI. HIPÓTESIS

- Las alteraciones en las concentraciones de los gases sanguíneos serán más marcadas o críticas en los cerdos transportados por largos periodos.
- El bienestar de los animales previo al sacrificio, es mayor en las plantas TIF, en comparación con las plantas no TIF.
- Las alteraciones del perfil fisio-metabólico serán más marcadas en cerdos sacrificados en rastros no TIF vs. TIF.
- Las alteraciones fisio-metabólicas *ante-mortem*, en cerdos sacrificados en rastros no TIF repercutirán en una mayor incidencia de canales con afección PSE.

## VII. OBJETIVO GENERAL

Valorar los indicadores de bienestar animal por efecto de la duración del transporte, manejo de los animales durante el desembarque y método de aturdimiento, en cerdos sacrificados en diferentes rastros y su efecto en la bioquímica de la carne y comprende en tres etapas (Diagrama 2)

### 7.1. *Objetivos particulares*

- Evaluar el efecto del transporte en las variables críticas sanguíneas *ante-mortem* inmediatamente después del desembarque.
- Auditar los indicadores de bienestar animal, durante el desembarque de los cerdos al rastro.
- Evaluar el efecto del método de aturdimiento en los cerdos sacrificados en los dos tipos de rastros, según las prácticas rutinarias de cada rastro.
- Valorar el comportamiento del pH, temperatura y color de la canal caliente porcina e identificar la incidencia de las canales PSE.

## VIII. MATERIAL Y MÉTODOS

### 8.1. Localización

La presente investigación se realizó en las instalaciones de dos tipos de rastro, dos establecimientos TIF (Tipo Inspección Federal) y uno tipo No TIF ubicados en la región central de la República Mexicana. El estudio se realizó en el verano del 2009, y comprendió en tres etapas (Diagrama 1).

### 8.2. Primera etapa. Efecto de la duración del transporte

Se estudiaron 634 cerdos al arribo al rastro, los cuales tuvieron diferentes periodos de traslado. Los cerdos se dividieron entonces en 3 grupos con diferentes tiempos de transporte: Grupo 1 ( $G_1$ ) con 253 cerdos que fueron transportados por 6 horas, Grupo 2 ( $G_2$ ) con 212 cerdos transportados por 12 horas y Grupo 3 ( $G_3$ ) con 160 cerdos transportados por 24 horas; la velocidad promedio del traslado fue de 45km/h.

Una vez que los cerdos descendieron del camión y antes de trasladarlos a sus corrales de descanso, fueron muestreados para valorar el efecto de la duración del transporte. Al siguiente día los cerdos fueron sacrificados según la rutina de cada rastro.

Para los datos de referencia se tomaron muestras sanguíneas de forma aleatoria a 221 cerdos finalizados con aproximadamente 155 días de edad. Estas muestras se tomaron en el corral de engorda un día previo a salir de la granja para ser transportados al establecimiento de matanza, para su posterior análisis. En este muestreo de referencia, los cerdos tenían un espacio vital de 1m<sup>2</sup>/cerdo, además de proporcionarles agua y alimento a libre acceso.

### **8.3. Segunda etapa. Auditoria del bienestar animal: Observaciones ante-mortem.**

**Auditoria de los indicadores de bienestar animal:** en esta etapa de experimentación se evaluó la postura de los cerdos al arribo, así como los indicadores de bienestar animal durante el descenso del transporte y etapa de reposo.

- **Las posturas de los cerdos al arribo evaluada fueron:**
  - *Número de cerdos parados:* Se contabilizó el número de cerdos que se encontraban de pie sobre sus cuatro extremidades.
  - *Número de cerdos sentados:* Se contabilizó el número de cerdos que se encontraban apoyados sobre sus nalgas o jamones (*bíceps femoris* y *semitendinoso*)
  - *Número de cerdos echados:* se contabilizó el número de cerdos que se encontraban en cúbito lateral.
- **Lesiones**
  - *Número de cerdos fracturados:* se registró a los cerdos que presentaron pérdida de la continuidad ósea de tercer grado en alguna de las extremidades anteriores o posteriores.
  - *Número de cerdos con lesiones cutáneas:* Se registró el número de cerdos que presentaron lesiones cutáneas evidentes, en cualquier área corporal.
  - *Número de cerdos prolapsados:* Se contabilizó el número de cerdos con prolapso rectal.
- **Los indicadores de bienestar evaluados durante el desembarque y arreo al área de descanso son:**
  - *Número de veces que se utilizó el arreador eléctrico:* se evaluó el número de veces en las que se utilizó el arreador eléctrico para obligar a los cerdos a caminar.

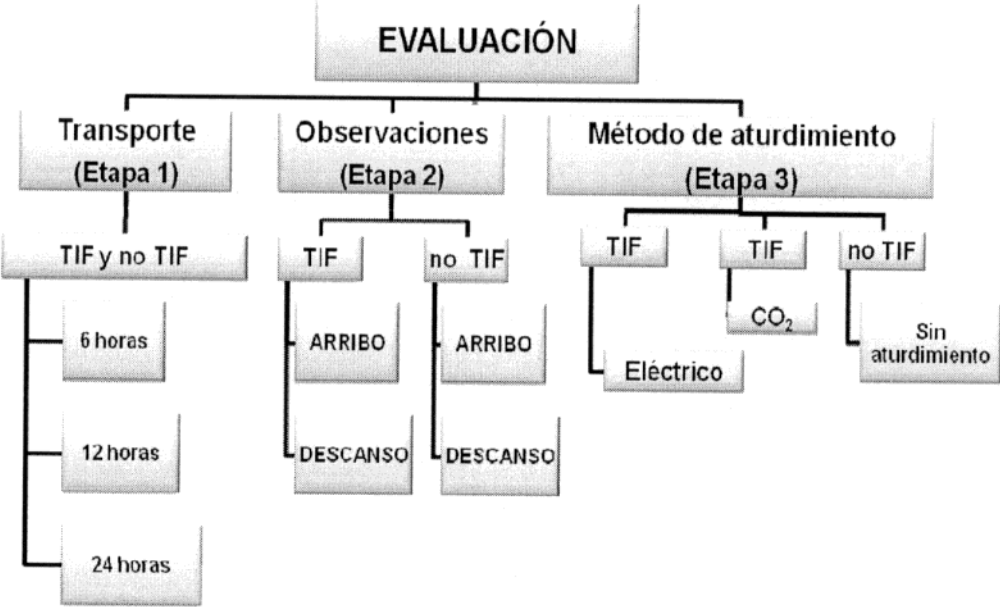
- *Número de gritos*: se registró el número de gritos emitidos por el personal del rastro.
- *Número de golpes*: se contabilizó el número de golpes emitidos por el personal hacia los cerdos.
- *Número de patadas*: se contabilizó el número de patadas emitidas por el personal.
- *Número de vocalizaciones*: se registró el número de chillidos emitidos por los cerdos.
- *Número de caídas*: se contabilizó el número de caídas de los cerdos.
- *Duración del arreo del transporte al área de descanso (min)*: se registró la duración de tiempo que tardaron en llevar a los cerdos arribados al área de descanso.
- *Duración del arreo del área de descanso al aturdimiento o degüelle (min)*: se registró la duración de tiempo que tardaron en llevar a los cerdos del área de descanso al aturdimiento o degüelle.

#### **8.4. Tercera etapa. Método de Aturdimiento**

Cada establecimiento de sacrificio cuenta con diferentes métodos de aturdimiento. Para este estudio se evaluaron 140 cerdos en el establecimiento 1 (R<sub>1</sub>) los cuales fueron sacrificados sin ningún método de aturdimiento. En el segundo rastro (R<sub>2</sub>) se muestrearon 185 cerdos, que se aturdieron por medio de electrocución, el cual se aplicó en la cabeza con un inmovilizador o "restrainer" a través de una corriente de 250 mA con un voltaje de 400V por 2 segundos. Y en el tercer rastro (R<sub>3</sub>), se muestrearon 195 cerdos que se aturdieron en una cámara de CO<sub>2</sub> con una concentración de 70% de CO<sub>2</sub> atmosférico durante 60 segundos en un sistema de embarcadero de inmersión. Posteriormente fueron sacrificados siguiendo los procedimientos de cada establecimiento.

Se tomaron muestras sanguíneas en dos periodos diferentes, al arribo al rastro (634 cerdos) y al momento del sacrificio (520 cerdos), para evaluar las alteraciones del perfil fisiometabólico de los animales ocasionados por el transporte y de acuerdo al método de aturdimiento método de aturdimiento, además de realizar mediciones de temperatura, pH y color, en canal caliente para evaluar la presencia de canales PSE.

Diagrama 1: Etapas de evaluación y medición.





### **8.5. Mediciones ante-mortem**

**Temperatura corporal:** se midió la temperatura corporal por individuo al momento del arribo, usando un del termómetro ótico *ThermoScan Braun*.

**Toma de muestras:** Inmediatamente a su llegada al establecimiento de sacrificio, se les tomó una muestra sanguínea de vena yugular en un periodo menor a 30 seg desde la sujeción del cerdo, utilizando jeringas heparinizadas (0.1ml de heparina) de 3ml con agujas de 22Gx34mm para su inmediato análisis antes de ser colocados en los corrales de descanso, donde eran alojados en grupos de aproximadamente 50 animales por corral, sin separación de sexos, según la rutina de los establecimientos.

**Medición del perfil energético, desequilibrio ácido básico y gasometría sanguínea:** se realizó por medio de un equipo de gasometría de tercera generación, *GEM Premier 3000 de Instrumentation Laboratory Diagnostics, USA-Italy*, el cual permite medir simultáneamente pCO<sub>2</sub> (mmHg), pO<sub>2</sub> (mmHg), Na<sup>2+</sup> (mmol/L) K<sup>++</sup> (mmol/L) Ca<sup>++</sup> (mmol/L), lactato (mg/dL), glucosa (mg/dL), hematocrito (%) y pH sanguíneo.

### **8.6. Mediciones post-mortem**

**Temperatura corporal:** se midió la temperatura corporal por individuo al momento de la exanguinación, con un del termómetro ótico descrito anteriormente.

**Toma de muestras:** las muestras se colectaron durante los primeros 10 seg del sangrado en tubos capilares especiales para gasometría que contiene heparina de litio para su inmediato análisis.

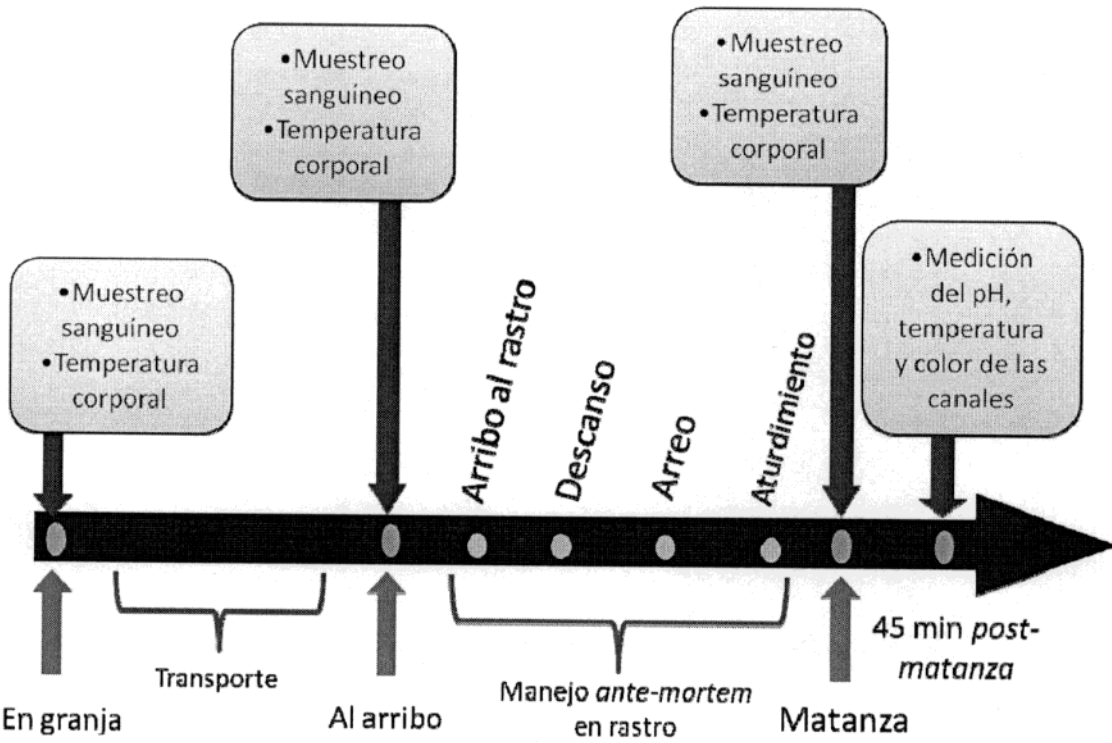
**Medición del perfil energético, desequilibrio ácido básico y gasometría sanguínea:** al igual que las muestras tomadas al arribo, se analizaron por medio de un equipo de gasometría ya descrito.

**Mediciones canal caliente:** finalmente cuando se realizó el izado de la canal, se registrarón la temperatura y el pH del músculo *Longissimus dorsi* a la altura de la decima y onceava costilla, a los 45 minutos *post-mortem* utilizando un potenciómetro *Hanna Instruments (Penetration pH electrode, HI8314, membrana pHmeter, 115V/60Hz. Cod. 1.1176)*.

La medición del color del músculo *Longissimus dorsi* se realizó en la canal caliente y fría, por medio 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. El blanco será una tarjeta con los siguientes valores de referencia L= 97.38, a=0.17 y b=1.94. La evaluación del color se realizó con la pistola a una distancia de 2 cm de la carne.

**Diagrama 2:** Medición del perfil energético, desequilibrio ácido-base y gasometría sanguínea.



## 8.7. Análisis estadísticos

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante un diseño completamente al azar, cuyo modelo es el siguiente:

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

$i = 1, 2 \dots$ tratamiento

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

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta

$\mu$  = Media general

$\tau_i$  = Efecto del tratamiento

$\xi_{ij}$  = Error aleatorio

Los resultados se analizaron según el modelo propuesto y mediante los siguientes procedimientos:

- Para determinar la existencia de diferencias estadísticas en las medias de los tratamientos de las variables evaluadas se utilizó la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ ).
- Las observaciones conductuales se analizaron con una prueba de Kruskal-Wallis y se expresan como número (porcentaje).
- La variable pH se analizó estadísticamente utilizando una prueba de Kruskal-Wallis, aunado a que se representaron como mediana  $\pm$  rangos.
- Análisis de regresión lineal para cada uno de los tiempos de transporte y métodos de aturdimiento evaluados

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

## IX. RESULTADOS

### 9.1. *Valoración de las variables críticas sanguíneas por efecto del transporte*

Los resultados de las variables críticas sanguíneas de cerdos al momento del arribo para su matanza se muestran en el Cuadro 2; donde se observan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en la duración de los diferentes tiempos de transporte (basales= 0h,  $G_1=5-6$  h,  $G_2=10-12$  h,  $G_3=$  más de 24 h). Los animales que se transportaron por tiempos cortos ( $G_1= 5-6$ h) presentaron valores más bajos en pH ( $7.37 \pm 0.63$ ),  $pO_2$  ( $24.92 \pm 0.53$ ),  $K^+$  ( $5.21 \pm 0.04$ ), y los más altos en glucosa ( $99.87 \pm 1.00$ ) y lactato ( $62.24 \pm 1.54$ ); siendo estadísticamente diferentes a los demás tiempos de transporte. Un comportamiento similar se presenta en los cerdos transportados por tiempos medios ( $G_2=10-12$  h), en donde se observan los valores más bajos en  $pCO_2$  ( $36.26 \pm 0.52$ ) y los más elevados en  $Na^+$  ( $148.64 \pm 0.2$ ). En cuanto a los animales transportados por tiempos largos ( $G_3=$  más de 24 h) es importante mencionar el proceso de hipotermia ( $37.93 \pm 0.06$ ), así como el incremento en el porcentaje de hematocrito ( $45.93 \pm 0.49$ ).

De manera general, se muestra que el tiempo de transporte promediado entre los  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$ , y comparado con los niveles basales, presentan diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el pH (7.45 vs. 7.41), además se aprecia hipocapnia (58.16 vs. 40.31), hipoxia (32.05 vs. 26.45), hipernatremia (141.59 vs. 147.03), hipokalemia (5.43 vs. 5.26), hiperglucemia (76.99 vs. 88.52), hiperlactatemia (33.37 vs. 52.70) e incremento en el porcentaje de hematocrito (30.31 vs. 43.54), en comparación con los valores de referencia.

**Cuadro 2:** Media y error estándar del metabolismo energético, equilibrio ácido-base y gases sanguíneos al momento del arribo para su sacrificio en diferentes duraciones del transporte.

Variables	Basales	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>
	0 h n = 221	5-6 h n = 253	10-12 h n = 212	>24 h n = 160
	Media ± EE	Media ± EE	Media ± EE	Media ± EE
Temperatura (°C)	38.37±0.31 <sup>b</sup>	38.47±0.09 <sup>ab</sup>	38.72±0.05 <sup>a</sup>	37.93±0.06 <sup>c</sup>
pH*	7.45±0.42 <sup>a</sup>	7.37±0.63 <sup>c</sup>	7.41±0.54 <sup>b</sup>	7.45±0.61 <sup>a</sup>
pCO <sub>2</sub> (mmHg)	58.16±5.13 <sup>a</sup>	45.86±0.67 <sup>b</sup>	36.26±0.52 <sup>d</sup>	38.8±0.45 <sup>c</sup>
pO <sub>2</sub> (mmHg)	32.05±7.53 <sup>a</sup>	24.92±0.53 <sup>c</sup>	29.43±0.59 <sup>b</sup>	25.04±0.47 <sup>c</sup>
Na <sup>+</sup> (mmol/L)	141.59±2.18 <sup>c</sup>	148.19±0.30 <sup>a</sup>	148.64±0.25 <sup>a</sup>	144.27±0.38 <sup>b</sup>
K <sup>+</sup> (mmol/L)	5.43±0.42 <sup>a</sup>	5.21±0.04 <sup>b</sup>	5.32±0.05 <sup>ab</sup>	5.24±0.04 <sup>b</sup>
Ca <sup>++</sup> (mmol/L)	1.27±0.08 <sup>a</sup>	1.38±0.01 <sup>a</sup>	1.89±0.36 <sup>a</sup>	1.25±0.005 <sup>a</sup>
Glucosa (mg/dL)	76.99±6.86 <sup>c</sup>	99.87±1.00 <sup>a</sup>	77.50±1.69 <sup>c</sup>	88.18±2.35 <sup>b</sup>
Lactato (mg/dL)	33.37±6.67 <sup>b</sup>	62.24±1.54 <sup>a</sup>	60.49±1.43 <sup>a</sup>	35.36±1.88 <sup>b</sup>
Hematocrito (%)	30.31±4.62 <sup>d</sup>	41.11±0.35 <sup>c</sup>	43.59±0.33 <sup>b</sup>	45.93±0.49 <sup>a</sup>

a, b, c, d Literales diferentes en la misma fila, señalan diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ). \*Prueba estadística utilizada Kruskal – Wallis ( $P < 0.01$ ).

En el Cuadro 3, se observan las correlaciones que hay entre las variables hemodinámicas de los cerdos que fueron transportados entre 5-6 horas de duración, se aprecia que la variable dependiente es el pCO<sub>2</sub>, y tiene una correlación positiva con el hematocrito y lactato; esto indica que a medida que el pCO<sub>2</sub> aumenta, provoca el aumento de hematocrito y de los niveles de lactato. Así mismo, se aprecia una correlación negativa de la temperatura y pH con el pCO<sub>2</sub>. En general las correlaciones fueron altamente significativas (P<.0001).

**Cuadro 3:** Variables hemodinámicas correlacionadas significativamente en 253 animales arribados del G<sub>1</sub>, transporte corto de 5-6 horas.

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal (y = b + mx)		R	Valor de F y P
		b ± EEM	m ± EEM		
pCO <sub>2</sub> (mmHg)	Hematocrito (%)	2.19±4.18	1.05±0.10	0.55	109.82; <.0001
	Temperatura (°C)	188.95±14.24	-3.71±0.37	-0.53	101.02; <.0001
	pH	263.03±40.33	-29.53±5.48	-0.32	29.00; <.0001
	Lactato (mg/dL)	38.06±1.67	0.12±0.02	0.29	23.49; <.0001

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 muestra una correlación entre las variables en cerdos transportados con 10-12 horas de duración. Al igual que el caso anterior, el pCO<sub>2</sub> se manifiesta como la variable dependiente y se correlaciona positivamente con Na<sup>+</sup> (P<.0001) y negativamente con la temperatura (P<0.001), pH (P<0.001) y hematocrito (P<0.05). Es decir mientras el pCO<sub>2</sub> aumenta, el Na<sup>+</sup> aumenta y disminuye la temperatura, el pH y el hematocrito.

**Cuadro 4:** Variables críticas sanguíneas correlacionadas significativamente en 212 animales arribados en G<sub>2</sub>, transporte medio de 10-12 horas.

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal (y = b + mx)		R	Valor de F y P
		b ± EEM	m ± EEM		
pCO <sub>2</sub> (mmHg)	Na (mmol/L)	53.92±19.72	0.60±0.13	0.30	20.62; <.0001
	Temperatura (°C)	127.39±24.23	-2.35±0.62	-0.25	14.15; 0.0002
	pH	142.53±40.29	-14.38±5.45	-0.17	6.96; 0.0090
	Hematocrito (%)	25.57±4.59	0.23±0.10	-0.16	4.87; 0.0285

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 5 se presentan las variables relacionadas con la actividad hemodinámica de los cerdos transportados con más de 24 horas de duración, donde la variable independiente es el pH y se correlaciona negativamente con  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{pCO}_2$ , lactato y glucosa.

**Cuadro 5:** Variables críticas sanguíneas correlacionadas significativamente en 160 cerdos transportados por más de 24h ( $G_3$ ).

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal ( $y = b + mx$ )		R	Valor de F y P
		$b \pm \text{EEM}$	$m \pm \text{EEM}$		
pH	$\text{Ca}^{++}$ (mmol/L)	$9.18 \pm 0.14$	$-1.39 \pm 0.11$	-0.69	146.85; <.0001
	$\text{pCO}_2$ (mmHg)	$8.03 \pm 0.05$	$-0.01 \pm 0.001$	-0.65	118.53; <.0001
	Lactato (mg/dL)	$7.56 \pm 0.01$	$-0.003 \pm 0.0003$	-0.65	116.29; <.0001
	Glucosa (mg/dL)	$7.65 \pm 0.02$	$-0.002 \pm 0.0003$	-0.55	69.23; <.0001

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).

## 9.2. Observaciones del manejo ante-mortem

En los cuadros 6 y 7, se muestran el número de cerdos con distintas posturas a su arribo al rastro, así como los indicadores de bienestar de los cerdos que arribaron a los dos tipos de rastro. Los resultados se expresan como número y porcentaje, solamente se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el porcentaje de cerdos lesionados ( $26.47 \pm 3.73\%$ ) que arribaron al rastro TIF, en comparación con los cerdos lesionados ( $2.46 \pm 0.55\%$ ) en el rastro no TIF; es decir que el porcentaje de cerdos lesionados durante el arribo en el rastro TIF fue 24.01% superior al porcentaje de cerdos heridos en el rastro no TIF. Sin embargo, en ambos casos se puede observar la ausencia de diferencias significativas en los demás indicadores del comportamiento de los cerdos arribados en ambos rastros.

**Cuadro 6:** Posiciones de llegada de los cerdos al arribo de los cerdos para sacrificio en 2 tipos de rastros.

Variables	No TIF	TIF	Valor de P
	n= 1180 Número [%]	n= 6414 Número [%]	
N° cerdos parados	82 [7.84%]	368 [5.65%]	0.2702
N° de cerdos sentados	85 [7.73%]	448 [6.86%]	0.6922
N° de cerdos echados	1013 [84.41%]	5598 [87.48%]	0.4021

Prueba estadística utilizada Kruskal – Wallis ( $P < 0.01$ ).

**Cuadro 7:** Indicadores de bienestar al arribo de los cerdos para sacrificio en 2 tipos de rastros.

Variables	No TIF	TIF	Valor de P
	n= 1180 Número [%]	n= 6414 Número [%]	
N° de cerdos fracturados	6 [0.51%]	74 [1.22%]	0.2456
N° de cerdos lesionados	28 [2.46%]	1636 [26.47%]	0.0062
N° de cerdos prolapsados	10 [0.96%]	310 [5.15%]	0.1051
N° de cerdos sin lesiones aparentes	1136 [96.27%]	4394 [68.51%]	

Prueba estadística utilizada Kruskal – Wallis ( $P < 0.01$ ).

En el Cuadro 8 se muestran los indicadores de bienestar animal durante el desembarque de cerdos en dos tipos de rastros, donde podemos apreciar que el número de veces que se utilizó el arreador eléctrico muestra una tendencia a incrementarse en un 28% en el rastro no TIF vs. TIF, a pesar de no existir una diferencia significativa ( $P>0.1916$ ). Otro indicador a destacar es el número de cerdos que se resbalan durante al desembarque. El número de caídas se redujo a la mitad en el rastro TIF respecto al no TIF ( $P>0.2131$ ).

Respecto al número de traumatismos encontrados en los cerdos durante el descenso al corral de espera, destaca que en el rastro No TIF ( $445.44\pm 85.41$ ) comparados con el rastro TIF, se incrementa 3 veces de manera significativa este indicador ( $P<0.001$ ).

Entorno a la duración del acarreo de los cerdos a su corral de espera, este indicador fue 18 minutos superior en los grupos de cerdos manejado en el rastro no TIF ( $P<0.0047$ ).

**Cuadro 8:** Media y error estándar de los indicadores de bienestar animal durante el desembarque de los cerdos para sacrificio en 2 tipos de rastros.

Variables	No TIF	TIF	Valor de P
	n= 1180	n= 6414	
	Med $\pm$ EE	Med $\pm$ EE	
N° de veces que se utilizó el arreador eléctrico	256.88 $\pm$ 92.54	186.42 $\pm$ 15.72	0.1916
N° de lesiones	445.44 $\pm$ 85.41	115.26 $\pm$ 10.96	<0.001
N° de patadas	43.55 $\pm$ 10.40	60.55 $\pm$ 3.76	0.0823
N° de gritos	138.77 $\pm$ 66.43	135.37 $\pm$ 10.60	0.9276
N° de vocalizaciones	161.11 $\pm$ 57.08	135.24 $\pm$ 8.45	0.4088
N° de caídas	83.77 $\pm$ 74.70	42.02 $\pm$ 3.63	0.2131
Duración del acarreo del transporte al área de descanso (min)	52.33 $\pm$ 9.79	37.24 $\pm$ 1.28	0.0047

Med = media y E E = error estándar de la media

Respecto a las variables referentes al comportamiento animal evaluado en los corrales de descanso, que se observan en el Cuadro 9; existen diferencias significativas en el número de gritos emitidos por el personal a los cerdos que fueron llevados del área de descanso al sacrificio. En el rastro TIF se dieron en promedio 46.2±6.94 gritos por grupo de animales acarreados en comparación con el rastro No TIF, donde apenas un grito fue registrado.

**Cuadro 9:** Media y error estándar de las observaciones del manejo *ante mortem* en el descanso de los cerdos para sacrificio en 2 tipos de rastros.

Variables	No TIF n= 722	TIF n= 671	Valor de P
	Med ± EE	Med ± EE	
Duración del descanso (min)	480.21±135.8	120.33±2.36	0.0253
N° de golpes	69.09±996	55.6±6.3	0.3058
N° de gritos	0.38±0.33	46.2±6.94	<0.001
N° de patadas	26.71±5.59	30.13±3.81	0.6463
N° de caídas	6.06±2.83	11.8±2.20	0.1399
N° de vocalizaciones	129.71± 28.39	70.6 ±10.67	0.9950
N° de veces que se utilizó el arreador eléctrico	0.04±0.04	0±0	0.4059
Duración del acarreo del área de descanso al aturdimiento	13.15±2.13	9.53±0.29	0.1554

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

### 9.3. Valoración de las variables críticas sanguíneas en la matanza

Los resultados obtenidos del comportamiento de las distintas variables críticas sanguíneas medidas en los cerdos sacrificados en los tres rastros se muestran en el Cuadro 10, donde los valores se expresan como media y error estándar. En este cuadro se aprecian diferencias significativas en todas las variables, así como un efecto significativo ( $P < 0.05$ ) del método de aturdimiento en comparación con los valores basales y entre los grupos de cerdos de los rastros  $R_2$  y  $R_3$ .

Los animales que se sacrificaron sin ningún método de aturdimiento ( $R_1$ ) presentan acidosis, hipocapnia, hiperoxia, hipernatremia, hiperpotasemia, hiperglucemia, hiperlactemia y un porcentaje de hematocrito elevado cuando se comparan con los valores basales. En el método de aturdimiento con electronarcosis ( $R_2$ ) se muestra hipoxemia, hipercalemia, hiperpotasemia, hipernatremia, hiperglucemia, hiperlactatemia y el porcentaje de hematocrito incrementado. En el grupo de cerdos aturridos con  $CO_2$  ( $R_3$ ) se observa hipotermia, acidosis, hipercapnia, hiperpotasemia, hiperglucemia hipercalemia, hiperlactatemia y el porcentaje de hematocrito alto.

Al comparar las variables sanguíneas entre cerdos de los 3 diferentes rastros, destaca una marcada hiperlactatemia ( $110.37 \pm 2.72$  mg/dL) en los cerdos del  $R_1$ ; sin embargo, la  $pCO_2$  disminuye, y el pH sanguíneo aunque desciende se mantiene estable en 7.3.

Del mismo modo se observa hipoxia ( $26.72 \pm 0.54$ ) en los animales aturridos por electronarcosis  $R_2$ . Cuando se contrastan las variables en los cerdos de  $R_2$  y  $R_3$ , destaca un descenso brusco del pH en el método de  $CO_2$  hasta 7.12 y un incremento de hasta 43.9 mm/Hg en la  $pCO_2$ , respecto a los cerdos aturridos por electronarcosis  $R_2$ . En la variable  $K^+$  también se aprecia un incremento significativo de 5 mmol/L cuando se compara  $R_2$  con  $R_3$  ( $P < 0.001$ ). Por otro lado es notoria la hiperglucemia (en el grupo de cerdos aturridos con  $CO_2$  ( $R_3$ ) y la hipoxia que presentaron los cerdos aturridos por electronarcosis.

**Cuadro 10:** Media y error estándar del metabolismo energético, equilibrio ácido base y gases sanguíneos durante el desangrado de cerdos aturdidos por dos métodos y sin aturdimiento.

Variables	Niveles basales n=221	R <sub>1</sub> Sin aturdimiento n=140	R <sub>2</sub> Aturdimiento eléctrico n=185	R <sub>3</sub> Aturdimiento con CO <sub>2</sub> n=195
	Media ± EE	Media ± EE	Media ± EE	Media ± EE
Temperatura (°C)	38.37 ± 0.02 <sup>ab</sup>	38.48 ± 0.09 <sup>a</sup>	38.09 ± 0.12 <sup>bc</sup>	37.91 ± 0.10 <sup>c</sup>
*pH	7.45 ± 0.42 <sup>a</sup>	7.30 ± 0.57 <sup>b</sup>	7.29 ± 0.79 <sup>b</sup>	7.12 ± 0.77 <sup>c</sup>
PCO <sub>2</sub> (mmHg)	58.16 ± 0.34 <sup>b</sup>	42.98 ± 0.98 <sup>d</sup>	53.70 ± 0.74 <sup>c</sup>	97.65 ± 0.95 <sup>a</sup>
pO <sub>2</sub> (mm Hg)	32.05 ± 0.51 <sup>b</sup>	36.66 ± 1.28 <sup>a</sup>	26.73 ± 0.51 <sup>c</sup>	28.39 ± 0.66 <sup>c</sup>
Na <sup>+</sup> (mmol/L)	141.59 ± 0.14 <sup>b</sup>	146.75 ± 0.40 <sup>a</sup>	145.82 ± 0.34 <sup>a</sup>	141.46 ± 0.76 <sup>b</sup>
K <sup>+</sup> (mmol/L)	5.43 ± 0.02 <sup>d</sup>	6.02 ± 0.10 <sup>c</sup>	9.00 ± 0.19 <sup>b</sup>	13.68 ± 0.19 <sup>a</sup>
Ca <sup>++</sup> (mmol/L)	1.26 ± 0.005 <sup>b</sup>	1.34 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.36 ± 0.01 <sup>a</sup>	1.36 ± 0.01 <sup>a</sup>
Glucosa (mg/dL)	76.99 ± 0.46 <sup>d</sup>	119.93 ± 3.43 <sup>b</sup>	108.43 ± 3.56 <sup>c</sup>	148.46 ± 3.38 <sup>a</sup>
Lactato (mg/dL)	33.36 ± 0.45 <sup>d</sup>	110.37 ± 2.72 <sup>a</sup>	63.58 ± 2.43 <sup>c</sup>	78.55 ± 2.31 <sup>b</sup>
Hematocrito (%)	30.30 ± 0.31 <sup>d</sup>	45.87 ± 0.52 <sup>c</sup>	47.88 ± 0.37 <sup>b</sup>	50.62 ± 0.37 <sup>a</sup>

a,b,c,d Literales diferentes en la misma fila, señalan diferencia significativa (P≤0.01). \*Analizada con Kruskal – Wallis (P<0.01) y expresada como media± rango.

En el Cuadro 11, se observan las correlaciones que hay entre las variables críticas sanguíneas de los cerdos que fueron sacrificados sin ningún método de aturdimiento, estas se analizaron por medio de una regresión lineal, y se aprecia que la variable dependiente es el lactato, que tiene una correlación positiva con el Na<sup>+</sup>, glucosa y K<sup>+</sup>. Esto indica que a medida que el lactato aumenta, provoca modificaciones con el equilibrio mineral, alterando las concentraciones de Na<sup>+</sup>, glucosa y K<sup>+</sup> que también aumentan. Así mismo, se aprecia una correlación negativa entre el lactato y el pH. Esto indica que a medida que el lactato aumenta, el pH tiende a descender.

**Cuadro 11:** Variables críticas sanguíneas correlacionadas significativamente en 140 cerdos sacrificados por corte de los grandes vasos cervicales sin previo aturdimiento.

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal ( $y = b + mx$ )			Valor de F y P
		$b \pm EE$	$m \pm EE$	R	
Lactato (mg/dL)	Na <sup>+</sup> (mmol/L)	-620.50±99.68	4.94±0.67	0.60	52.97; <.0001
	Glucosa (mg/dL)	78.77±8.03	0.26±0.06	0.34	17.23; <.0001
	pH	501.12±105.43	-	-0.31	13.74; 0.0003
K <sup>+</sup> (mmol/kg)			53.74±14.49		
		65.84±13.13	7.38±2.13	0.29	11.98; 0.0007

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 (EE).

En el Cuadro 12 se muestra una correlación entre las variables en cerdos aturridos eléctricamente, en este caso, el hematocrito se manifiesta como la variable dependiente y se correlaciona negativamente con Na<sup>+</sup>, glucosa, K<sup>+</sup> y pH, de manera que mientras el hematocrito aumenta, el Na<sup>+</sup>, la glucosa, el K<sup>+</sup> y el pH disminuyen.

**Cuadro 12:** Variables críticas sanguíneas correlacionadas significativamente en 185 cerdos aturridos eléctricamente

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal ( $y = b + mx$ )			R	Valor de F y P
		$b \pm EE$	$m \pm EE$			
Hematocrito (%)	pH	108.41±17.33	-8.30±2.37	-0.25	12.20; 0.0006	
	Lactato (mg/dL)	49.70±0.81	-0.02±0.01	-0.18	6.37; 0.0125	
	Na <sup>+</sup> (mmol/L)	75.36±11.65	-0.18±0.07	-0.17	5.56; 0.0194	
	Glucosa (mg/dL)	49.59±0.92	-0.01±0.007	-0.14	4.07; 0.0450	

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 13 se presentan las variables relacionadas con la actividad de las variables críticas sanguíneas de cerdos aturdidos en cámaras de CO<sub>2</sub>, aquí la variable dependiente es pO<sub>2</sub> y se correlaciona negativamente con pCO<sub>2</sub>, Ca<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup>, pero positivamente con el lactato. Por lo tanto, mientras pO<sub>2</sub> aumenta el lactato también aumenta, pero de forma contraria el pCO<sub>2</sub>, el Ca<sup>2+</sup> y el K<sup>+</sup> disminuyen.

**Cuadro 13:** Variables correlacionadas significativamente en 195 animales aturdidos en cámaras de CO<sub>2</sub>

Variable dependiente (y)	Variable independiente (x)	Ecuación lineal (y = b + mx)			Valor de F y P	
		b ± E E	m ± E E	R	F	P
pO <sub>2</sub> (mmHg)	pCO <sub>2</sub> (mmHg)	65.12±4.37	-0.37±0.04	-0.53	72.12;	<.0001
	Ca <sup>2+</sup> (mmol/L)	66.03±5.26	-27.61±3.84	-0.46	51.50;	<.0001
	Lactato (mg/dL)	20.15±1.68	0.10±0.01	0.36	28.30;	<.0001
	Na <sup>+</sup> (mmol/L)	56.06±8.90	-0.19±0.06	-0.22	9.79;	0.0020

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).

#### 9.4. Bioquímica de la carne

En cuanto a los resultados de las variables fisico-metabólicas de la canal caliente como temperatura, pH y color por el método L, a, b, medidos en las canales de cerdos a los 45 minutos *post-mortem*, en el Cuadro 14 se aprecia que la temperatura de las canales de los animales sacrificados sin aturdimiento fueron más altas en comparación con los animales aturdidos. Por otra parte, las variables que representan el color de la canal (L\*, a\* y b\*) no tienen diferencias significativas entre los métodos de aturdimiento y por tanto entre los rastros.

**Cuadro 14:** Media y error estándar de las variables fisico-químicas de la canal de cerdo 45 min post-sacrificio con y sin aturdimiento.

Variables	Rastro No TIF	Rastro TIF	Valor de P
	Media ± EE	Media ± EE	
Temperatura (°C)	24.14±0.16	19.78±0.16	<.0001
L*	46.35±8.17	47.83±1.91	0.8599
Color a*	4.08±0.11	4.49±0.68	0.5602
b*	4.29±0.09	5.24±0.94	0.3198

En el Cuadro 15 se muestra el pH de las canales, analizado con estadística no paramétrica y expresado en mediana y rango. Se aprecia que el pH de las canales de los cerdos aturdidos con CO<sub>2</sub>, es el más bajo de los tres grupos presentados.

**Cuadro 15:** pH de canal de cerdo a los 45 min post sacrificio y con diferentes métodos de aturdimiento.

Variable	Rastro NO TIF	Rastro TIF	
	Mediana ± rango	Aturdimiento Eléctrico	Aturdimiento CO <sub>2</sub>
		Mediana ± rango	Mediana ± rango
pH*	6.33±1.77 <sup>b</sup>	6.48±1.23 <sup>a</sup>	6.09±1.15 <sup>c</sup>

a,b,c Literales diferentes en la misma fila, señalan diferencia significativa (P≤0.01).

\*Analizada con Kruskal – Wallis (P<0.01) y expresada como mediana ± rango.

## X. DISCUSIÓN

### **10.1. Efecto de la duración del transporte sobre el metabolismo energético, equilibrio ácido base y gases sanguíneos al momento del arribo**

El cerdo es muy sensible al estrés; sin embargo, es capaz de adaptarse a situaciones nuevas que impliquen esfuerzo extra, como ejemplo, durante el transporte que muchas veces se realiza de manera errónea y no salvaguarda la integridad física de los cerdos. Son diversas las respuestas fisiológicas de adaptación, pero sobresale el aumento en la secreción de catecolaminas, lo que repercute en el aumento del gasto cardíaco, en el intercambio de gases ( $O_2$  y  $CO_2$ ), en la temperatura corporal, disminución del pH, acumulación de ácido láctico (Hambrech *et al.*, 2003, 2004), y aumento de la gluconeogénesis, con lo que se incrementa el metabolismo basal (Mota *et al.*, 2005, 2006).

En este estudio la temperatura disminuyó en los cerdos transportados por viajes largos de más de 24 horas, esto puede ser debido a que hay un efecto directo sobre el metabolismo tisular, alteración del metabolismo de carbohidratos y la reducción en el suministro de  $O_2$  a los tejidos. Además el transporte prolongado provoca tanto fatiga muscular como acidosis (Hambrech *et al.*, 2004; Becerril *et al.*, 2010); estos mecanismos a su vez funcionan para regular el enfriamiento corporal sobre el metabolismo energético (DiBartola *et al.*, 2007; Villanueva *et al.*, 2008). La disminución de la temperatura corporal, probablemente es consecuencia de la falta de energía debido a la termorregulación (Robinson, 1999; Villanueva *et al.*, 2008), provocado por la falta de alimento durante el transporte, siendo más aguda en animales transportados por tiempos prolongados.

Otro elemento a destacar derivado de esta tesis es que los animales que se transportaron por tiempos cortos y tiempos medios presentaron una marcada acidemia ( $7.37\pm 0.63$  y  $7.41\pm 0.54$ ), estos resultados son similares con lo encontrado por Hambrecht *et al.* (2004); en su estudio observaron acidemia (pH 7.03) en cerdos sometidos a altos niveles de estrés previo al sacrificio. También estudios realizados por Becerril-Herrera *et al.* (2010), demuestran una marcada acidemia en cerdos transportados por 8 y 16 horas (pH 7.37 y 7.42, respectivamente); cuando el ejercicio o el estrés exceden el umbral anaeróbico, es decir, cuando el requerimiento de oxígeno no es el suficiente para mantener los requerimientos de energía, entonces disminuye el pH sanguíneo por acumulación de  $pCO_2$  y por la producción de ácido láctico.

Respecto al intercambio gaseoso es importante resaltar que los niveles de  $pCO_2$  disminuyeron en los cerdos transportados por periodos medios ( $36.26\pm 0.52$  mmHg), estos resultados coinciden con los de Becerril-Herrera *et al.* (2010), quienes observaron también hipocapnia tanto para los cerdos transportados por 8 horas ( $pCO_2$  40.62 mmHg) como para los transportados por 16 horas ( $pCO_2$  34.35 mmHg) donde se aprecia que entre más largo es el viaje los niveles de  $pCO_2$  disminuyen cada vez más pues los cerdos realizan un gran esfuerzo físico, para tratar de soportar la duración del transporte.

La  $pCO_2$  está íntimamente relacionada con un enfriamiento excesivo en la sangre, como ocurre en la hipotermia, la  $pO_2$  de los tejidos debe ser menor con el fin de liberar oxígeno de la hemoglobina a los tejidos y mantener el metabolismo energético (Robinson, 1999). Esta hipoxia se observa en los grupos de cerdos transportados de 5 a 6 horas ( $24.92\pm 0.53$  mmHg).

La hipernatremia observada en los cerdos transportados por duraciones cortas, puede deberse a la falta de consumo de agua durante el transporte, ya que los cerdos fueron restringidos previamente tanto de alimento como de agua; el déficit en el consumo de agua permite la pérdida de fluidos hipotónicos y la ganancia de sodio, provocando hipertonicidad del líquido extracelular e

hipernatremia; sin embargo, es interesante observar que los cerdos que fueron transportados por periodos largos no presentaron este fenómeno, a pesar de llevar más tiempo sin beber agua.

Respecto al  $K^+$ , se observa hipokalemia en los animales transportados por periodos cortos y largos. Al respecto, Becerril *et al.* (2010) mencionan que el incremento del gasto cardiaco medido por el consumo de oxígeno y la temperatura corporal, disminuye el pH, acumulación de ácido láctico, incrementando la gluconeogénesis, así como un efecto bifásico del potasio sérico. Inicialmente esto causa un incremento transitorio de los niveles de potasio por una estimulación  $\beta$ -adrenérgica, seguida por una hipokalemia provocada por la estimulación de receptores  $\beta_2$ . Estas condiciones son importantes en el desarrollo de la fatiga por el ejercicio.

El aumento de lactato observado en todos los grupos, pero sobretodo en los de transporte corto, fue también observado por Becerril-Herrera *et al.* (2010) en cerdos transportados en diferentes tiempos: 8 (58.91 mg/dL de lactato) y 16 horas (67.39 mg/dL de lactato). 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 (Becerril-Herrera *et al.*, 2009, Mota-Rojas *et al.*, 2009, Werner y Gallo 2008).

En torno a la valoración de la glicemia, se parecía hiperglucemia en todos los grupos comparados con los niveles basales es causado generalmente por un incremento en el gasto hepático de la glucosa provocado a su vez por un incremento en la gluconeogénesis (Panciera, 2007). La glicemia entonces, está sujeta al control hormonal ya que los glucocorticoides liberados en el estrés y la adrenalina actúan sobre la gluconeogénesis y la glucogenolisis para la obtención de energía y hacer frente al estrés (Mota-Rojas *et al.*, 2009; Becerril *et al.*, 2010).

En resumen, la fisiopatología que sufrieron los animales y tomando como referencia los grupos de los extremos ( $G_1$  y  $G_3$ ) es la siguiente: en el  $G_1$  la consecuencia de la acumulación de  $CO_2$ , fue provocada por el estrés agudo que sufrieron los animales, esto provoca una hiperventilación, es decir la eliminación de  $CO_2$  que se ve reflejado en la medición de  $PCO_2$  (45.86 mmHg) en los animales transportados por 6 horas. Otro elemento importante consecuencia de este estrés agudo, es la acumulación de ácido láctico en sangre, el estrés agudo provoca el metabolismo anaerobio que tiene como objetivo utilizar el ácido láctico como fuente de energía, por el hecho de tener un escaso suministro de oxígeno ( $PO_2$  24.92 mmHg) reflejado en el  $G_1$ . Una referencia más del estrés agudo al cual fueron expuestos los cerdos del grupo 1, es la hiperglucemia (76.99 mg/dl) que fue provocada por la liberación de catecolaminas segregadas por la médula adrenal. El grupo 3 presenta una disminución en la temperatura; existen estudios publicados en donde mencionan que existe una relación entre la temperatura y el pH,  $PCO_2$ ,  $PO_2$ . Groenendaal *et al.* (2009) señalan que la hipotermia afecta los parámetros de gas en sangre como la  $PCO_2$ , disminuyendo este indicador a bajas temperaturas. Uno de los elementos interesantes es que los animales transportados por 24 horas lograron restablecer el equilibrio ácido-base, es decir, los animales pasaron a un estrés crónico, por el hecho de que los niveles en las diferentes variables críticas sanguíneas son más bajas, pero se asemejan más a los niveles de las variables críticas sanguíneas de las muestras basales.

## **10.2. Observaciones ante-mortem: posiciones de llegada e indicadores de bienestar en el manejo**

### **10.2.1. Posiciones de llegada**

El manejo inadecuado en la carga, transporte y descarga de los animales, puede tener efectos muy importantes sobre el bienestar animal (Broom, 2005) y en la calidad de la carne (Gallo, 2008).

Las posición de llegada es un indicador de las condiciones en las que permanecieron los animales durante su transporte, en este estudio se pudo apreciar que la mayoría de los cerdos se encontraban echados a su arribo en cualquiera de los dos tipos de rastro, y puede deberse al cansancio provocado por el transporte. En estudios de Mota-Rojas *et al.* (2005), observaron que en las posiciones de los cerdos en el arribo, permanecen más animales parados que sentados o echados por trayectos cortos, y en cerdos transportados por trayectos largos, en su mayoría permanecen echados. Parte de la explicación es que durante el transporte los cerdos se estresan y se agotan, ya que requieren más esfuerzo para mantenerse de pie durante el trayecto, debido a la poca estabilidad brindada por los continuos movimientos del camión (Perremans *et al.*, 1998; Broom, 2005; Tarumán y Gallo, 2008). Si el viaje fue largo superior a las 12 horas, los animales comienzan a caer o echarse debido al cansancio al tratar de mantener el equilibrio; ello predispone a sufrir pisotones y hematomas (Gallo *et al.*, 2001; Tarumán y Gallo, 2008). La facilidad con la que los animales puedan cambiar de posición y la disposición de espacio para echarse, dependerá de la densidad de carga en el vehículo (Mota-Rojas *et al.*, 2005).

### **10.2.2. Patadas al arribo**

Las directrices para el bienestar animal de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE) y diversos estudios publicados por Grandin (2010), indican que queda prohibida cualquier manipulación que atente contra la integridad y el bienestar animal. Prácticas como golpes, patadas y uso de mecanismos que atenten contra los animales están estrictamente prohibidas. En el presente estudio no se encontraron diferencias significativas en el número de patadas propinadas a los animales entre los rastros evaluados; sin embargo, se observó

la presencia de estas prácticas consideradas prohibidas en ambos rastros y con mayor incidencia en el rastro no TIF.

### 10.2.3. Lesiones

Muchos animales son vulnerables a lesionarse durante el manejo y transporte. El temor provocado por movimientos exageradamente bruscos como por la falta de familiaridad a este tipo de nuevas situaciones, los hace propensos a descaminarse, reaccionar con violencia, a lesionarse o fracturarse con mucha facilidad (Grandin, 1997; Broom; 2005). Lo anterior puede ser una explicación a la presencia de lesiones y traumatismos observados tanto en el arribo de los animales como en el arreo al área de descanso.

Sin embargo estas lesiones no son solo provocadas por la actitud desconfiada de los animales, sino también por la actitud del personal a cargo del manejo de los animales en rastro, quienes durante el arreo de los cerdos del área de descanso al sitio de sacrificio, agredían a los cerdos, agresión que se dio en mayor proporción en los rastros no TIF. El arreo es un procedimiento que causa estrés a los animales por el uso de instrumentos punzantes, palos, picanas eléctricas y otros artilugios de arreo inadecuados que, además provocan hematomas y marcas que son fácilmente observables *post-mortem*, en forma de equimosis y sufusiones en las canales, lesiones de distinta forma en profundidad y extensión, que son un reflejo del manejo que han recibido los animales. Ejemplo de ellos es la presencia de canales contusas y con marcas de los instrumentos de arreo, lo que indica un pobre bienestar animal (Grandin, 1997; Gallo *et al.*, 2001).

Un factor muy importante que determina el bienestar durante el transporte es la densidad de carga propia de cada especie. Mota-Rojas *et al.* (2010) no encontraron una influencia directa en el espacio proporcionado a los cerdos con la presencia de lesiones subcutáneas; esto contradice lo observado en el presente trabajo, aunque no se evaluó el área proporcionada a los



cerdos, se puede presumir que hay un efecto por el espacio. El uso de compartimientos con movimientos restringidos en cerdos transportados reduce heridas físicas debido a las limitaciones en el movimiento y agresiones derivadas de la conducta de cada animal (Barton-Gade y Christensen, 1998). Se da por hecho que por las normas en las que se rigen los rastros TIF, se proporcionan las condiciones apegadas a la norma durante el transporte (NOM-024-ZOO-1995), por esta razón el número de traumatismos se ve disminuido en este tipo de establecimientos; en este sentido los rastros no TIF no observan este reglamento.

#### **10.2.4. Gritos**

Strappini *et al.* (2006) encontraron en su estudio, que durante la descarga de los animales en el 48% de los casos se usó la voz (silbidos y gritos) para posibilitar el descenso y la movilización de los animales hacia la báscula. En esta investigación encontramos 11.69% de incidencia en los rastros no TIF y 2% en rastros TIF. El ruido generado por los operarios genera estrés en los animales; diversas especies como bovinos y ovinos son sensibles del oído, particularmente ante sonidos de alta frecuencia, los bovinos son sensibles a 8000 Hz y pueden escuchar hasta 21000 Hz (Algers, 1984). Se tiene registrado (Simmons *et al.*, 1979) que un grito de un humano produce 350 Hz, y considerando el número de gentes que trabajan en el desembarque de los cerdos gritar y silbar al mismo tiempo, el ruido que se genera sería molesto para estos animales.

#### **10.2.5. Vocalizaciones y el uso del arreador eléctrico**

Para Grandin (1998), las vocalizaciones son un indicador de dolor en los animales. La vocalización de los animales (mugidos, balidos y gruñidos) se correlaciona con niveles mayores de cortisol, comprobando así, que la vocalización se correlaciona con eventos desagradables, tales como el uso de

la picana eléctrica. Cuando se redujo la aplicación de la picana eléctrica, disminuyó el porcentaje de animales que vocalizaban. Las mediciones sobre la vocalización pueden ser utilizadas para monitorear objetivamente el manejo. En este estudio tomemos en cuenta que no existe diferencias significativas en el número de chillidos o vocalizaciones entre rastros, sin embargo existe la presencia de estos signos de estrés; para complementar esta información es importante tomar en cuenta el número de veces que se utilizó la picana eléctrica en los dos rastros. En este sentido, Grandin (1998) publica criterios de vocalización como signo de sufrimiento animal; los criterios son: excelente hasta 0.50% del ganado vocalizando, aceptable 3%; no aceptable de 4-10% y problema severo más de 10%. El rastro TIF en esta investigación cumple con el criterio de aceptable, mientras que el rastro no TIF, reprueba el criterio con más del 10% de vocalizaciones (13%).

#### **10.2.6. Tiempo de acarreo**

Existen varios factores que impiden o detienen el tránsito fluido de los animales a diferentes áreas, estos factores actúan como distractores, y se derivan del mal diseño en las instalaciones de los rastros. En este estudio se observó que los tiempos de arreo de los cerdos durante el arribo fueron de 52.33 min en los rastros no TIF; al área de sacrificio tardaron 13.15 min, los cuales fueron significativamente más altos comparándolos con los TIF (37.24 min y 9.53 min respectivamente). Diversos estudios como los de Grandin (2000), Vielle-Thomas y Signoret (1992) y Boissey *et al* (1998), señalan diversos distractores que llaman la atención o asustan a los animales cuando se aproximan a ellos y provocan que se detengan o traten de darse vuelta estos son: como sombras, objetos tirados, brillos, personas, reflejos, cambios de textura en el piso, ruidos y corrientes de aire; en el caso particular de los cerdos, olores como sangre y/u orina impregnados con feromonas del estrés, que provocan que se alargue el tiempo de arreo. Una de las repercusiones del mal diseño de instalaciones, se refleja en las caídas de los animales, que se observan en ambos tipos de rastros. La textura de los pisos y la pronunciada

pendiente de estos, dificulta el avance y promueven caídas y resbalones de los animales.

Tener el conocimiento sobre el comportamiento animal y tener las instalaciones adecuadas, para evitar el estrés innecesario en los animales durante la manipulación, es de suma importancia. Se debe cuidar y planificar la forma en que se realizará el manejo de los animales, en los momentos previos a su muerte.

Broom (2005) menciona que la prevención de actos o manejos asociados al transporte que conduzca a un pobre bienestar, tiene ventajas financieras inmediatas porque las tasas de mortalidad y defectos en la canal se reducen, y a largo plazo, muchos consumidores en general se preocupan por los animales y su bienestar durante el transporte y lo toman en cuenta a la hora de decidir si compran o no productos de origen animal.

### **10.3. El efecto del método de aturdimiento sobre el metabolismo energético, equilibrio ácido-base y gases sanguíneos al desangrado.**

La medición de las diferentes variables críticas sanguíneas asociadas con el estrés como el cortisol, lactato, glucosa, calcio, magnesio y proteínas, determinan el efecto de aturdimiento alcanzado en la fisiología de los animales y por lo tanto su bienestar (Hambrecht *et al.*, 2004, Amtmann *et al.*, 2006, Becerril-Herrera *et al.*, 2009).

En los animales sacrificados sin aturdimiento previo (R<sub>1</sub>) se destaca una marcada hiperlactatemia ( $110.37 \pm 2.72$  mg/dL), la acumulación de ácido láctico (acidosis metabólica) se debe al ayuno; es el estrés que sufrieron los cerdos durante la permanencia en el área de descanso; los niveles de PCO<sub>2</sub> y PO<sub>2</sub> son las normales puesto que los animales ya lograron establecer los niveles de dichos parámetros, la acumulación de lactato es porque los animales echaron a

andar las reservas energéticas y es posible que estén utilizando el ácido láctico como fuente de energía. Estos resultados concuerdan con Hambrecht *et al.* (2004), quienes reportan altos niveles de lactato en cerdos estresados previo al sacrificio, en dos diferentes establecimientos de sacrificio (249.55 mg/dL y 191.89 mg/dL, respectivamente) y con los resultados de Becerril-Herrera *et al.* (2009), quienes de igual forma detectaron altos niveles de lactato en cerdos aturdidos con diferentes métodos. Y como ya se mencionó, el lactato se utiliza como indicativo de bienestar animal, el cual es el resultado del proceso metabólico de la glucólisis, para obtener energía de forma rápida.

El lactato se correlaciona positivamente con la glucosa, el  $\text{Na}^+$  y el  $\text{K}^+$ , y tiene que ver con la acidosis metabólica por el metabolismo anaerobio y la acumulación de la concentración de cationes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ). Los diferentes elementos inorgánicos medidos en este estudio, por ejemplo el calcio y el sodio, son elementos que se ven afectados por los cambios de pH. Török (2007) menciona, que en diversas especies se ha demostrado que el pH ácido inhibe fuertemente los intercambios  $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{++}$  tanto en el axón como en el sarcolema cardíaco, mientras que un pH alcalino tiene el efecto contrario; lo que confirma que esta reacción del organismo es en respuesta al estrés y a la agonía en el momento del sacrificio (Becerril-Herrera *et al.*, 2009; Mota-Rojas *et al.*, 2009).

Los animales aturdidos por electronarcosis ( $R_2$ ) presentaron hipocapnia estadísticamente significativa ( $P \leq 0.01$ ) la cual se relaciona también con una acidosis respiratoria derivada de una hiperventilación compensadora, sin que los niveles de oxígeno alcancen a cubrir los requerimientos exigidos en el aumento del metabolismo basal provocado por el estrés, induciendo una hipoxia ( $26.73 \pm 0.51$  mm Hg) a pesar de la hiperventilación. Se ha descrito que los 5 minutos previos al sacrificio tienen un impacto importante en la calidad de la carne, ya que el manejo *ante-mortem* es estresante, incluyendo el aturdimiento y desangrado, (Hambrecht *et al.*, 2004), y eventualmente incremento la presencia PSE aún en cerdos resistentes al estrés (Alarcón *et al.*,

2006), ya que 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 (Hambrech *et al.*, 2004; Rodríguez *et al.*, 2006). Sin embargo en un estrés prolongado (transportes de 16 a 24 hrs de duración, o ayunos de más de 12 hrs) los niveles de cortisol y lactato aumentan produciendo carne DFD (Hambrech *et al.*, 2004, Tadich *et al.*, 2008).

En la correlación negativa entre el porcentaje de hematocrito y los valores de pH, lactato, Na<sup>+</sup> y glucosa, ésta podría estar más relacionada con una hemoconcentración por deshidratación en el manejo *ante-mortem*, que eleva los niveles de sodio por pérdida de agua, debido a la restricción, vómitos y diarreas, sin compensar la ingesta de agua (Mota-Rojas *et al.*, 2009, Becerril-Herrera *et al.*, 2009), en estudios realizados por Werner y Gallo (2008) encontraron que el aumento de hematocrito fue causado probablemente por la concentración de glóbulos rojos de la sangre debido a la contracción del bazo, inducida por la actividad nerviosa simpática o por la acción de las catecolaminas circulantes debido a factores de estrés.

Los animales aturdidos en cámaras de CO<sub>2</sub> (R<sub>3</sub>) mostraron acidosis, hipercapnia, hiperglucemia, hiperpotasemia y un elevado porcentaje de hematocrito, debido a una acidosis respiratoria causada por una hipoventilación alveolar por el poco suministro de oxígeno (hipoxia) y el aumento en la concentración de CO<sub>2</sub> en la cámara (70% de concentración), lo que estimula la frecuencia respiratoria y puede conducir a insuficiencia respiratoria (Raj y Gregory, 1995). Además, en la cámara de CO<sub>2</sub> aumenta el metabolismo oxidativo anaerobio al haber poco oxígeno, aumentando así los niveles de glucosa en el torrente sanguíneo y provocando aumento del flujo intracelular de

iones  $K^+$  por iones de hidrógeno, originando la acidosis metabólica (Becerril-Herrera *et al.*, 2009). Cuando los animales se aturden en la cámara de  $CO_2$ , hay un porcentaje más grande de indicadores alterados con respecto a los niveles basales (Velarde *et al.*, 2000). Becerril-Herrera *et al.* (2009) en su estudio observaron que el aturdimiento con cámaras de  $CO_2$  causaba mayores alteraciones fisiológicas como acidosis metabólica y respiratoria, en comparación con el aturdimiento eléctrico, habiendo una mayor incidencia negativa en el bienestar animal en los cerdos aturdidos con  $CO_2$ .

Comparando los dos métodos de aturdimiento en  $R_2$  y  $R_3$ , los resultados muestran que en los cerdos sacrificados en la cámara de  $CO_2$ , los niveles de lactato, glucosa, potasio, sodio y  $pCO_2$ , son muy elevados, en comparación con los animales aturdidos con electronarcosis; estos valores están relacionados con estrés (Hambrecht *et al.*, 2004; Werner y Gallo 2008; Tadich *et al.*, 2009) por efecto de la acción de las catecolaminas, pero repercutiendo negativamente en el bienestar animal (Hambrecht *et al.*, 2004; Tadich *et al.*, 2008; Becerril-Herrera *et al.*, 2009). Por tanto el aturdimiento por electronarcosis tiene menos efectos negativos sobre el bienestar animal comparado con la cámara de  $CO_2$ .

Al comparar los cerdos faenados sin aturdimiento con los animales aturdidos con  $CO_2$ , en los resultados se observa que el uso de  $CO_2$  tiene más repercusiones negativas en el bienestar animal, ya que el pH, lactato,  $Ca^{++}$  y glucosa, son más elevados en los cerdos aturdidos en las cámaras de  $CO_2$ . Sin embargo, en la actualidad es inadmisibles que sigan existiendo plantas que faenen a los animales sin ser aturdidos, se debe impedir el sufrimiento y el dolor innecesarios, estos además, repercuten sobre la calidad de la carne que se consume (Hambrecht *et al.*, 2004; Tarumán y Gallo 2008; Carter y Gallo 2008; Becerril-Herrera *et al.*, 2009). Hoy no solo se debe considerar que la procedencia de la carne sea saludable e inocua, también debe considerarse el bienestar animal (Carter y Gallo 2008). A pesar de haber Normas Oficiales Mexicanas que consideran el trato humanitario, como la NOM-051-ZOO-1995 y

la NOM-009-ZOO-1994, y para sacrificio humanitario la NOM-033-ZOO-1995, existentes para la protección de los animales y el mejoramiento del proceso de sacrificio, estas no alcanzan a regular a todos los tipos de rastro que existen en el país.

#### **10.4. Efecto del transporte y el método de aturdimiento sobre la calidad de la carne**

De acuerdo con Freise *et al.* (2005), Hambricht, *et al.* (2003, 2004), la temperatura, pH y color son indicadores para estimar la calidad de la carne y la incidencia de algunas miopatías en la carne. La combinación de un pH bajo y una temperatura alta, causan desnaturalización de algunas proteínas musculares y una reducción en la cantidad de agua de estas fibras (Castrillón *et al.*, 2007). La temperatura muscular que se observa a los 45 min *post-mortem* en las canales de cerdos sin aturdimiento R<sub>1</sub>, fue más alta ( $24.14 \pm 0.16^{\circ}\text{C}$ ) en comparación con los animales con aturdimiento ( $19.78 \pm 0.16^{\circ}\text{C}$ ); sin embargo, para que haya una alteración del músculo que demerite la calidad de la carne como la miopatía PSE, se necesita una temperatura muscular mayor a los  $37^{\circ}\text{C}$  a los 60 min *post-mortem* (Bowker, *et al.*, 2000; Fraise *et al.*, 2005), lo cual, no se observa en las canales evaluadas del presente estudio.

En cuanto al pH del músculo, las canales de los cerdos en rastro TIF, aturridos con CO<sub>2</sub> fueron las más bajas de los tres grupos ( $6.09 \pm 1.15$ ), pero manteniéndose dentro de los parámetros de pH para un músculo normal.

## CONCLUSIONES

### *Efecto de la duración del transporte*

En los cerdos transportados por periodos de 6 a 12 h, se duplica el nivel de lactato, y aumentan de forma significativa los niveles de glucosa; mientras que los cerdos transportados por más de 24 hrs logran restablecer los niveles de estos indicadores, lo que se interpreta como una adaptación al transporte. Algo similar ocurre con el calcio, este se incrementa de un 10 hasta un 30% en los viajes, tanto corto como medio, respectivamente; mientras que en el transporte largo, se restablece y regresa al valor de referencia. El viaje corto ocasiona un descenso significativo del pH sanguíneo y cuando este estresor permanece por más de 24 horas, el pH se restablece. También, se observó un descenso en la  $pCO_2$ , en todos los grupos evaluados, pero conforme se aumentaba la duración del transporte, disminuía la  $pCO_2$ . El porcentaje de hematocrito se incrementa significativamente a medida que progresa la duración del viaje en los cerdos. Estos datos corroboran la fama que el cerdo tiene de ser muy sensible al estrés, sin embargo, ratifica que tiene un sistema de compensación de las alteraciones fisiometabólicas muy eficiente, lo que le permite adaptarse con relativa facilidad a las agresiones del entorno.

### *Indicadores de bienestar animal*

Respecto a los indicadores de bienestar animal por efecto del tipo de rastro, se aprecia que el número de cerdos fracturados, lesionados y prolapsados se incrementan significativamente en el rastro TIF. Aunque, en algunos casos, se puede apreciar que las agresiones hacia los animales están de forma muy marcada en el rastro no TIF. Esto indica que para ambos tipos de rastros evaluados, TIF y no TIF, no se capacita al personal para atenuar el estrés y mejorar el bienestar de los cerdos durante el desembarque y arreo al área de matanza.



Los resultados del presente estudio pueden ayudar a promover el bienestar animal tanto en México, para que las autoridades puedan regular apropiadamente, según las características de nuestra producción y ganado existente en él, y también en los países latinoamericanos que puedan tener las mismas condiciones de producción.

#### *Método de aturdimiento y bioquímica de la carne*

Los métodos de aturdimiento empleados en las plantas mexicanas de faena de cerdos tienen repercusiones importantes en el bienestar animal. Los cerdos aturdidos en cámara de CO<sub>2</sub> presentaron una marcada acidosis, hiperglucemia e hiperpotasemia, los cuales están relacionados con estrés, además de afectar también la calidad de la carne.

Los cerdos aturdidos por electronarcosis presentaron una hiperglucemia y % de hematocrito. Comparando los dos métodos de aturdimiento, los resultados muestran que en los cerdos sacrificados en la cámara de CO<sub>2</sub> los niveles de lactato, glucosa, potasio, sodio y pCO<sub>2</sub>, son muy elevados, en comparación con los animales aturdidos con electronarcosis, lo que indica reducción del bienestar animal desde la perspectiva del comportamiento hemodinámico.

Los cerdos que se sacrificaron sin método de aturdimiento se observa una marcada hiperglucemia e hiperlactatemia al momento de la exsanguinación. El método de aturdimiento que afecta negativamente a los cerdos es la cámara de CO<sub>2</sub>, pues tiene incluso más efectos negativos en comparación con la faena sin aturdimiento, ya que los animales presentan acidosis respiratoria y elevados niveles de K<sup>+</sup> y glucosa. Sin embargo, a la ausencia de aturdimiento, tiene mayores desordenes fisiológicos que son mucho más marcados en comparación con la electronarcosis.

Por tanto el aturdimiento por electronarcosis tiene menos repercusiones en el bienestar animal. Aunque en la actualidad sea inadmisibles que exista aún faena

sin previo aturdimiento por el sufrimiento de los animales al momento del degüelle, se tendrá también que seguir evaluando los métodos de aturdimiento ya existentes, por afectar de igual forma el bienestar ya sea por su efecto intrínseco, por su mala aplicación, pero de igual manera, es imperativo seguir investigando para implementar nuevos métodos de sacrificio, que eliminen o disminuyan las alteraciones metabólicas negativas sobre la calidad de la carne, identificadas en este estudio.

#### *Calidad de la carne*

Dado que en nuestros resultados en la evaluación química de la carne, las canales evaluadas no presentaron temperaturas  $>37^{\circ}\text{C}$ , ni  $\text{pH}_{45} < 5.5$ , por tanto no se presentaron las condiciones para la presencia PSE, lo cual nos sugiere o hace suponer que las condiciones de los animales no eran tan extenuantes y lograron sobrellevar el estrés.

## XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abascal, T. G. A. 1998. La calidad de la carne de cerdo, clasificación, conservación y su manejo. *Porcicultores y su Entorno*. 1 (3): 30-34.
- Alarcón, R. A. D., Gamboa A. J. G., Rodríguez, A. F. A., Grado, A. J. A. y 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.
- Alarcón, R. A. D. y Duarte A. J. O. Capítulo 9. Ciencia y tecnología de carnes. Hui, Y. H., Guerrero, L. I. y Rosmini, R. M. (Eds.) 2006. Ciencia y tecnología de carnes. *Limusa*. México. pp: 253-290.
- Alarcón, R. A., Duarte, A. J., Alonso, R. F. y 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.
- Algers, B. 1984. A note on responses of farm animals to ultrasound. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 12:387-391.
- Amtmann, V., Gallo, C. y van Sadich, N. 2006. Relaciones entre el manejo ante-mortem, variables sanguíneas indicadoras de estrés y pH de la canal en novillos. *Arch. Med. Vet.* 38, 259-264
- Anil, M. H. and McKinstry, J. L. 1998. Variations in electrical stunning tong placements y relative consequences in slaughter pigs. *Vet. J.* 155:85-90.
- Atkinson, S. and Algers, B. 2007. The development of a stun quality audit for cattle y pigs at slaughter. *Proceedings International Congress in Animal Hygiene. June 17-21*. Tartu, Estonia. pp. 1023-1027.

Álvarez, C. y Torre, A. I. 1997. La conductividad eléctrica como sistema de detección de carnes de baja calidad en el proceso de elaboración de jamón cocido. Disponible en: <http://www.inode.es/yago/pgmestu.htm>. Accesado 15/03/97.

Barton-Gade, P. A. and Christensen, L. 1998. Effect of different stocking densities during transport on welfare y meat quality in Danish slaughter pigs. *Meat Sci.* 48:237.

Becerril-Herrera, M., Alonso-Spilsbury, M. L., Lemus-Flores, C., Guerrero-Legarreta, I., Olmos-Hernández, A., Ramírez-Necoechea, R. and Mota-Rojas, D. 2009. CO<sub>2</sub> stunning may compromise swine welfare compared with electrical stunning. *Meat Sci.* 81:1233–237.

Becerril- Herrera, M., Alonso-Spilsbury, M. L., Trujillo, O. M. E., Guerrero-Legarreta, I., Ramírez-Necoechea, R., Roldan-Santiago, P., Pérez-Sato, M., Soni-Guillermo, E. and Mota-Rojas, D. 2010. Changes in blood constituents of swine transported for 8 or 16 h to an abattoir *Meat Sci.* 86(4):945-8.

Bertram, H. C., Andersen, R. H. and Andersen, H. J. 2007 Development in myofibrillar water distribution of two pork qualities during 10-month freezer storage. *Meat Sci.* 75: 128-133.

Boissey, A., Terlouw, C. and LeNeindre, P. 1998. Presence of pheromones from stressed conspecifics increases reactivity to aversive events in cattle, evidence for existence of alarm substances in urine. *Physiology of Behaviour.* 4:489-495.

Bowker, B. C., Grant, A. L., Forrest, J. C. and Gerrard, D. E. 2000. Muscle metabolism y PSE pork. *J. Anim. Sci.* 79:1-8.

Broom, D. M. 1991. Animal welfare: concepts y measurement. *J Anim Sci* . 69:4167-4175.

Broom, D. M. 2003. Transport stress in cattle and sheep with details of physiological, ethological and other indicators. *Dtsch. Tierarztl. Wschr.* 110:83–88.

Broom, D. M. 2005. The effects of land transport on animal welfare. *Rev. Sci. Tech. Off. int. Epiz.* 24 (2):683-691.

Calvo, J. H. y García-Muro, E., Zaragoza, P. 1997. Síndrome del estrés porcino: aplicación y ventajas de la PCR para su diagnóstico. *Med. Vet.* 14(2):110-113.

Carter, L. M. y Gallo, C. B. 2008. Efectos del transporte prolongado por vía terrestre y cruce marítimo en transbordador sobre pérdidas de peso vivo y características de la canal en corderos. *Arch. Med. Vet.* 40:259-266.

Castrillón, W. E., Fernández, J. A. y 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.

Chambers, P. G. y Grandin, T. 2001. Directrices para el manejo, transporte y sacrificio humanitario del ganado. *Food y Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia y the Pacific. Título de la serie: RAP Publication - 2001/04.*

Channon, H. A., Payne, A. M. and Warner, R. D. 2003. Effect of stun duration and current level applied during head to back and head only electrical stunning of pigs on pork quality compared with pigs stunned with CO<sub>2</sub>. *Meat Science.* 65: 1325–1333

Chorné, R. 1996. Evaluación de calidad en carne de cerdo. *Acontecer Porcino*. 3 (17): 18-38.

Coelho, M. B. 1994. Nutritional control of stress. Feeding for Meat Quality. *Feed Management*. 45(2)24.

Comisión Europea. 2007. Bienestar de los animales. Dirección General de Sanidad y Protección de los Consumidores. B-1049. Bruselas. Disponible: [http://ec.europa.eu/food/animal/welfare/research/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/food/animal/welfare/research/index_en.htm). Accesado: 21/02/2010

Cáraves, M. y Gallo, C. 2007. Caracterización y evaluación de la eficiencia de los sistemas de insensibilización utilizados en equinos en Chile. *Arch. Med. Vet.* 39, 105-113.

D'Souza, D. N., Warner, R. D., Leury, B. J. and Dunshea, F. R. 1998. The effect of dietary magnesium aspartate supplementation on pork quality. *J. Anim. Sci.* 76:104–109.

DiBartola, S. P. 2007. Fluidoterapia, electrolitos y desequilibrios ácido-base: en pequeños animales. *Multimédica*. Sant Cugat del Vallés, España. Pp. 710.

Estrade, M., Vignon, X. and Monin, G. 1993. Glycogen hyperaccumulation in white muscle fibres of RN- carriers pig, a biochemical y ultrastructural study. *Comp. Biochem. Physiol.* 104B(2): 321-326.

Fernández, X. and Monin, G. 1994. A major gene affecting pork quality: The RN gene. *Meat Focus Int.* 3(8):332-334.

Freise, K., Brewer, S. and Novakofski J. 2005. Duplication of the pale, soft, and exudative condition starting with normal postmortem. *J. Anim. Sci.* 83:2843-2852.

Fuji, J., Otsu, K., Zorsato, F., de Leon, S., Khanna, V. K., Weiler, J. E., O'Brien, P. J. and MacLennan, D. H. 1991. Identification of a mutation in porcine ryanodine receptor associated with malignant hyperthermia. *Science*. 253: 448-451.

Gallardo, J. L. N., Villamar, L. A. y Barrera, M. A. W. 2006. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de porcino en México 2006. Coordinación de Ganadería. SAGARPA. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg>. Accesado en 18/02/2011

Gallo, C. B., Espinoza, M., Sanhueza, C. y 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 de carne en bovinos. *Arch. Med. Vet.* 33(1): 43-53.

Gallo, C. B., Teuber, M., Cartes, H., Uribe, T. y 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.* 2, 159-170.

Gallo, C. B. 2008. Using scientific evidence to inform public policy on the long distance transportation of animals in South America. *Veterinaria Italiana*. 44(1): 113-120.

González, L. M., Sánchez, A. P., Mota-Rojas, D., Alonso-Spilsbury, M., Ramírez, N. R., Becerril, H. M. y Lemus, F. C. 2007 Efecto del transporte, ayuno y periodo de reposo pre-sacrificio en la calidad de la canal porcina. *Comunicaciones Técnicas UAM-X*. 4: 1-51.

Grandin, T. 1997. Assessment of Stress During Handling y Transport. *J. Anim. Sci.* 75:249-257.

- Grandin, T. 2000a. Methods to reduce PSE y bloodsplash (on line). Disponible: <http://www.grandin.com/references/swine.html>. Accesado: 18/02/2011
- Grandin, T. 2000b. Effect of animal welfare audits of slaughter plants by major fast food company on cattle handling y stunning practices. *Journal of the American Veterinary Association*, 216(6):848-851.
- Grandin, T. 2010. Auditing animal welfare at slaughter plants. *Meat Sci.* 86: 56-65.
- Gregory, N. G. 1994. Preslaughter handling, stunning y slaughter. *Meat Sci.* 36: 45-56.
- Groenendaal F, De Vooght K.M. and van Bel F. 2009. Blood gas values during hypothermia in asphyxiated term neonates. *Pediatrics.* 123: 170-172.
- Guàrdia, M. D., Estany, J., Balasch, S., Oliver, M. A., Gispert, M. and Diestre, A. 2004. Risk assessment of PSE condition due to pre-slaughter conditions y RYR1 gene in pigs. *Meat Sci.* 67: 471-478.
- Guàrdia, M. D., Estany, J., Balasch, S., Oliver, M. A., Gispert, M. and Diestre, A. 2005. Risk assessment of DFD condition due to pre-slaughter conditions y RYR1 gene in pigs. *Meat Sci.* 70: 709-716.
- Hambrecht, E., Eissen, J. J. and Verstegen, M. W. A. 2003. Effect of processing plant on pork quality. *Meat Sci.* 64:125-131.
- Hambrecht, E., Eissen, J. J., Nooijen, R. I. J., Ducro, B. J., Smits, C. H. M., den Hartog, L. A. and Verstegen, M. W. A. 2004. Preslaughter stress y muscle energy largely determine pork quality at two commercial processing plants. *J. Anim. Sci.* 82:1401-1409.



Hanne, C. B., Rikke, H. A. 2007. Development in myofibrillar water distribution of two pork qualities during 10-month freezer storage. *Meat Sci.* 75:128-133.

Hartung, J., von Müffling, T., and Nowak, B. 2008. Influence of CO<sub>2</sub> stunning on EEG, catecholamines and clinical reflexes of slaughter pigs. In *Proceedings 20<sup>th</sup> International Pig Veterinary Society Congress*. June 22–26. Durban, South Africa. pp. 265.

Kauffman, R.G., Wachholz, D., Henderson, D. and Lochner, J. V. 1978. Shrinkage of PSE, normal y DFD hams during transit y processing. *J. Anim. Sci.* 46:1236-1240.

Kauffman, G. R., van Laack, R. L., Russell, R. L., Pospiech, C. A., Cornelius, C. A., Suckow, C. E. and Greaser, M. L. 1998. Can Pale, Soft, Exudative pork be prevent by *post-mortem* sodium bicarbonate injection? *J. Anim. Sci.* 76: 3010-3015.

Klont, R. E., Lambooy E. y Logtestijn, J. G. 1993. Effect of preslaughter anesthesia on muscle metabolism y meat quality of pigs of different halothane genotypes. *J. Anim. Sci.* 71: 1477-1485.

Küchenmeister, U., G. y Kuhn, J. 2003. Regulation of intracellular Ca<sup>2+</sup> concentration y meat quality in pigs. *Arch. Tierz., Dummerstorf* 46(5): 445-454.

Lawrie, R. T. 1977. Ciencia de la carne. *Acribia*. Zaragoza, España. pp. 156 - 161.

Levrino, G. A. y Villarroel, R. M. 2003. Welfare status of commercial sows in three housing systems in Spain. *Archivos de zootecnia*. 52: 453-462.

Maddock, R. J., Bidner, B. S., Carr, S. N., McKeith, F. K., Berg, E. P. and Savell, J. W. 2002. Creatine monohydrate supplementation y the quality of fresh pork in normal y Halothane carrier pigs. *J. Anim. Sci.* 80: 997-1004.

Martínez-Quintana, J. A., Alarcón-Rojo, A. D., Ortega-Gutiérrez, J. A. y Janacua-Vidales, H. 2006. Incidence of Halothane y Rendement Napole genes y their effect on quality of pork. *Universidad y Ciencia Trópico húmedo.* 22 (2): 131-139.

Martocchia, L., Brambilla, G., Macri, A., Moccia, G. and Consentino, E. 1995. The effect of transport on some metabolic parameters y meat quality in pigs. *Meat Sci.* 40:271.

Mayes, A. P. y Bender, A. D. 2004. Capítulo 19. Gluconeogénesis y control de glucosa en la sangre. Murray, K. R., Mayes, A. P., Granner, K. D. y Rodwell, W. V. (Eds.) Harper. *Bioquímica Ilustrada, El Manual Moderno.* 16ª. Ed. México. Pp. 173-183

Milan, D., Jeon, J. T., Looft, C., Amarger, V., Robic, A., Thelander, M., Rogel-Gaillard, C., Paul, S., Lannuccelli, N., Rask, L., Ronne, H., Lundstrom, K., Reinsch, N., Gellin, J., Kalm, E., Leroy, P., Chardon, P. and Andersson, L. 2000. A mutation in PRKAG3 associated with excess glycogen content in pig skeletal muscle. *Science.* 288:1248-1251.

Monin, G., Mejenes-Quijano, A., Talmant, A. and Séllier, P. 1987. Influence of breed y muscle metabolic type on muscle glycolytic potential y meat pH in pigs. *Meat Sci.* 20: 149-158.

Moreno, G. B. 2006. Higiene e Inspección de la carne. España: *Ediciones Díaz de Santos.* pp. 162-186.

Morón-Fuenmayor, O. y Zamorano, G. L. 2004. Pérdida por goteo en carne cruda de diferentes tipos de animales. *RC* v.14 n.1 Maracibo feb.

Mota-Rojas, D., Becerril-Herrera, M., Lemus, F. C., Alonso, S. M. L. Ramírez-Necoechea, R. y Escobar, I. I. 2005. Calidad de la Carne, Salud Pública e Inocuidad Alimentaria. *Serie Académicos CBS. Universidad Autónoma Metropolitana*. México No. 52. 353 pp.

Mota-Rojas, D., Becerril, M., Lemus, C., Sánchez, P., González, M. S., Olmos, S. A., Ramírez, R. and Alonso-Spilsbury, M. 2006. Effect of different periods of transport on pre- y post slaughter performance y pork quality. *Meat Sci.* 73: 404-412.

Mota-Rojas, D., Becerril Herrera, M., Trujillo-Ortega, M. E., Alonso-Spilsbury, M., Flores-Peinado, S. C. and Guerrero-Legarreta, I. 2009. Effects of Pre-Slaughter Transport, Lairage and Sex on Pig Chemical Serologic Profiles. *Journal of Animal and Veterinary Advances.* 8(2): 246-250.

Mounier, L., Dubroeuq, H., Andanson, S. and Veissier, I. 2006. Variations in meat pH of beef bulls in relation to conditions of transfer to slaughter y previous history of the animals. *J Anim Sci* 84:1567-1576.

Naveau, J. 1986. Contribution à l'étude du déterminisme genetique de la qualité de la viande porcina. Heretabilité du rendement technologique Napole. *J. Rech. Porcine en France.* 18:265-276.

Nodwell, A., Carmichael, L., Ross, M. and Richardson, B. 2005. Placental compared with umbilical cord blood to assess fetal blood gas y acid-base status. *Obstetrics & Gynecology.* 05(1):129-138.

NORMA Oficial Mexicana NOM-194-SSA1-2004, Productos y servicios. Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y

faenado de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio.  
Especificaciones sanitarias de productos.

NORMA Oficial Mexicana NOM-051-ZOO-1995, Trato humanitario en la  
movilización de animales. México, 1995.

NORMA Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995, Sacrificio humanitario de los  
animales domésticos y silvestres. México, 1995.

NORMA Oficial Mexicana NOM-009-ZOO-1994, Proceso sanitario de la carne.  
México, 1994.

O'Neill, D. J., Lynch, P. B., Troy, D. J., Buckley, D. J. and Kerry, J. P. 2003.  
Influence of the time of year on the incidence of PSE y DFD in Irish pig meat.  
*Meat Sci.* 64; 105–111

Oliver, M.A., Gispert, M., Tibau, J. and Diestre, A. 1991. The measurement of  
light scattering y electrical conductivity for the prediction of PSE pig meat at  
various times post mortem. *Meat Sci.* 29, 141-151.

Oliver, M. A., Gispert, M. and Diestre, A. 1993. The effects of breed y Halothane  
sensitivity on pig meat quality. *Meat Sci.* 35: 105-118.

Pearson, M.A. 1994. Ciencia de la carne y de los productos cárnicos: Función  
muscular y los cambios post mortem. Zaragoza: *Acribia*.

Pérez, R. E. 2007. Porcicultura Intensiva y Medio Ambiente en México  
Situación Actual y Perspectivas. Disponible en: <http://opac.udea.edu.co/cgi-olimp/?infile=details.glu&luid=617583&rs=9434660&hitno=-1>  
<http://www.google.com/url?sa=t&source=web&cd=3&ved=0CCIQFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.itson.mx%2Fdiep%2FEspecialidades%2Fpagina%2520porcino%2Fcursos%2Fformacionmet%2FPorcicultura%2520Intensiva.doc&rct=j&q=>

[rosario%20perez%20espejo%202007.%20Porcicultura%20Intensiva%20y%20Medio%20Ambiente%20en%20M%C3%A9xico%20Situaci%C3%B3n%20Actual%20y%20Perspectivas.&ei=dp1mTSGPmrAD0PjxpgQ&usq=AFQjCNGK0pvbMT90zArrqlvmxKP-24MH4w&sig2=alf5QuTgV4qvZXFZEU9YMQ&cad=rja](http://rosario%20perez%20espejo%202007.%20Porcicultura%20Intensiva%20y%20Medio%20Ambiente%20en%20M%C3%A9xico%20Situaci%C3%B3n%20Actual%20y%20Perspectivas.&ei=dp1mTSGPmrAD0PjxpgQ&usq=AFQjCNGK0pvbMT90zArrqlvmxKP-24MH4w&sig2=alf5QuTgV4qvZXFZEU9YMQ&cad=rja)

Accesado: 18/02/2011

Perremans, S., Randall, J. M., Allegaert, L.M., Stiles, A., Rombouts, G. and Geers, R. 1998. Influence of vertical vibration on heart rate of pigs. *J. Anim. Sci.* 76:416-420.

Pommier, S. A., Pomar, C. and Godbout, D. 1998. Effect of the halothane genotype y stress on animal performance, carcass composition y meat of crossbred pigs. *Can. J. Anim. Sci.* 78:257-264.

Prädl, O., Fischer, A., Shmidhofer, T. and Sinell, H. 1994. Tecnología e higiene de la carne. *Acribia*. Zaragoza, España. Pp. 19-34.

Preston, T. R. y Willis, M. B. 1986. Producción intensiva de carne. *Diana*. México. 736 pp.

Prince, J. F. and Schweigert, B. S. 1994. Ciencia de la carne y de los productos cárnicos. *Acribia*. Zaragoza, España. Pp. 139-166.

Raj, A. M. and 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.

Robinson, E. 1999. Capítulo 47: Transporte de gases en la sangre. Cunningham. Fisiología Veterinaria. *McGraw-Hill interamericana*, México. Pp 659-676.

Rodríguez, P., Oliver, M., Manteca, X., Dalmau, A. y Velarde, A. 2006. Efecto del aturdimiento sobre la calidad de la canal y de la carne en corderos. *EUROCARNE* 148: 1-6.

Rosmini M. y Signorini, P. M. 2006. Capítulo 1. Estrés y manejo pre-sacrificio. Hui, Y. H., Guerrero, L. I. y Rosmini, R. M. (Eds.) Ciencia y tecnología de carnes. *Limusa*. México. pp. 17-42

SAGARPA. 2004. Llama Usabiaga a poricultores a cambiar, de la venta de cerdo en pie, a la de cortes y piezas. Disponible en:

<http://www.sagarpa.gob.mx/cgcs/boletines/2004/septiembre/B226.pdf>

SAGARPA. 2009<sup>a</sup>. La carne de cerdo mexicana es muy confiable. Disponible en:

<http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/Paginas/2009-B094.aspx>

Accesado: 18/02/2011

SAGARPA. 2009<sup>b</sup>. Hace falta mayor solidaridad con los poricultores: ACJ.

Disponible en:

<http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/Paginas/2009-B104.aspx>

Accesado: 18/02/2011

SAGARPA. 2009c. Situación actual y perspectivas en la producción de carne de porcino en México 2009. Disponible en:

<http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia>

Accesado: 18/02/2011

Sánchez-Chiprés, D. R., Villagómez, D., Galindo-García, J. and Ayala-Valdovinos. 2008. Productive performance of carriers pigs of halothane gene under no controlled climate. *REDVET*: 9 (5). Disponible en:

<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050508.html> Accesado: 18/02/2011

Sandi, C., Venero, C. y Cordero, M. I. 2001. Estrés, memoria y trastornos asociados. *Editorial Ariel*. Barcelona, España. Pp. 456.

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2008 Disponible en: <http://www.senasica.gob.mx> Accesado: 18/02/2011

Shaw, D. F., and Turne, K. R. 1992. The assessment of pre-slaughter treatments of livestock by measurement of plasma constituents: A review of recent work. *Meat Sci.* 32:311–329.

Shen, Q. W., Gerrard, D. E. and Du, M. 2008. Compound C, an inhibitor of AMP-activated protein kinase, inhibits glycolysis in mouse longissimus dorsi post-mortem. *Meat Science* 78: 323–330.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2007. Directorio Nacional de Centros de Sacrificio de Especies Pecuarias de los Estados Unidos Mexicanos. SAGARPA. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>. Accesado: 18/02/2011

Signorini, P. M., Civit, S. G., Bonilla, P. M. and Cervantes, V. M. 2005. Guía para la administración de rastros y mataderos municipales. *Comisión Nacional para la Protección contra Riesgos Sanitarios*. México, D.F.

Simmons, F. B., Mathews, R. G., Walker, M. G. and White, R. L. 1979. A Functioning Multichannel Auditory Nerve Stimulator A Preliminary Report on Two Human Volunteers. *Acta Oto-laryngologica.* 87(3-6):170-175.

Silva, J. R., Tomic G., Caviarés E., Mansilla A. y 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.

Tadich, N., Gallo, C., Brito, M. and Broom, D. 2008. Effects of weaning y 48 h transport by road y ferry on some blood indicators of welfare in lambs. *Livestock Sci.* 121, 132-136.

Tarrant, P. V. 1989. The effects of handling, transport, slaughter and chilling meat quality and yield in pigs. A review. *J. Food Sci. Tec.* 13:79.

Tarumán, J. A. y Gallo, C. B. 2008. Contusiones en canales ovinas y su relación con el transporte. *Arch. Med. Vet.* 40: 275-279.

Török, T. L. 2007. Electrogenic Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup>-exchange of nerve y muscle cells. *Prog Neurobiol.* 82(6):287-347

Van der Wal, P. G. 1978. Chemical y physiological aspects of stunning in relation to meat quality. *Meat Sci.* 2:19-30.

Vartnam, A. H. y Sutherland, J. P. 1998. Introducción. *Carne y productos cárnicos: tecnología, química y microbiología*. Acribia. Zaragoza, España. Pp. 1-40.

Velarde, A., Gisper, M., Faucitano, L., Manteca, X., and Diestre, A. 2000. The effect of stunning method on the incidence of PSE meat y haemorrhages in pork carcasses. *Meat Sci.* 55:309–314.

Velazco, J. 2001. Prevención de PSE en carne de cerdo. *Carne Tec.* Nov/Dic: 28-29, 32 y 34.

Villanueva, D. G., Mota, D. R., González, M. L., Olmos, A. H., Orozco, H. G. y Sánchez, P. A. 2008. Capítulo 19. Importancia de la gasometría sanguínea en perinatología. Mota, D. R., Nava, A. O., Villanueva, D. G. y Alonso, M. L. S.



(Eds.) Perinatología y Ginecología animal: enfoques clínicos y experimentales. *B. M. Editores*, México. pp:231-240.

Villaruel, M., María, G. A., Sierra, I., Sañudo, C., García-Belenguer, S. and Gebresenbet, G. 2001. Critical points in the transport of cattle to slaughter in Spain that may compromise the animal's welfare. *Veterinary Record*. 149:173-176.

von Borell, E. H. 2001. The biology of stress y its application to livestock housing and transportation assessment. *J. Anim. Sci.* 79 (E. Suppl.):E260–E267

Warris, P. D. 2000. Chapter 7: The effects of live animal handling of carcass y meat quality. *Meat Science an introductory text*. *CABI Publishing*. London, UK. Pp: 131-155.

Weaver, S. A., Dixon, W. T., and 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.

Webb, A. J. 1980. The halotane test: Apractical methods of eliminating, porcine stress syndrome. *Veterinary Records* 106:410.

Werner, M. and Gallo, C. 2008. Effects of transport, lairage and stunning on the concentrations of some blood constituents in horses destined for slaughter. *Livestock Sci*. 115:94–98.