

# Nacameh

Publicación electrónica arbitrada en Ciencia y Tecnología de la Carne  
cbs.izt.uam.mx/nacameh  
ISSN 2007-0373

NACAMEH Vol. 7, No. 2, pp. 41-64, 2013

## Efecto del manejo pre-mortem en la calidad de la carne Pre-mortem handling effect on the meat quality

Hernández Bautista Jorge<sup>1</sup>, Aquino López Jesica Leticia<sup>1✉\*</sup>, Ríos Rincón Francisco Gerardo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca, Oaxaca, México; <sup>2</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Sinaloa, Sinaloa, México. ✉ Autor de correspondencia:

j.aquino180@yahoo.com.mx. \*Adscripción actual: Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Zootecnia, Chihuahua, México.

### Resumen

La calidad de la carne, las características principales que determinan la calidad son las propiedades fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas. Estas características están influenciadas por factores como son sistema de producción, grupo racial, alimentación y manejo pre-mortem de los animales y manejo post-mortem de la carne. El manejo pre-mortem es muy importante, donde la fisiología del estrés, y los factores que la causan (ayuno, transporte, espera, aturdimiento y especie) y el efecto que tiene cada etapa del manejo pre-mortem, se ve reflejado en la calidad de la carne obtenida (pH, conductividad, color, capacidad de retención de agua y vida de anaquel).

**Palabras Clave:** Manejo ante-mortem, estrés, transporte, aturdimiento, especie, calidad.

### Abstract

The main characteristics that define meat quality are the physicochemical, organoleptic and microbiological properties. These characteristics are influenced by like production system, racial group, feed, transport, ante-mortem animals handling and post-mortem meat handling. The ante-mortem handling is very important, where stress physiology and the factors that provoke it (fasting, transportation, stunning, specie) and their effect in each step of the ante-mortem handling is reflected in final meat quality (pH, conductivity, color, water holding capacity and shelf life).

**Keywords:** Ante-mortem handling, stress, specie, transport, stunning, quality.

## INTRODUCCIÓN

El término calidad se refiere a la constitución o propiedades que un producto posee, de dichas características dependerá su aceptación por parte del consumidor. Las características naturales más importantes de la carne fresca que determinan la calidad son las propiedades físico-químicas (pH, capacidad de retención de agua, color, textura, etc.), organolépticas (suavidad, consistencia, olor, sabor, etc.) y microbiológicas. Estas propiedades son influidas por factores independientes e interdependientes como sistema de producción, alimentación, grupo racial, transporte, estado de salud, manejo del animal antes y después de la matanza, manejo de la carne y procedimientos de conservación. El estrés causado a los animales por un deficiente manejo pre-mortem impacta negativamente en la calidad de la carne. El organismo de un animal estresado produce cambios hormonales muy intensos que afectan la composición del tejido muscular en el animal en vivo y las características de la carne obtenida. En cerdos, el estrés frecuentemente produce carnes tipo PSE (pálida, suave y exudativa) y en bovinos tipo DFD (de sus siglas en inglés dry, firm y dark). Este tipo de carnes son rechazadas por los consumidores.

Considerando la importancia del manejo pre-mortem en la calidad de la carne se realizó el presente ensayo. En el documento se encuentran temas como la fisiología del estrés, el efecto de cada paso del manejo pre-mortem, el impacto de éste en las especies de mayor interés zootécnico y sus implicaciones con la calidad de la carne obtenida y así como su efecto en la vida en anaquel. En esta ocasión se dejan de lado otros factores que contribuyen de manera importante con la calidad de la carne.

### **Efecto del manejo pre-mortem en la calidad de la carne**

#### ***Fisiología del estrés***

El estrés es una adaptación hormonal y bioquímica del medio interno e intracelular del animal a los cambios bruscos e intensos del medio ambiente que le permiten sobrevivir (Dantzer, 1981; Heinze y Mitchell, 1989). Los animales que son transportados y manejados antes del sacrificio de manera inadecuada, generan un estado de estrés; este produce cambios hormonales muy intensos que afectan la composición química de la sangre y del tejido muscular en el animal en vivo. Además afectan las características fisicoquímicas de la carne después del sacrificio (Kline y Bechtel, 1990; Sackmann y col., 1989; Warris, 1990; Gallo, 2009).

La medición cuantitativa de la secreción de catecolaminas y de cortisol provocada por algún factor estresante, ofrece la posibilidad de determinar el grado de importancia de los factores desencadenantes del estrés. La cantidad de catecolaminas que fluyen en el torrente sanguíneo debido a un estímulo definido, no es significativamente diferente en animales sensibles y resistentes al estrés (Althen y col., 1977). La cantidad de

catecolaminas (adrenalina y noradrenalina), cortisol y tiroxina presentes en el torrente circulatorio se encuentran correlacionadas positivamente con la intensidad del estrés (Friend y col., 1987; Ganong, 1990). En donde la adrenalina refleja un estrés fisiológico, mientras la Noradrenalina se relaciona con la actividad física del animal (Knowless y Warris, 2006 citado por Romero y col., 2011). En la mayoría de las veces la adaptación del animal al estrés depende de la velocidad con la que se producen los cambios hormonales. Las catecolaminas ejercen a través de mecanismos de regulación vegetativa y estimulación metabólica un efecto negativo en la calidad de la carne (Haid y col., 1973 citado por Troeger y Woltersdorf, 1989). Por efecto la adrenalina y noradrenalina se produce un aumento del ritmo cardiaco con incremento en la presión sanguínea y por lo tanto mayor circulación de sangre en el músculo debido a una vasodilatación y paralelamente una vasoconstricción periférica. Estos procesos pueden estar relacionados con la formación de equimosis y petequias en la musculatura (comúnmente llamado salpicado o manchado). La adrenalina junto con las demás hormonas provoca a través de la activación de sistemas enzimáticos un aumento en la degradación de glucosa muscular (glucógeno) a ácido láctico, lo que después del sangrado origina un acelerado descenso del pH en la musculatura, debido a la ausencia de la función buffer y transporte de sangre. Por lo anterior se puede decir que todas las hormonas que intervienen en el proceso tienen un efecto diabetogénico.

El efecto que tiene la privación de alimento en bovinos sobre variables sanguíneas indicadoras de estrés difiere según su duración (horas) y según vaya o no acompañada de transporte (Gallo, 2009). Se puede decir también que distintos tiempos de espera en los corrales pre-mortem generan distintos estados de resistencia al estrés. En consecuencia las hormonas que intervienen en el estrés y el metabolismo del glucógeno en el músculo variarán de acuerdo al tiempo de espera. Estas diferencias se manifestarán en la glucogenólisis y en el descenso de pH. La producción de ácido láctico que se acumula en el músculo desestabiliza las membranas lisosomales y activa las enzimas proteasas calcio dependientes, catepsinas y glucoronidasas (Calkins y col., 1987). Las proteasas calcio dependientes actúan a un pH cercano a 7 y las catepsinas a un pH alrededor de 6 (Calkins y Seideman, 1988; Bruce y Ball, 1990). La curva de pH antes de alcanzado el *rigor mortis* influye sobre la calidad de la carne. Así que una glucogenólisis rápida genera una carne pálida, suave y exudativa (PSE) y la glucogenólisis lenta genera una carne oscura, firme y seca (DFD).

### **Factores asociados al transporte**

#### ***Tiempo de ayuno (privación de alimento)***

El tiempo de ayuno es la suma total de tres diferentes etapas: tiempo entre la última vez que el animal consumió alimento sólido en la unidad de producción pecuaria y el comienzo del transporte, tiempo de transporte y la permanencia en los corrales de espera

del matadero. En el periodo entre el arreo del ganado y el comienzo de transporte tiene lugar la primera etapa de la evacuación del tracto gastrointestinal. Esto favorece al aparato circulatorio y los animales llegan a la planta de beneficio en buenas condiciones (Fischer y col., 1988). En muchas ocasiones el periodo entre el último contacto del animal con el alimento y el inicio del transporte es muy corto o no se da, debido a que no existe una logística de comercialización, o bien por un desconocimiento de los procesos fisiológicos que se describen en el presente ensayo.

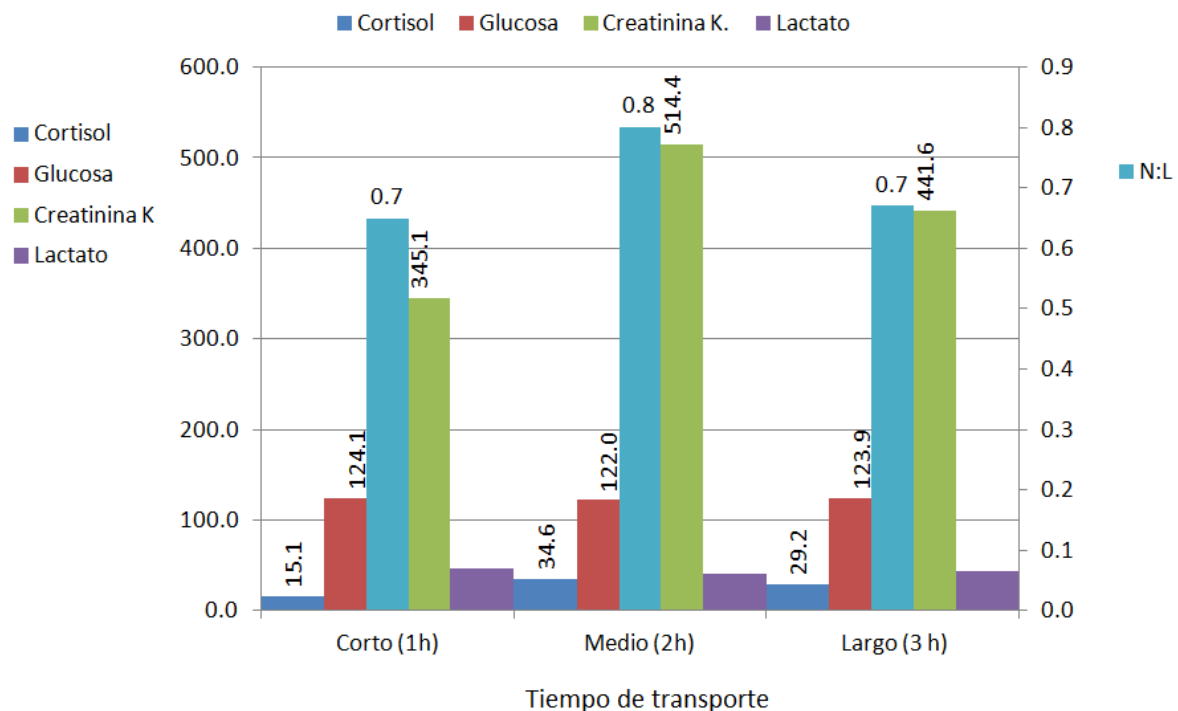
### ***Transporte***

Este es uno de los factores más severos ya que la mayor parte de las muertes o traumas que se traducen en hematomas en la canal, ocurren durante el transporte; camiones indebidamente ventilados o condiciones climáticas calurosas causan enormes molestias a los animales. Además de las pérdidas anteriores, la contracción del tejido muscular y la reducción del peso de la canal son una consecuencia del transporte prolongado (Forrest y col., 1979; Gallo, 2008). El transporte ocasiona un gran estrés psíquico y físico que se traduce en pérdidas (0.5 a 3 %) que pueden ocurrir durante e inmediatamente después del transporte (Sackmann y col., 1989; Grandin y col., 1995). Buckham y col. (2008) encontraron que el estrés causado durante el transporte de novillos de carne altera la concentración de las variables fisicoquímicas del metabolismo, de los indicadores de inflamación y de las hormonas esteroideas que se consideran como biomarcadores de estrés e inmunosupresión. Bajo condiciones normales de manejo, el peso de la musculatura no se ve afectado, aunque los animales pierden del 2 al 5 % de su peso vivo debido a mermas del contenido gastrointestinal (Forrest y col., 1979).

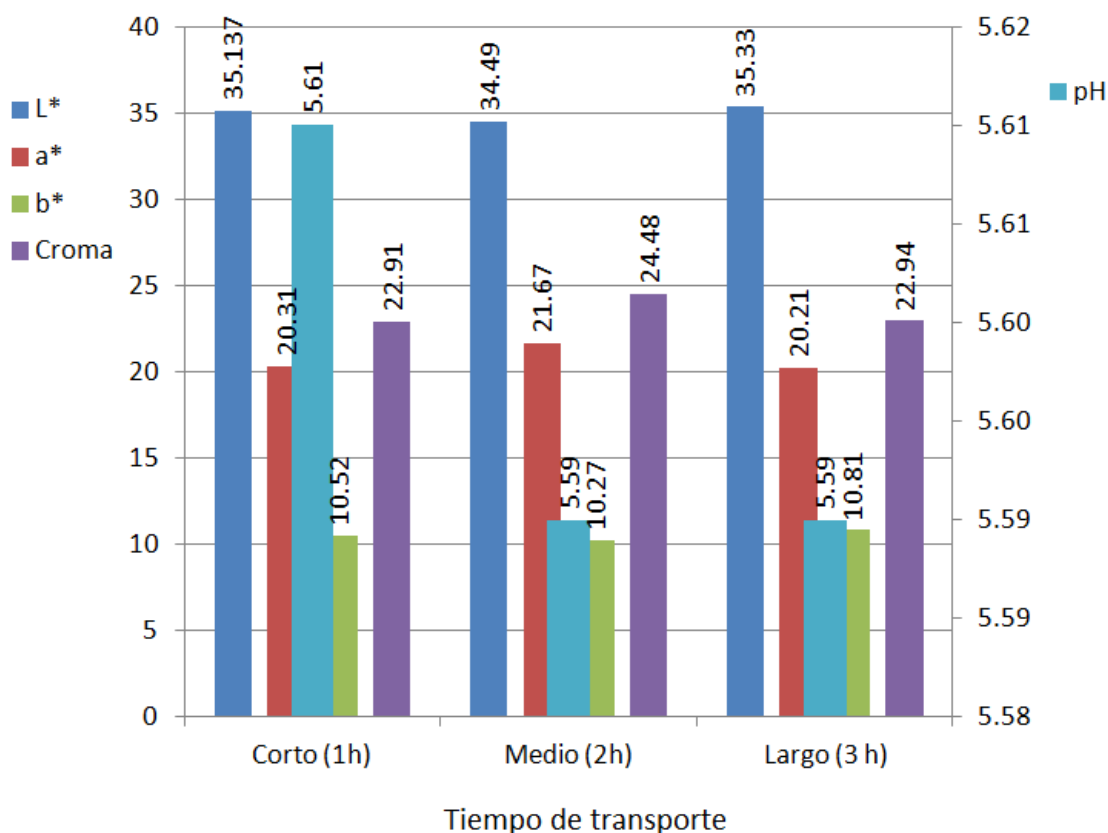
El incremento del tiempo de transporte desde la granja al rastro usualmente tiene efectos negativos sobre la calidad instrumental de la carne (Warris, 2000; María y col., 2003). Sin embargo, son escasos los estudios sobre la calidad sensorial de la misma (Villaruel y col., 2003). El transporte supone un cambio ambiental que desafía la actividad del eje Hipotálamo-Hipófisis-Adrenales lo que produce un aumento de los niveles de cortisol plasmático y sus metabolitos. Asimismo, el proceso de adaptación supone un gasto energético importante lo que se traduce en un incremento sanguíneo de ciertos metabolitos como el lactato y la glucosa. Cuando el animal realiza ejercicio por encima de lo normal, este se ve reflejado en un aumento de la enzima creatina quinasa (CK), indicadora de actividad muscular y daño de membranas (Grandin, 2000). Está ampliamente generalizada la opinión de que tiempos de transporte inferiores a 4 horas tienen un escaso efecto sobre el pH a 24 horas, siempre que las condiciones del mismo sean apropiadas (Grandin, 2000). Sin embargo, ha sido demostrado que viajes aún en cortas distancias, pueden deprimir los contenidos de glucógeno en músculo e incrementar la temperatura muscular (Agnes y col., 1990), aunque no siempre se vea reflejado en el pH último de la carne (Fernández y col., 1996; Lensink y col., 2001). Por lo tanto el transporte en asociación con otros factores como formación de lotes con animales desconocidos,

prolongado tiempo de espera, privación de agua y temperaturas ambientales extremas contribuyen a obtener carnes DFD y PSE.

En las Figuras 1 y 2 se muestra el efecto de los tiempos de transporte manejados en España en los indicadores de bienestar animal y color de la carne. A pesar de las diferencias significativas encontradas por los autores, los valores en los tres diferentes tiempos se pueden considerar como normales. Por lo tanto, es posible afirmar que aún en los viajes largos el efecto del transporte puede ser mínimo, solo si durante él mismo se da un buen manejo (Villarroel y col., 2003). Durante el transporte las aves están expuestas a distintos factores estresantes como vibraciones, movimientos bruscos, alta densidad, ayuno, nueva jerarquía social, ruido; los medios de transporte y el equipo utilizado tienen un papel importante para contra restar algunos de estos factores. Así mismo, el tiempo de transporte tiene un efecto sobre el número de decesos pre-mortem, la incidencia de hematomas, el estrés pre-mortem y la variación de la población de microorganismos presentes en el tracto digestivo. El transporte largo trae consigo un ayuno prolongado el cual reduce hasta 0.3 % el rendimiento canal y empeoran el aspecto y la proporción de la pechuga, debido a la deshidratación (López, Blanco y Seijas, 2011).



**Figura 1. Indicadores de bienestar animal (metaboltitos y relación N:L –Neutrófilos:Leucocitos–) para tres tiempos de transporte (adaptada de Villarroel y col., 2003a)**



**Figura 2. Indicadores de bienestar animal (color y pH) para tres tiempos de transporte (adaptada de Villaroel y col., 2003a)**

### ***Tiempo de espera***

La necesidad de un tiempo de espera después del transporte, es una práctica muy aceptada y arraigada en muchos países, uno de los factores que más influye en la calidad de la carne es el tiempo de reposo (Dantzer y Morméde, 2002) pero debido a las diferentes condiciones prácticas, de logística, infraestructura y económicas, no existe un acuerdo respecto a la duración de este tiempo (Sackmann y col., 1989). Durante el tiempo de permanencia en los corrales de espera del matadero si el manejo es el adecuado, se estabiliza el aparato circulatorio y el metabolismo en general, por lo tanto el tiempo de permanencia debe de adecuarse al tratamiento sufrido durante el transporte, pero también a las condiciones del frigorífico (disposición de corrales, microclima, alteración de la tranquilidad, etc.) y a la sensibilidad de los animales al estrés. Es por todo lo anterior que las recomendaciones sobre los tiempos de permanencia varían drásticamente de acuerdo a las formas de ensayo.

Por lo regular cuando se brinda asesoría técnica sobre el tiempo de ayuno pre-mortem, lo primero que el interesado pregunta es si existe un efecto del tiempo de espera y de ayuno sobre el rendimiento de la canal. Al respecto, Fischer y col. (1988) demostraron que cerdos con un tiempo de ayuno de 12 h, un tiempo de transporte de 10 min y una hora de permanencia, obtienen rendimientos de la canal caliente del 81 %, cuando los autores compararon este tratamiento con tiempos totales de ayuno de 48 y 72 h el rendimiento de las canales decreció en 2 y 2.5 % respectivamente. En otro estudio, los mismos autores evaluaron cinco diferentes tiempos de permanencia (1, 12, 24, 36 y 48 h) en el matadero luego de un ayuno en la granja de 12 horas incluyendo en este último periodo 20 min de transporte. Encontraron que cerdos con un periodo de permanencia de una hora obtuvieron rendimientos de canal caliente superiores en 2.2, 2,7 y 3.4 % al compararlo con los periodos de permanencia de 24, 36 y 48 h respectivamente. Flores y Rosmini (1993) evaluaron tiempos de espera de 24 y 48 h en ganado bovino y concluyeron que un tiempo de espera de 24 h contribuye a que la curva de descenso de pH se comporte de manera normal. Tiempos de espera por arriba de las 24 h presentan un descenso más brusco de pH y el tiempo para alcanzar el *rigor mortis* es más corto. Los autores también encontraron una alta correlación entre el nivel de glucosa en sangre al momento del sacrificio y los valores de pH de la carne. Desdémona y col. (2013) evaluaron cuatro diferentes tiempos de reposo (0, 6, 12 y 18 h) en una planta TIF de ganado ovino; encontraron que los animales con 18 y 12 horas de reposo mostraron mejores valores de pH y temperatura corporal durante el proceso post-mortem en comparación con canales provenientes de animales con 0 y 6 horas de reposo, en donde la carne fue oscura, firme y seca. Para Sackmann y col. (1989) un tiempo de espera entre 120 y 240 min es suficiente para que la carne obtenida sea de calidad. Los autores también sugieren que un sencillo examen clínico antes del sacrificio es un buen indicador del efecto de estrés. La congestión de la vena de la oreja es un punto de referencia para saber la situación de estrés del animal, se considera que un cerdo se encuentra descansado cuando la vena de la oreja no presenta ninguna congestión y casi no se percibe. Cuando la temperatura rectal es superior a 39 °C, la frecuencia respiratoria por arriba de 30 respiraciones por minuto, la frecuencia cardiaca mayor a 100 latidos por min y la vena de la oreja congestionada se debe de admitir la existencia de un alto riesgo de glucólisis acelerada. Según investigaciones efectuadas por Augustini (1983) el sacrificio inmediato luego del transporte originó más de 40 % de casos PSE en cerdos. Este argumento es respaldado por los ensayos hechos por Lengerken y col. 1977 (citado por Sackmann y col., 1989) y Lengerken y Hennebach (1980). Prange y col. (1977) observaron que luego de una hora de transporte cuidadoso un tiempo de espera entre 30 y 90 min, basta para una suficiente recuperación de los animales; un tiempo mayor al recomendado no mejora la calidad de la carne.

A manera de conclusión, se puede decir que el tiempo de espera en los corrales pre-mortem, debe adecuarse a las condiciones y tiempos de transporte. Cuando se tienen

buenas condiciones de manejo y un tiempo de transporte menor a 4 h, basta un tiempo de descanso de 120 min. Sin embargo, si las condiciones no son las idóneas en el transporte, el tiempo de descanso se debe de alargar hasta 12 h no importando si el tiempo de transporte es corto o largo. En tiempos de transporte por arriba de las 6 h con condiciones de manejo adecuadas se recomienda solo de 4 a 8 h de permanencia en los corrales del matadero.

### **Aturdimiento**

El objetivo del aturdimiento, es que el animal pierda en forma inmediata la conciencia, para así evitar cualquier sufrimiento innecesario durante el sangrado (Gallo y col., 2003). Así también el aturdimiento facilita la inmovilización correcta del animal para la realización del corte de los vasos sanguíneos (Warris, 1984, 1996), además de reducir el riesgo de accidentes laborales a los operarios (Lawrie, 1998b).

### **Aturdimiento eléctrico**

El aturdimiento eléctrico de cerdos se inició en algunos países de Europa en 1928, desde entonces los aspectos de protección animal y las deficiencias en la calidad de la carne por efecto de este método se encuentran en el primer plano de la discusión (Ring y Kortmann, 1989). Lawrie (1998b) menciona que desde la adopción del método de insensibilización eléctrica ha incrementado la incidencia de la salpicadura de sangre en los músculos, debido a que en el animal estresado se produce una dilatación de los vasos sanguíneos del musculo esquelético, aumentando la actividad fibrinolítica de la sangre retenida. Para que la inconsciencia sea instantánea y sin dolor el cerebro del animal debe recibir suficiente corriente eléctrica para inducir un ataque epiléptico. El estado inconsciente del cerebro se consigue mediante una descarga eléctrica de alrededor de 300 V y 1.5 Amp, con el fin de que el corazón no interrumpa su función y se consiga un sangrado completo (Alarcón y col., 2008).

Del aturdimiento eléctrico se critica sobre todo la numerosa aparición de hemorragias y la fractura de huesos. Las hemorragias se presentan puntiformes y difusas y las fracturas por arrancamiento y compresión. El primer problema se da por efecto de la aplicación de bajos voltajes, el segundo debido a la automatización de los sistemas de aturdimiento, tal es el caso del uso del refrenador-transportador o *restrainer* (en Inglés) con voltajes altos alrededor de 600 v. En la actualidad existen grandes diferencias entre los voltajes, la intensidad de corriente, tiempo de aturdimiento y periodo entre aturdimiento-desangrado utilizados en el sacrificio de cerdos. Por ejemplo, los voltajes utilizados van de 70 a 700 volts. Otro problema que contribuye al estrés de los animales es la mala condición de los electrodos o el deficiente contacto con los mismos. Gamboa y col. (2005b) evaluaron el efecto del tiempo entre insensibilizado y desangrado sobre las características fisicoquímicas de la carne de cerdo. Observaron que la reducción del tiempo entre insensibilizado y desangrado de 16 a 4 segundos trae como resultado una



reducción en el consumo de energía por los movimientos musculares obteniendo una caída de pH más lenta. Woltersdorf y Troeger (1988) evaluaron en cerdos, un aturdimiento con 200 volts usando pinzas y un alto voltaje (700 volts) con trampa automática. Los autores demostraron que el uso de voltajes altos con trampas automáticas mejora drásticamente los valores del pH a los 45 min post-mortem y por lo consiguiente reduce el porcentaje de canales con carne PSE. También concluyeron que el sangrado con el animal recostado mejoró el pH a los 45 min. Ring y Kortmann (1989) determinaron que con el uso de insensibilizado automático con alto voltaje (600 volts) solo el 13 % de los casos presentaron pH por debajo de 5.6. Por el contrario el 33.8 % de los cerdos aturridos con pinzas (180 volts) presentó pH menores a 5.6. Por lo que los autores sugieren el uso del refrenador-transportador o restrainer y 600 volts. Se puede decir que los métodos automáticos con alto voltaje ayudan a mejorar las características de la carne obtenida, por lo que la inversión en la adquisición de esta tecnología es recuperable a mediano plazo.

#### ***Aturdimiento con pistola de perno cautivo***

La conmoción cerebral en bovinos se logra usando las pistolas de proyectil cautivo con penetración del cráneo (Eikelenboom, 1983; Lambooy, 1983). La pistola contiene un perno o proyectil, el cual es impulsado ya sea por la detonación de un cartucho de explosivos o por aire comprimido. El perno perfora el cráneo y retorna a la pistola a través de una manga recuperadora que lo rodea (Blackmore y Delany, 1988). La pistola de proyectil cautivo provoca conmoción cerebral, generalmente de tipo irreversible, por la fuerza con que el proyectil impacta el cráneo y daña el cerebro (Finnie, 1993). Una insensibilización efectiva con este instrumento depende de la fuerza del proyectil y de que el golpe se efectúe en la parte correcta del cráneo. La mejor posición es donde el cerebro está más cerca de la superficie de la cabeza y donde el cráneo es más delgado; en el bovino la posición ideal es en la mitad de la frente, en el punto de cruzamiento de dos líneas imaginarias trazadas del centro de la base de los cuernos al ojo opuesto. La pistola debe sostenerse en ángulo recto en relación al cráneo (H.S.A, 1998). Ríos y Acosta (2008) señalan que el uso de aturridores mecánicos puede representar un riesgo para la calidad microbiológica de la carne, debido a que estos pueden introducir material contaminante a través del sistema vascular e influir de manera negativa la demora en el tiempo de desangrado alterando la vida de anaquel.

La Human Slaughter Association (H.S.A., 1998), menciona que el intervalo entre disparo y sangrado debe mantenerse máximo 60 s, para evitar la posibilidad de retorno a la sensibilidad, dolor y sufrimiento innecesario. Para lograr un aturdimiento eficaz es importante que el animal esté lo suficientemente inmovilizado para asegurar el disparo en posición correcta, es por eso que los bovinos se confinan en un cajón expreso o en sujetadores mecánicos (Grandin, 1994). Cuando el animal es aturrido con un proyectil con suficiente fuerza y velocidad, la destrucción del cerebro produce insensibilidad inmediata

y permanente. El corazón seguirá latiendo, hasta que se debilite por la hemorragia del sangrado (U.F.A.W., 1978). Un animal bien noqueado con pistola de proyectil cautivo debe caer inmediatamente, cesar su respiración y los ojos deberán tener una expresión fija, vidriosa y sin reflejo corneal. Gallo y Cartes (2000) encontraron que en salas de sacrificio donde se usa cajón de aturdimiento sin sistema para inmovilizar la cabeza, sólo un 83.6 % de los bovinos cayeron al primer disparo. En cuanto a la presencia de signos indicadores de sensibilidad, se encontró en un 82.5 % de bovinos presencia de respiración rítmica; en 19.8 % de los animales se observaron intentos de incorporarse; en 30.7 % hubo movimientos oculares y en 20.4 % reflejo corneal; en un 45 % de los animales se registraron vocalizaciones y un 31 % mostró intentos de levantar la cabeza al ser colgados en el riel para el sangrado.

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

En la última década muchas plantas de sacrificio en países desarrollados han adoptado el aturdimiento mediante dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El CO<sub>2</sub> es un gas que al ser inhalado produce insensibilidad sin dejar residuos químicos inaceptables en la canal. Actualmente tan sólo se utiliza en aves y ganado porcino, en este último se ha experimentado un fuerte crecimiento. Los cerdos son introducidos en jaulas con capacidad desde 2 hasta 5 cerdos y bajados a un pozo con una concentración superior al 80 % de CO<sub>2</sub>, durante el tiempo suficiente para mantenerlos inconscientes hasta la muerte cerebral. El CO<sub>2</sub> es más pesado que el aire y puede ser almacenado a altas concentraciones en una fosa por debajo del nivel del suelo. El aturdimiento se produce por una depresión de la función neuronal (Roughton, 1964). La inducción de la anestesia en una atmósfera del 80 % de CO<sub>2</sub> incluye tres etapas. La primera etapa tiene una duración aproximada de 20 s y se denomina etapa de analgesia. Durante este periodo la respuesta del animal al dolor y al estrés se reduce gradualmente y la respiración se vuelve más rápida y profunda. Inmediatamente después de la pérdida de consciencia viene la etapa de excitación, que tiene una duración aproximada de 7 s, y en la que se observan en algunos animales movimientos no coordinados y vocalización (Duncan, 2004). Por último aparece la etapa de anestesia en el que se produce relajación de los músculos esqueléticos y respiratorios.

El sistema de aturdimiento con CO<sub>2</sub> tiene la ventaja de que no requiere la sujeción de los animales y de permitir el aturdimiento en grupos, reduciendo así el nivel de estrés. No obstante, este sistema ha sido muy criticado desde el punto de vista del bienestar animal. Estas críticas están basadas en que el dióxido de carbono es un gas ácido y por lo tanto su inhalación es irritante. Además, al ser un potente estimulador respiratorio puede causar sensación de asfixia antes de la pérdida de la sensibilidad (Gregory y col., 1990). Se ha señalado también que durante el periodo de inducción, la violenta excitación que muestran los animales es en realidad un intento consciente de huida. Por el contrario, otros autores que han realizado evaluaciones conductuales en animales expuestos a atmósferas del 80 % de CO<sub>2</sub>, señalan que durante la fase de inducción los animales no

reaccionan de manera exagerada a la exposición al gas. Estas investigaciones indican que el periodo de excitación está precedido por un patrón electroencefalográfico de alta amplitud y baja frecuencia. Este patrón indicaría que el animal está inconsciente durante esta fase de actividad motora violenta (Forslid, 1987). La rapidez con que los animales alcanzan el estado de inconsciencia depende tanto de la concentración atmosférica inicial de CO<sub>2</sub> como del gradiente de concentración del sistema (Holst, 1997, Moreira y col., 2009). Los sistemas de aturdimientos óptimos requieren inmersiones rápidas del animal a altas concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosféricos (90 %). Estas inmersiones rápidas reducen la excitabilidad del animal, reduciéndose el tiempo de inducción de la inconsciencia (Velarde, 2004 citado por Moreira y col. 2009). Por otra parte, durante la exposición al dióxido de carbono los animales genéticamente sensibles al estrés manifiestan una fase excitatoria más violenta que los resistentes, pudiendo permanecer conscientes durante el inicio de esta fase.

En condiciones comerciales, la anestesia por exposición al CO<sub>2</sub> siempre es reversible, y por lo tanto existen una serie de factores críticos en el manejo del sistema (Velarde y col., 2000a). Dichos factores son por una parte la concentración de dióxido de carbono y la duración del ciclo de exposición de los animales al gas, y por otra parte el tiempo que transcurre desde que el animal sale de la atmósfera de CO<sub>2</sub> hasta que es degollado. Recientemente, en un estudio realizado en salas de sacrificio españolas se observó que mientras que el 99 % de los animales aturdidos eléctricamente permanecen inconscientes hasta el momento de la muerte, este porcentaje es tan solo del 30 % en los animales aturdidos por CO<sub>2</sub> (Velarde y col., 2000a). Los autores mencionan que este problema no se debió al sistema en sí, sino a la implementación del mismo por parte de los operarios. Esta conclusión coincide con lo reportado por Velarde y col. (2000b; 2001) quienes reportaron que el aturdimiento eléctrico provocó una mayor incidencia de carnes PSE en cerdos comparado con el sistema de aturdimiento por CO<sub>2</sub>, debido la estimulación del sistema nervioso, acelerando así el *rigor mortis* y la caída del pH muscular cuando la musculatura está aún caliente. En un estudio realizado con cerdos de genotipo halotano libre y halotano heterocigotos (Velarde y col., 2001) se observó que en animales aturdidos con CO<sub>2</sub> la incidencia de carnes potencialmente PSE fue significativamente superior en las canales de los animales portadores del gen que en aquellos libres. Estos resultados indican que los animales genéticamente susceptibles al estrés tienen una reacción más violenta a la exposición de CO<sub>2</sub> que cerdos libres del gen.

### **Impacto del manejo pre-mortem en cerdos**

El sistema circulatorio de los cerdos presenta la posibilidad de proveer suficiente oxígeno al organismo solo cuando se encuentran bajo condiciones de calma. Un mínimo cambio de condiciones durante el manejo pre-mortem pueden originar si bien no la muerte del animal, si marcadas anomalías en las condiciones de la carne obtenida. Esta extrema sensibilidad al estrés es causada por una serie de particularidades fisiológicas y

anatómicas del cerdo (Forrest y col., 1965), dentro de las que se encuentran el escaso peso del corazón y la insuficiencia funcional. Investigaciones recientes han demostrado que hasta un 75 % de los cerdos que son sacrificados a nivel mundial muestran una tendencia a desarrollar carne con características PSE, sobre todo en los cortes más valiosos de la canal como la pierna y el lomo (Woltersdorf y Troeger, 1990) En la región norte de México alrededor del 35% de los cerdos producidos de forma intensiva manifiestan esta anomalía (Gamboa, 2005a).

La aparición de las características PSE es causada por la alta sensibilidad al estrés de ciertas líneas genéticas de cerdos (Scheper, 1972; Hildebrandt, 1974) En ellos el metabolismo muscular se desarrolla de manera anormal debido al estrés, provocando una acelerada degradación de glucógeno a lactato, esto produce una rápida disminución de pH. Si se combina un brusco descenso de pH luego del sacrificio con una elevada temperatura corporal se produce una desnaturalización proteica con la consiguiente aparición de carne PSE (Honikel y Kim, 1985). Las deficiencias más evidentes que el fenómeno ocasiona es un color pálido y una insuficiente fijación de agua, estas características provocan el rechazo por parte del consumidor y también son una limitante para la transformación de la carne a productos cárnicos. Mientras no aparezcan nuevas líneas genéticas resistentes al estrés, la investigación estará orientada a tratar de revertir las características PSE mediante el manejo pre-mortem y post-mortem. Al respecto Woltersdorf y Troeger (1990) trataron de disminuir las características PSE a través de refrigeración extra-rápida a los 60 min post-mortem y concluyeron que la aplicación del tratamiento con temperaturas entre -35 y -78 °C antes de los 60 min post-mortem mejora el color, la exudación y la evaluación subjetiva de la carne. El transporte de cerdos de la granja al matadero debe reunir condiciones técnicas aceptables para evitar la hipertermia con la posibilidad de afectar adversamente la calidad de la carne (PSE). La densidad de carga máxima en cerdos es de 232 Kg. por m<sup>2</sup>, que corresponde aprox. a 0.47m<sup>2</sup> por cerdo.

### **Impacto del manejo pre-mortem en aves**

Si durante el transporte no se respeta el número de aves por m<sup>2</sup> los problemas que frecuentemente se presentan son hematomas y heridas por arañazos; sin embargo, el principal peligro es la asfixia por golpe de calor. El ayuno de los animales es un factor que se debe llevar a cabo, debido a que el tránsito digestivo se retarda por efecto del estrés causado por la captura, transporte y densidad animal. En general se recomiendan de 4 a 6 horas de ayuno, ya que el aturdimiento eléctrico relaja los esfínteres facilitando la salida del contenido intestinal acompañado de microorganismos entéricos que contaminan la superficie del animal (Ricaurte, 2005).

Uno de los factores que contribuyen a la aparición de coloraciones anormales de la canal son las altas temperaturas durante los últimos días de engorda y en el transporte. Las coloraciones azuladas aparecen en ayunos muy largos, por tiempos de transporte largos, y sobre todo por condiciones de frío (Ricaurte, 2005). Un camión que circula en invierno a velocidad relativamente alta puede provocar que los pollos sufran temperaturas muy bajas; su temperatura rectal puede bajar entre 4 y 14 °C. El desangrado de estos animales es deficiente debido a la intensa vasoconstricción; la carne se vuelve más oscura y consistente y retiene demasiada agua, debido a un insuficiente descenso del pH a causa del agotamiento de las reservas de glucógeno muscular. Se ha encontrado que temperatura ambientales altas en asociación con un mal manejo pre-mortem tienden a producir carne pálida y exudativa en pavos y pollos de engorda, un fenómeno similar al que sucede con ciertas líneas genéticas de cerdos (Mckke y Sams, 1997, 1998). Estas características también ha sido descrita por Cepero (1999), quién argumenta que pollos de engorda que sufren estrés antes del sacrificio presentan pechugas con las mismas características. Los pollos más pesados son más susceptibles a estas condiciones.

Otro problema causado por el manejo pre-mortem es la fractura de fémur y de pequeños huesecillos, como la fúrcula. Las fracturas en extremidades por lo regular son producidas por un mal manejo al momento de la carga y descarga (López, Blanco y Seijas, 2011). Las segundas son producto de violentas convulsiones originadas por un exceso de intensidad de corriente en el aturdidor eléctrico, y que crean un problema adicional de hemorragias petequiales al lesionar los huesos astillados los tejidos circundantes. El aturdimiento eléctrico realizado a elevada intensidad de corriente, desencadena contracciones musculares de gran intensidad. Los vasos de las alas se hinchan de sangre y pueden llegar a romperse, lo que significa la aparición de hemorragias petequiales, sobre todo en las puntas de las alas, articulación húmero-radial y pygostilo. La incidencia de problemas en las alas oscila entre 2 y 7% (media 3.7%), aunque normalmente las alteraciones no son tan graves que haya que eliminarlas. Sin embargo, en las aves que aletean fuertemente, golpeándose con los ganchos, alcanza el 24% (Cepero, 1999). El aturdimiento por gas, y el eléctrico realizado con corrientes de alta frecuencia, reducen la incidencia de este defecto, siempre que el degüello sea muy rápido y se prolongue el tiempo de sangrado.

### **Impacto del manejo pre-mortem en bovinos**

En bovinos cualquier situación de estrés antes del sacrificio se manifiesta en un pH final por arriba 6.2 lo que ocasiona que la carne obtenida presente colores oscuros con una mínima pérdida de agua. Estas características son las idóneas para el crecimiento de microorganismo que hacen que la vida en anaquel de este tipo de carne se reduzca. En la actualidad no existe evidencia que el estrés en bovinos produzca carnes del tipo PSE. El tiempo de transporte es uno de los factores pre-mortem que tienen un efecto directo en la calidad de la carne de bovino. Al respecto Levrino (2004) y Wulf y Wise (1999) argumentan que el tiempo de transporte sólo influyó significativamente sobre el índice de

color rojo ( $a^*$ ) y el pH final de la carne. Tadich y col. (2003) realizaron un experimento con novillos sometidos a dos tiempos de privación de alimento (3 y 16 horas), y además, unos fueron transportados en camión y los otros mantenidos en los corrales del predio. Se observó que para un mismo tiempo, el transporte tuvo un efecto adicional por sobre el de la privación de alimento en corrales, que reflejó un mayor estrés medido en términos de las concentraciones de variables sanguíneas y además mayores pérdidas de peso vivo.

### **Implicaciones en calidad**

#### ***pH***

Desde hace más de tres décadas se han efectuado mediciones de pH a los 45 min y 24 h post-mortem para tipificar la calidad de la carne (PSE y DFD). Actualmente esta determinación objetiva es usada en trabajos de investigación sobre calidad de la carne y en la mayoría de las salas de sacrificio, ya que es una variable que predice de manera precisa la calidad físico-química de la carne obtenida.

Troeger y Woltersdorf (1989) evaluaron el efecto del estrés pre-mortem y del manejo durante el sacrificio en cerdos resistentes y sensibles al estrés. Demostraron que los músculos de cerdos sensibles al estrés pueden alcanzar valores de pH a las 24 h post-mortem normales y similares al pH de músculos de cerdos resistentes al estrés cuando el manejo pre-mortem y de sacrificio es el adecuado. Por el contrario, cuando dicho manejo es inadecuado los músculos de cerdos resistentes al estrés pueden presentar pH por debajo de los rangos normales.

La ausencia de un efecto sobre el pH se puede dar cuando las condiciones de estrés no son muy severas. La relación entre contenido de glucógeno en músculo y pH último es lineal sólo cuando los niveles de glucógeno son muy bajos. Así, reducciones de glucógeno moderadas no se verán reflejadas en el pH final de la carne, aunque el bienestar del animal será afectado.

#### ***Conductividad eléctrica***

La posibilidad de usar la conductividad eléctrica como parámetro de medición para determinar la calidad de la carne se basa en la modificación del intercambio del líquido intracelular (iones) muscular debido a las lesiones en el sistema de membranas durante la glucólisis post-mortem. Por este principio no se puede detectar anomalías de tipo DFD. Respecto a los límites que se deben fijar para detectar anomalías PSE, existen diferentes opiniones científicas. Para Schmitt y col. (1984) una conductividad de 5.0 mS/cm (miliSiemens por cm) a los 45 min post-mortem indica calidad en la carne, valores mayores a 9.0 mS/cm determinan carne con anomalías; entre ambos valores se encuentra una zona dudosa. En el mismo sentido opinan Feldhusen y col. (1987) quienes dan como un valor óptimo 4.8 mS/cm y 9.8 mS/cm como un parámetro que predice anomalías. Los mismos autores apoyan los valores anteriores, sin embargo, proponen que valores

mayores a 7.0 mS/cm a los 40 y 50 min post-mortem indican glucólisis acelerada. Por lo anterior la conductividad eléctrica ofrece una buena caracterización de carne normal. Sin embargo, una buena determinación de carne PSE resulta problemática debido a que hasta el momento no se conoce un límite determinado para anomalías de tipo PSE debido al gran rango de la zona dudosa. Jaud y col. (1993) encontraron correlaciones entre pH y conductividad eléctrica a los 45 min post-mortem de  $r=-0.48$  y  $-0.51$  en los músculos *L. dorsi* y *Semimembranosus*, respectivamente. Estos valores son bajos si se comparan con los descritos en otros artículos:  $r=-0.56$ ,  $r=-0.67$ ,  $r=-0.59$ ,  $r=-0.58$  (Schmittgen, 1986; Sack y col., 1987; Eggert y col., 1990; Sack y Branscheid, 1990, respectivamente; citados por Jaud y col., 1993).

### **Color**

La apariencia visual de la carne determina la respuesta del consumidor en su decisión de compra. El color es probablemente el principal factor que determina esta decisión. Este carácter se asocia con el pH y con el tiempo de maduración (Wulf y Wise, 1999). Por su parte, el estrés pre-mortem puede producir alteraciones en el pH final de la carne y, en consecuencia, afectar a su color. Es razonable pues pensar que un estrés por transporte puede afectar esta importante característica del producto y su aceptabilidad. De hecho, el término DFD hace referencia al tono oscuro (Dark) de la carne. El color evaluado en el espacio  $L^*a^*b^*$  (CIE-Lab) permite tener una valoración objetiva y certera del color de la carne. A pesar de que varios pigmentos están presentes en el músculo, la oxidación de la mioglobina a oximioglobina es el principal contribuyente en el color rojo brillante característico de la carne (Smith y col., 1999).

Hay dos posibles razones para que el color oscuro aparezca y estas no son mutuamente excluyentes. Carne de un pH final alto tiene mayor capacidad de retener agua que carne con pH final bajo o normal (Hamm, 1986). Este resultado es debido a una estructura cerrada, la cual disminuye la velocidad de difusión de oxígeno y por lo tanto la pigmentación por oxigenación, en consecuencia decrece la cantidad de luz reflejada en la superficie de la carne (Lawrie, 1958; MacDougall y Rhodes, 1972). La segunda posible causa de la apariencia oscura es la relación de un elevado pH relacionado con la actividad mitocondrial. La mitocondria sobrevive y funciona mejor en el periodo post-mortem en el tejido de músculos con elevados valores de pH (Urbin y Wilson, 1958; Cheah y Cheah, 1971; Ashmore y col., 1972; Bendall 1972; Bendall y Taylor 1972). El aumento de la actividad mitocondrial tiene como resultado un elevado consumo de oxígeno por el tejido y una aceleración en el oscurecimiento (Ashmor y col., 1972).

Como ya se sabe el pH final de la carne y la concentración de glucógeno en el músculo es muy variable y depende de numerosos factores como el tipo de fibras predominantes en el músculo, raza, sexo, peso, edad, comportamiento, el estado nutricional del animal y, principalmente, los niveles de estrés a los que el animal se ve sometido en el período

previo al sacrificio (Immonen y col., 2000), tales como distancia y tiempo de transporte, tiempo de espera en corrales, ayuno, alta densidad de animales por corral, ambiente nuevo, ruido, condiciones ambientales, olor a sangre y mezcla de animales (Moreno y col., 1999). Es ampliamente aceptado que una reducción en la concentración de glucógeno muscular previo a la matanza es el factor más relevante de la incidencia de carne DFD (Apple y col., 2002). Existe una alta relación entre el contenido de glucógeno muscular con el pH final y el color de la carne después del sacrificio. Durante los últimos años se ha avanzado en cuanto al metabolismo del glucógeno debido al descubrimiento de dos formas de glucógeno: una de bajo peso molecular (400 KDa) llamada proglucógeno y otra de alto peso molecular (10 MDa) llamada macroglucógeno (Lonergan y col., 2002). En el mismo estudio se reportaron mayores contenidos de proglucógeno en músculo Longissimus de cerdos con pH final 5.47 respecto de cerdos con pH 6.04. Los autores demostraron que en los músculos con menor pH final existía una mayor cantidad de la enzima iniciadora de la síntesis de glucógeno, proponiendo que ésta molécula podría ser el factor limitante en determinar la concentración máxima de glucógeno y por consiguiente el pH último de la carne. A pesar de la importancia relativa que podrían tener las diferentes proporciones de glucógeno almacenado como pro y macro glucógeno en la incidencia de carne DFD, los autores no reportan información adicional sobre trabajos evaluando la existencia de estas formas de glucógeno en rumiantes. Esta constituye un área nueva que requiere de mayor investigación (Moreno y col., 1999).

### ***Capacidad de retención de agua***

Este concepto se define como la capacidad de la carne de retener agua durante la aplicación de fuerzas externas. La formación de ácido láctico y la consecuente caída del pH a valores de 5.8 con temperaturas a 38 °C, alteran las propiedades de las proteínas por la reducción del número total de grupos reactivos para ligar agua a la proteína (Price y Schweigert, 1976). La excesiva pérdida de agua provoca un cambio en el estado químico del pigmento mioglobina por su conversión acelerada a metamioglobina (Swatland, 1991). Además cuando estos músculos son cortados perpendicularmente al eje de las fibras musculares se produce una exudación elevada y el tejido presenta una estructura delgada y abierta, por lo que la carne presenta poca consistencia (PSE). Las pérdidas por esta característica pueden ser hasta del 1.7 % del peso de la canal. En general el promedio de pérdida es de 0.77 %. El tipo de carne descrito al ser empacada para su exposición y venta sufre una decoloración poco atractiva, carece de textura y el empaque acumula una gran cantidad de fluidos debido a la excesiva pérdida de agua. Según Wirth (1985) si se almacena durante un día el producto puede perder hasta el 10 % de su peso y si el almacenamiento es por 6 días las pérdidas pueden llegar hasta un 13.3 %. Los jamones provenientes de carne PSE pierden aproximadamente un 2 % más de agua que los elaborados con carne normal (2.95 contra 0.72 %, respectivamente; Schwagele y col.,



1992) y en el curado el porcentaje de humedad en carne PSE es menor que las normales (72.4 y 75.7 % respectivamente).

### ***Vida de anaquel***

La carne tipo PSE provenientes de animales estresados antes del sacrificio al ser empacada para su exposición y venta sufre una decoloración poco atractiva, carece de textura y el empaque acumula una gran cantidad de fluidos debido a la excesiva pérdida de agua. Según Wirth (1985) si se almacena durante un día, el producto puede perder hasta el 10 % de su peso, si el almacenamiento supera los 6 días las pérdidas pueden llegar hasta un 13.3 %. La vida de anaquel de este tipo de carne suele ser larga ya que por el grado de acidez que presenta no es medio propicio para el desarrollo de microorganismos. No obstante las pérdidas económicas atribuidas a la pérdida de agua y la mala apariencia que presenta son altas. Este tipo de carne es rechazada por consumidores y procesadores. Wirth (1985) menciona que este tipo de carne se debe de utilizar solo para la elaboración de embutidos secos. La carne tipo DFD presentan coloración oscura, producto de un pH último elevado, medido después de 24 h de frío efectivo post-mortem, aparecen a la vista con un color rojo oscuro a café y que presentan además una consistencia externa seca, dura y algo pegajosa (Apple y col., 2002), y una mayor susceptibilidad al ataque de microorganismos (Lawrie, 1998a). La ocurrencia de carne DFD está alta y directamente correlacionada con el pH final de la carne (Hargreaves y col., 2004). En estas condiciones se reduce el período de vida de anaquel, ya que está asociado a una alta capacidad de retención de agua lo que favorece el crecimiento bacteriano (Grandin, 2000).

### **CONCLUSIONES**

Si las condiciones de transporte son adecuadas, aún en viajes largos el efecto del mismo sobre la calidad de la carne es no significativo. Por el contrario, si no existen condiciones idóneas, solo basta un corto tiempo de transporte para que se presente el estrés y afecte el bienestar animal y la calidad de la carne obtenida. Teóricamente, es necesario que el ayuno comience de 3 a 6 horas antes del inicio de transporte (dependiendo de la especie); para que durante este, el tracto gastrointestinal se encuentre parcialmente vacío y se reduzcan los malestares. El tiempo de permanencia en los corrales pre-mortem deberán adecuarse a la logística de transporte y de sacrificio de cada matadero. Siempre y cuando se tome en cuenta el bienestar animal y los efectos negativos en la calidad de la carne. Por ningún motivo el sacrificio se deberá realizar inmediatamente después del transporte. Si el transporte fue muy corto y con buenas condiciones se recomienda como mínimo un descanso de 90 min. En cerdos y aves el método de aturdimiento más eficiente es por medio de la inhalación CO<sub>2</sub>. Sin embargo, la eficiencia de este método y de cualquier otro dependerá de la correcta instrumentación por parte del personal. Se hace énfasis que el tiempo entre el aturdimiento y desangrado no deberá ser mayor a 30 s. Queda claro que el estrés causado por un mal manejo pre-mortem impacta drásticamente la calidad de la

carne obtenida. Si bien es cierto que el mejoramiento genético ha incrementado la proporción de magra en las canales, esta manipulación ha tenido un efecto negativo en la resistencia al estrés de ciertas especies y razas, lo que repercute indirectamente en la calidad del producto obtenido.

## REFERENCIAS

- ALARCON-ROJO A. D., J. G. GAMBOA-ALVARADO, y H. JANACUA-VIDALES (2008). Factores que afectan la calidad de la carne de cerdo. *Nacameh* 2( 1) : 63-77.
- ALTHEN, T.G., K. ONO, y D.G. TOPEL. (1977). Effects of stress susceptibility or stunning method on catecholamine levels in swine. *Journal of Animal Science* 44: 985-989.
- AGNES, F., P. SARTORELLI, H. A. BORROW, y A. LOCATELLI (1990). Effect of transport loading or noise on blood biochemical variables in calves. *American Journal Veterinary Research* 51: 1679-1681.
- APPLE, J.K., E.B. KEGLEY, C.B. BOGER, J.W. ROBERTS, D. GALLOWAY, y L.K. RAKES (2002). Effects of restraint and isolation stress on stress physiology and the incidence of dark-cutting *Longissimus* muscle in Holstein steers. *AAES Research Series* 499: 73-77.
- ASHMORE, C. R., W. PARKER, y L. DOERR. (1972). Respiration of mitochondria isolated from dark-cutting beef: postmortem changes. *Journal Anim. Science* 33: 574.
- AUGUSTINI, C. (1983). Urchase nu nerwün schterfle ischbes chaffen heitbeims chwein. *Fleischwirtsch* 63: 297-307.
- BENDALL, J. R. (1972). Consumption of oxygen by the muscles of beef animals and related species, and its effect on the colour of meat. I. Oxygen consumption in pre-rigor muscle. *Journal. Science of . Food. Agric.* 23:61.
- BENDALL, J.R., y A.A. TAYLOR (1972). Consumption of oxygen by the muscles of beef animals and related species. II. Consumption of oxygen by post-rigor muscle. *Journal Science Food. Agric.* 23: 707.
- BLACKMORE, D., y M. DELANY (1988). Slaughter of stock. Capítulo 4: Assessment of insensibility pp. 23-28; General aspects of stunning and less usual procedures, pp. 43-47; Capítulo 8: Percussive stunning, pp. 55-71. Capítulo 11: Choosing an appropriate method of slaughter, pp. 95-100; Veterinary Continuing Education, Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- BUCKHAM S.K.R., P.S.D. WEBER, J.L. BURTON, B. EARLEY, y M.A. CROWE (2008). Transportation of young beef bulls alters circulating physiological parameters that may be effective biomarkers of stress. *Journal of Animal Science* 86 (6): 1325-1334
- BRUCE, H. L., y R.O. BALL (1990). Postmortem interactions of muscle temperature, pH and extension on beef quality. *Journal of Animal Science* 68: 4167-4175.

- CALKINS, C.R., y S.C. SEIDEMAN, J. D. CROUSE (1987). Relationships between rate of growth catheptic enzymes and palatability in young bulls. *Journal of Animal Science* 64: 1448-1457.
- CALKINS, C.R., y S.C. SEIDEMAN (1988). Relationships among calcium dependent protease, cathepsins B and H, meat tenderness and the response of muscle to aging. *Journal of Animal. Science* 66: 1186-1193.
- CHEAH, K.S., y A.M. CHEAH (1971). Post-mortem changes in structure and function of ox muscle mitochondria. I. Electron microscopic and polarographic investigations. *Journal Bioenergetics*. 2:85.
- CEPERO, B.R. (1999). Problemas en la calidad de la canal de pollo. Dpto. Prod. Animal y Ciencia de los Alimentos. Facultad Veterinaria de Zaragoza. Artículo disponible en: <http://www.eumedia.es/articulos/mg/116canalpolloII.html>. Fecha de acceso 10 de noviembre de 2005.
- DANTZER, R. (1981). El estrés en los animales de cría intensiva. *Mundo Científico*. 1:244-255.
- DANTZER, R., y P. MORMÉDE (2002). Stress in Farm Animals: A need for Reevaluation. *Journal Animal Science* 57: 6-18.
- DESDÉMONA M.E., S.S. SOTO, L.E.M. SANTOS, y G.J.A. ORTEGA (2013). Características fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas de la carne de ovino con diferente tiempo de reposo. Portal Veterinario albéitar.491. Artículo disponible en: <http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia.asp?ref=10980&pos=490> Accesado el 18 de julio de 2013.
- DUNCAN, I.J.H. (2004). Dolor, Temor y Angustia. En: *Global Conference on Animal Welfare: On OIE initiative*. Trabajos. Paris, Francia. pp. 187-188
- EIKELNBOOM, G. (1983). Some aspects of captive bolt pistol stunning in ruminants. *Stunning of animals for slaughter*. Martinus Nijhof Publishers, pp. 138-145.
- FELDHUSEN, F., D. NEUMANN-FUHRMANN, y S. WENZEL (1987). Die Leitfähigkeit als parameter der fleischbeschaffenheit. *Fleischwirtsch* 67: 455-460.
- FERNANDEZ, X., G. MONIN, J. CULIOLI, I. LEGRAND, y Y. QUILICHINI (1996). Effect of duration of feed withdrawal and transportation time on muscle characteristics and quality in Friesian-Holstein calves. *Journal Animal Science* 74: 1576-1583.
- FINNIE, J. (1993). Brain damage caused by a captive bolt pistol. *Journal Comp. Pathology*. 109: 253-258.
- FISCHER, K., C. AUGUSTINI, y R. McCORMICK (1988). Influencia del tiempo de ayuno previo a la faena sobre la calidad de la carne en cerdos. *Fleischwirtsch, Español*. 2: 3-8.
- FLORES, A., M.R. ROSMINI (1993). Efecto del estrés por el tiempo de espera antes del sacrificio sobre la glucemia y el pH de la carne en bovinos. *Fleischwirtsch, Español* 2: 16-25.

- FORREST, J.C., L.L. KASTENSCHMIDT, G.R. BEECHER, R.H. GUMMER, W.G. HOEKSTRA, y E.J. BRISKEY (1965). Porcine muscle properties B. Relation to naturally occurring and artificially induced variation in heart and respiration rates. *Journal Food Science* 30: 492-497.
- FORREST, J.C., E.D. ABERLE, H.D. HEDRICH, M.D. HEDRICH, M.D. JUDGE, y R.A. MERKEL (1979). *Fundamentos de ciencia de la carne*. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 361 pp.
- FORSLID, A. (1987). Transient neocortical, hippocampal and amygdaloid EEG silence induced by one minute inhalation of high concentration CO<sub>2</sub> in swine. *Acta Physiologica Scandinava* 130, 1-10.
- Fischer, K. (1976). Was ist ein streßempfindliches Schwein? *Tierarztl. Prax.* 4:39-48.
- FRIEND, T.H., G.R. DELLMEIER, y E.E. GBUR (1987). Effects of changing housing on physiology of calves. *Journal Dairy Science* 70:1595-1600.
- GALLO, C., y M. CARTES (2000). Insensibilización en bovinos: evaluación de la eficacia en el uso de la pistola de proyectil retenido en 3 plantas de la X Región. XII Congreso de Medicina Veterinaria. U. de Chile, Santiago, 24-27 de octubre.
- GALLO, C., C. TEUBER, y M. CARTES (2003). Mejoras en la insensibilización de bovinos con pistola neumática de proyectil retenido tras cambios de equipamiento y capacitación del personal. *Archives of Medicine Veterinary* 35(2):159-170.
- GALLO, C. (2008). Transporte e bienestar animal. *Ciênc vet tróp.* 11. suppl 1: 70-79
- GALLO, C. (2009). Transporte y reposo pre-sacrificio en bovinos y su relación con la calidad de la carne. En: *Bienestar Animal y Calidad de la Carne*. (Eds.) Mota-Rojas, D. y Guerrero-Legarreta, I. Editorial BM Editores. México. pp:15-36.
- GAMBOA ALVARADO, J.G. (2005a). Implementación de la técnica PCR-RFLP para el diagnóstico de la mutación T/C 1843 del gen RYR1 en cerdos y su incidencia en Chihuahua y Sinaloa, México. *Disertación Doctoral*. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. México
- GAMBOA-ALVARADO, J.G., A.D. ALARCÓN-ROJO, A. GRADO AHUIR, y F.A. RODRÍGUEZ ALMEIDA (2005b). Efecto del tiempo entre insensibilizado y desangrado y del tiempo de escaldado sobre las características fisicoquímicas de la carne de cerdo. *Portal Veterinario albeitar*. 752 disponible en: <http://albeitar.portalveterinaria.com/noticia/3459/ARTICULOS-PORCINO-ARCHIVO/Efecto-del-tiempo-entre-insensibilizado-y-desangrado-y-del-tiempo-de-escaldado-sobre-las-caracteristicas-fisicoquimicas-de-la-carne-de-cerdo.html> Accesado el 18 de julio de 2013
- GANONG, W.F. (1990). *Fisiología médica*. Séptima edición. Interamericana. México.
- GRANDIN, T. (1994). *Guías recomendadas para el manejo de animales para empacadores de carne*. American Meat Institute, 1-22.

- GRANDIN, T., M.J. DEESING, J.J. STRUTHERS, y A.M. SWINKER (1995). Cattle with hair whorl patterns above the eyes are more behaviorally agitated during restraint Appl. Anim. Behav. Sci. 46:117.
- GRANDIN, T. (2000). Livestock handling and transport. CABI publishing .2ª Ed. New York, USA. 451 p.
- GREGORY, N.G., A.B.M. RAJ, A.R. AUDSLEY, y C.C. DALY (1990). Effect of CO<sub>2</sub> on man. Fleischwirtschaft, 70: 1173-1174.
- HAMM, R. (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurements. Ch. 4. In Muscle as Food (P. J. Bechtel, ed.) pp. 135. Academic Press, New York.
- HARGREAVES, A., L. BARRALES, I. PEÑA, R. LARRAÍN, y L. ZAMORANO (2004). Factores que influyen en el pH último e Incidencia de Corte Oscuro en Canales de Bovinos. Cien. Inv. Agr. 31(3):155-166
- HEINZE, P.H., y G. MITCHELL (1989). Stress resistant and stress susceptible Landrace pigs: comparison of blood variables after exposure to halothane or exercise a treadmill. Vet. Rec. 124:163-168.
- HILDEBRANDT, G. (1974). Konstitution, rigor mortis und fleischqualität beim Schlachtschwein. Fleischwirtsch. 54:926-931.
- HOLST, S. (1997). Return to consciousness in slaughter pigs stunned with CO<sub>2</sub>. Proceedings of the 43rd International Congress of Meat Science and Technology, Auckland. G2, 10-11.
- HONIKEL, K.O., y J. KIM. (1985) Ubre die ursachen der entstehung von PSE-schweinefleisch. Fleischwirtsch. 65:1125.
- HUMANE SLAUGHTER ASSOCIATION (H.S.A.) (1998). Captive Bolt Stunning of livestock. 2nd edition, pp. 2-16.
- IMMONEN, K., M. RUUSUNEN, y E. PUOLANNE (2000). Some effects of residual glycogen concentration on the physical and sensory quality of normal pH beef. Meat Science 55: 33-38.
- JAUD, D., W.K. WEIBE, K.H. GEHLEN, y A. FISCHER (1993). pH y conductividad. Mediciones comparativas en canales porcinas y su relación con la pérdida de agua por goteo. Fleischwirtsch, Español. 2:13-16.
- KLINE, K.H., y P.J. BECHTEL (1990). Effects of postmortem time and electrical stimulation on histochemical muscle fiber staining and pH in their middle gluteal muscle from beef cattle. Journal. Food Quality. 13:447-452.
- LAMBOOY, E. (1983). Some aspects of captive bolt stunning in ruminants. Stunning of animals for slaughter. Ed: Martinus Nijhof, pp. 51-69
- LAWRIE, R.A. (1958). Physiological stress in relation to dark-cutting beef. Journal of Science Food. Agric. 9:721.

- LAWRIE, R.A. (1998a). *Ciencia de la Carne*. Editorial Acribia, Zaragoza, España.
- LAWRIE R.A. (1998b). *The conversion of muscle to meat*. Lawrie's Meat Science. Cambridge Woodhead. Publishing Ltd. Pp. 96-118.
- LENGERKEN, V.G., y H. HENNEBACH (1980). Einflubendogener und exogenerfaktoren auf den pH-Wert-Verlauf in der Kotelett und schinkenmuskulatur von schweinen. *Fleisch*. 34:16-19.
- LENSINK B.J., X. FERNÁNDEZ, G. GOZZI, L. FLORAND, y I. VEISSIER I. (2001). The influence of farmers' behavior on calves reactions to transport and quality of veal meat. *Journal of Animal Science* 79, 642-652.
- LEVRINO, G.M. (2004). Transporte de ganado bovino, bienestar animal y calidad de la carne. Facultad de Veterinaria de la Universidad de Zaragoza, España. Disponible en: [http://www.produccionbovina.com/informacion\\_tecnica/etologia/80transporte\\_de\\_ganado.htm](http://www.produccionbovina.com/informacion_tecnica/etologia/80transporte_de_ganado.htm). Accesada el 8 de noviembre de 2005.
- LONERGAN, S.M., E. HUFF-LONERGAN, y M.F. ROTHSCHILD (2002). Characterization of muscle glycogen storage and utilization: influence on pork quality. Abstracts of the American Society of Animal Science, Midwest Section Annual Meeting. Des Moines, IA, USA. N°123.
- LÓPEZ A.J.L., A.D. BLANCO, y P.J.M SEIJAS (2011). Las bajas en el transporte, los hematomas y otras causas de decomiso en los mataderos de gallinas. *Avicultura*. fecha de actualización Agosto 2011, fecha de acceso septiembre 2013 disponible en: <http://www2.avicultura.com/sa/030-040-Bajas-transporte-hematomas-Lopez-Aznar-SA2011.pdf>.
- MACDOUGALL, D.B., y D.N. RHODES (1972). Characteristics of the appearance of meat. III. Studies on the colour of meat from young bulls. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 23: 637.
- MARÍA G.A., M. VILLARROEL, C. SAÑUDO, J.L. OLLETA, y G. GEBRESENBET (2003). Effect of transport time and ageing on aspects of beef quality. *Meat Science* 65: 1335-1340
- McKKE, S.R., y A.R. SAMS. (1997). The effect of seasonal heat stress on rigor development and the incidence of pale, exudative turkey meat. *J. Poultry Science*. 76:1616-1620.
- McKKE, S.R., y A.R. SAMS. (1998). Rigor mortis Development at elevated temperatures pale exudative turkey meat characteristics. *Journal of Poultry Science*. 77:169-174.
- MORENO GRANDE, A., V. RUEDA, y A. CEULAR (1999). Análisis cuantitativo del pH de canales de vacuno en matadero. *Archivos de Zootecnia* 48: 33-42.
- MOREIRA R., P. GECELE, G. LEYTON, y V. ZUÑIGA (2009). Uso de distintas combinaciones de tiempo y concentración de dióxido de carbono en el aturdimiento de credos en faena. *Boletín Veterinario Oficial*. Vol. 10 No. II

- PRANGE, H., G. OBER, y L. JUGERT. (1977). Untersuchungen zum Muskelfleischqualität beim Schwein. 2. Mitteilung: Einfluss verschiedener Transportformen und Ausruhezzeiten. Arch. Exp. Veterinärmed. 31:327-335.
- PRICE, J. F., y B.S. SCHWEIGWER (1976). Ciencia de la carne y productos cárnicos. Ed. Acribia, Zaragoza, España.
- RING, C., y R. KORTMANN (1989). Efecto de la insensibilización eléctrica en cerdos sobre la calidad de la carne. Fleischwirtsch, Español. 1:21-24.
- RICAURTE G.S.L. (2005). Problemas del pollo de engorde antes y después del beneficio-pollo en canal. Revista electrónica de Veterinaria Vol. VI. No. 6
- RIOS R.F.G., y S.D.C. ACOSTA. (2008). Sacrificio humanitario de Ganado bovino e inocuidad de la carne. NACAMEH. Vol. 2, No. 2, pp. 106-123.
- ROMERO P.M.H., L.F. URIBE- VELÁSQUEZ, y V.J.A. SÁNCHEZ (2011). Biomarcadores de estrés como indicadores de bienestar animal en ganado de carne. Biosalud 10(1): 71-87
- SACKMANN, G., F.A. STOLLE, y G. REUTER. (1989). Influencia de los diferentes tiempos de descanso previo al sacrificio sobre la calidad de la carne de cerdos con una evaluación de las características clínicas. Fleischwirtsch, Español. 1: 3-12.
- SCHEPER, J (1972). Qualitätsschwankungen bei Schweinefleisch genetischen und Umweltbeeinflüsse. Fleischwirtsch. 52: 203-206.
- SCHMITTEN, F., K.H. SHEPERS, H. JÜNGST, W. REUL, y A. FESTERLING (1984). Fleischqualität beim Schwein – Untersuchungen zur Erfassung. Fleischwirtsch 64: 238-242.
- SCHWAGELE, F.K., LUCKE, y K.O. HONIKEL (1992). Posibles vías para lograr el mejoramiento de la calidad de la carne. Fleischwirtsch, Español. 2:45.
- SMITH, G.C., J.D. TATUM, y J.B. MORGAN (1999). Reducing the incidence of dark-cutting beef. Beef Cattle Handbook 4350: 1-3.
- SWATLAND, H.J. (1991). Estructura y desarrollo de los animales de abasto. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- TROEGER, K., y W. WOLTERS DORF (1989). Medición del estrés de los cerdos durante el sacrificio. Fleischwirtsch, Español. 2:3-8.
- TADICH, N., C. GALLO, T. KNOWLES, H. URIBE, y A. ARANIS (2003). Efecto de dos densidades de carga usadas para el transporte de novillos, sobre algunos indicadores sanguíneos de estrés. En: XXVIII Reunión Anual de la Sociedad Chilena de Producción Animal. SOCHIPA. 15-17 octubre, Talca, Chile. Pp 175- 176.
- UNIVERSITIES FEDERATION FOR ANIMAL WELFARE (U.F.A.W.) (1978). Humane Killing of Animals. Pp: 4-7. Editado por: The Universities Federation for Animal Welfare. Hamilton Close South Mimms, Potters Bar, Herts, England.

- URBIN, M.C., y G.D. WILSON (1958). Fresh meat characteristics which influence packaging requirements. Proc. 10th Res. Conf. Am. Meat Inst. Found. pp. 13.
- VELARDE, A., M. GISPERT, L. FAUCITANO, X. MANTECA, y A. DIESTRE (2000a). Survey of the efficiency of stunning procedures carried out in Spanish pig abattoirs. *The Veterinary Record* 146: 65-68.
- VELARDE, A., M. GISPERT, L. FAUCITANO, X. MANTECA, y A. DIESTRE (2000b). The effect of stunning method on the incidence of PSE meat and hemorrhages in pork carcasses. *Meat Science* 55(3): 309-315.
- VELARDE, A., M. GISPERT, L. FAUCITANO, P. ALONSO, X. MANTECA, y A. DIESTRE (2001). Effects of the stunning procedure and the halothane genotype on meat quality and incidence of hemorrhages in pigs. *Meat Science* 58(3): 313-319.
- VILLARROEL, M., G.A. MARÍA, C. SAÑUDO, J. L. OLLETA, y G. GEBRESENBET (2003). Effect of transport time on sensorial aspects of beef meat quality. *Meat Science* 63: 353-357.
- WARRISS, P.D. (1984). Exsanguinations of animals at slaughter and the residual blood content of meat. *Veterinary Research* 115: 292-295.
- WARRISS, P.D. (1990). The handling of cattle pre-slaughter and its effects on carcass and meat quality. *Applied Animal Behavior Science* 28: 171-186.
- WARRISS, P.D. (1996). Insensibilización y sacrificio de animales. *Informativo sobre carne y productos cárneos (UACH)* 21: 47-58.
- WARRISS, P.D. (2000). *Meat Science: An Introductory Text*. Wallingford, Oxon, U.K. CABI Publishing.
- WEST, J.B. (1986). *Bases fisiológicas de la práctica médica*. Onceava edición. Editorial médica panamericana. Buenos aires, Argentina.
- WIRTH, F. (1985). Embutido escaldado: Fijación de agua, fijación de grasa y formación de la estructura. *Fleischwirtsch, español*. 2: 4.
- WOLTERSDORF, W., y K. TROEGER (1990). Técnicas para reducir el porcentaje de carnes PSE en cerdos. *Fleischwirtsch, Español*. 2: 9-15.
- WULF M.D., y J.W. WISE (1999). Measuring muscle color on beef carcasses using the L\* a\* b\* color space. *Journal of Animal Science* 77: 2418-2427.