



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE MEDICINA VETERINARIA
DEPARTAMENTO DE MEDICINA PREVENTIVA ANIMAL

**EFFECTO DEL TIEMPO DE REPOSO, TIEMPO POS-
MORTEM, SEXO Y PESO DE CANAL SOBRE LA CALIDAD
DE LA CARNE DE CERDO**

JAIME ERNESTO AGUILAR SEGOVIA

**Memoria para optar al
Título Profesional de Médico Veterinario
Departamento de Medicina Preventiva Animal**

Profesora Guía: Dra. Pilar Oviedo Hannig

**Santiago - Chile
2004**



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS VETERINARIAS Y PECUARIAS
ESCUELA DE MEDICINA VETERINARIA
DEPARTAMENTO DE MEDICINA PREVENTIVA ANIMAL

EFFECTO DEL TIEMPO DE REPOSO, TIEMPO POS-MORTEM, SEXO Y PESO DE CANAL SOBRE LA CALIDAD DE LA CARNE DE CERDO

JAIME ERNESTO AGUILAR SEGOVIA

**Memoria para optar al
Título Profesional de Médico Veterinario
Departamento de Medicina Preventiva Animal**

NOTA FINAL :

	NOTA	FIRMA
PROFESOR GUIA: Pilar Oviedo Hannig
PROFESOR CONSEJERO: Íñigo Díaz Cuevas
PROFESOR CONSEJERO: M^a Angélica Morales Miranda

**Santiago – Chile
2004**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Página

RESUMEN	
SUMMARY	
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Situación internacional de la carne de cerdo	3
2.2. Situación nacional del sector porcino	4
2.2.1. Consumo de carne	5
2.2.2. Existencias porcinas	5
2.2.3. Beneficio controlado de cerdos	6
2.2.4. Producción de carne en vara	6
2.2.5. Exportaciones e importaciones	7
2.3. Estructura y fisiología muscular	7
2.4. Calidad	10
2.4.1. Calidad de carne de cerdo	11
2.5. Síndrome de estrés porcino	18
2.5.1. Carnes PSE	22
2.6. Influencia del gen halotano sobre la calidad de carne y canal	25
2.7. Factores estresantes que afectan la calidad de la carne	29
2.7.1. Reposo	31
2.7.2. Transporte	35
2.7.3. Mezcla de animales	41
2.7.4. Ayuno y deshidratación	42
2.7.5. Sistema de insensibilización	44

2.8.	Estimadores de calidad de carne	46
2.8.1.	pH	46
2.8.2.	Conductividad eléctrica	47
2.8.3.	Color	48
2.8.4.	Capacidad de retención de agua	49
3.	OBJETIVOS	52
3.1.	Objetivo General	52
3.2.	Objetivos Específicos	52
4.	HIPÓTESIS	52
5.	MATERIALES Y MÉTODOS	53
5.1.	Materiales	53
5.1.1.	Planta Faenadora de Carnes	53
5.1.2.	Animales	56
5.1.3.	Equipos	56
5.2.	Método	57
5.2.1.	Selección de animales	57
5.2.2.	Transporte de animales	57
5.2.3.	Reposo de los animales	58
5.2.4.	Mediciones de calidad de carne	58
5.2.5.	Factores de variación	59
5.2.6.	Análisis estadístico	59
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
6.1.	Efecto del tiempo pos-mortem sobre los estimadores de calidad de carne	62

6.2.	Efecto del tiempo de reposo sobre los estimadores de calidad de carne	65
6.3.	Efecto del sexo sobre los estimadores de calidad de carne	75
6.4.	Efecto del peso de canal sobre los estimadores de calidad de carne	78
7.	CONCLUSIONES	83
8.	BIBLIOGRAFÍA	84
9.	ANEXOS	
9.1.	Anexo 1: Distribución de canales según peso	
9.2.	Anexo 2: Amplitud de los valores de pH _M , CEM y TM según tiempo pos-mortem, tiempo de reposo, sexo y peso de canal	

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar los efectos del tiempo de reposo pre-sacrificio: 1, 3, 5 y 6 hrs, tiempo pos-mortem: 45 minutos y 24 hrs; sexo (machos castrados y hembras) y peso de canal: livianas < 90 kg; normales: 90 a < 106 kg y pesadas: \geq 106 kg, sobre pH muscular, conductividad eléctrica muscular y temperatura muscular. Se trabajó con una muestra de 365 cerdos provenientes de un plantel industrial que fueron procesados en una Planta Faenadora de Carnes de la Región Metropolitana.

Los estimadores de calidad de la carne se midieron en el músculo *Longissimus dorsi*, entre las vértebras T₁₅ y L₁ de la hemicanal derecha. Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza.

Se encontró que los tres estimadores de calidad presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,0001$) entre los tiempos pos-mortem estudiados (45 min y 24 hrs).

Como consecuencia de los valores más bajos de pH muscular a las 24 hrs ($p \leq 0,0001$) y valores más altos de conductividad eléctrica tanto a los 45 min y 24 hrs ($p \leq 0,05$), en los tiempos de reposo extremos, el reposo en un rango de 3 a 5 hrs sería suficiente para mejorar la calidad de la carne.

El mayor peso de canal condicionó una menor calidad de la carne de cerdo al originar menores valores de pH muscular a los 45 min ($p \leq 0,05$) y temperaturas más altas 45 min y 24 hr pos-mortem ($p \leq 0,0001$ y $p \leq 0,001$, respectivamente).

El pH muscular a las 24 hrs fue menor en las canales de machos castrados ($p \leq 0,0001$) en circunstancias que se observó una menor temperatura muscular a las 24 hrs en las de hembras ($p \leq 0,01$), lo que indicaría que el sexo afecta de manera marginal los estimadores de calidad de carne de cerdo estudiados.

SUMMARY

The effects of resting time (1, 3, 5 and 6 hr), postmortem time (45 minutes and 24 hr), sex (castrated males and females) and carcass weight (light: < 90 kg; normal: 90 to <106 kg; heavy: \geq 106 kg), on pH, electrical conductivity and temperature of the *Longissimus dorsi* of 365 pigs reared in an intensive pig farm and processed in an industrial slaughterhouse, were analyzed. The pork quality parameters were registered in the *Longissimus dorsi* muscle between T₁₅ and L₁ vertebra of the right half carcass. Data were analyzed by analysis of variance.

The pork quality parameters were different ($p \leq 0.0001$) between the two postmortem time studied.

Since the muscular pH values were smaller ($p \leq 0.0001$) at 24 hr and the electrical conductivity was greater ($p \leq 0.05$) at 45 minutes and 24 hr at extremes resting time, it is concluded that a range of 3 to 5 hr would be appropriated to improve the meat quality of pig.

The greater carcass weight decreased ($p \leq 0.05$) the pH values at 45 minutes and increased slightly the temperatures at 45 minutes ($p \leq 0.0001$) and 24 hr ($p \leq 0.001$) postmortem time, originating a lower meat quality.

According to the data analyzed, the effect of sex on pork quality was not relevant.

1. INTRODUCCIÓN

Es conocida la importancia de los tratamientos pre-mortem (desde el criadero hasta el beneficio) y de factores genéticos sobre la calidad final de la carne. No obstante, esta etapa no ha sido estudiada acuciosamente en Chile y las soluciones obtenidas por el sector para mejorarla, provienen de poblaciones porcinas y condiciones geográficas o climáticas muy diferentes.

Los países exportadores de alimentos como Chile, deberán introducir metodologías de aseguramiento de calidad en la elaboración de alimentos para poder mantener la competitividad en los mercados internacionales (Poblete, 1999). En Chile, las exportaciones de carne de cerdo han venido creciendo vertiginosamente los últimos 12 años, alcanzando volúmenes de 61.600 ton para el año 2003 (Chile, ODEPA, 2004b).

Una demostración palpable de los efectos de una oferta más eficiente de carne de cerdo sin mirar detenidamente la demanda, es el caso de Australia: sólo el 12% de los cerdos producidos en ese país, alcanzan los estándares exigidos por Japón. Las causas de tan bajo nivel de aceptación de esta carne de cerdo son las siguientes: el 30% de los cerdos presentan carnes PSE¹, el 15% de los cerdos presentan carnes DFD y el 15% presentan problemas de “olor a verraco” (Trout, 1993).

Estas mismas restricciones se han empezado a sufrir en Chile frente a exigencias de países importadores, como es el caso de Japón, con el tema de las carnes pálidas (Díaz, 2000).

¹ **PSE (Pale, Soft and Exudative) y DFD (Dark, Firm and Dry): alteración de origen genético que se presenta frecuentemente en sistemas de producción intensivos en presencia de factores estresantes pre y pos beneficio.**

En un estudio realizado en el país, usando 333 cerdos de peso terminal, provenientes de 6 criaderos industriales de la zona central de Chile (Región Metropolitana, VI Región y VIII Región), se indicó que la alteración muscular (carnes PSE y DFD), considerando lo observado en ambos músculos estudiados (*Gracilis* y *Triceps Brachii*), se presenta entre el 11,5 y el 15% de los animales, disminuyendo la calidad de la carne y haciendo menos eficiente la producción (Alvarez, 2001).

En estos términos, se hace necesario conocer los requerimientos del mercado consumidor de “*commodities*”². Cualquier análisis que se realice indicará que en los países en vías de desarrollo, las exigencias que hace el consumidor sobre los productos comestibles son muchas más que las que hacía algunas décadas atrás (Díaz, 1999).

De esta situación no está ajena la carne de cerdo, la cual debe competir no sólo con las carnes tradicionales (bovina, ovina, ave, equina), sino con oferta de nuevos productos alimenticios, mucho más sofisticados y con adecuados niveles de procesamiento, tales como la carne de nuevas especies marinas (salmón, trucha, turbot), mariscos procesados de alto valor culinario, carnes exóticas producidas industrialmente (jabalí, ciervos, camélidos sudamericanos), nuevas líneas de productos lácteos (quesos finos, yogures, leches adicionadas) (Díaz, 1999).

Frente a esto, el presente estudio pretende ser un aporte al conocimiento existente sobre el tema en el país y determinar el efecto del tiempo pos-mortem, tiempo de reposo, sexo y peso de la canal sobre estimadores de la calidad de carne.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

² Los “*commodities*” son productos indiferenciados, de bajo valor unitario y que se comercializan con pocos parámetros de caracterización en los mercados masivos (cereales, oleaginosas y carnes).

2.1. Situación internacional de la carne de cerdo

Según información de la FAO³, la carne de cerdo representa aproximadamente un 40% de la carne producida a nivel mundial. La producción mundial de esta carne aumentó de 93 millones de ton en el 2002 a cerca de 95,8 millones de ton en el año 2003 (Chile, ODEPA, 2004a).

El principal productor de carne de cerdo es China con un 48,1% del total mundial, destacándose también la Unión Europea (UE) (18,2%) y Estados Unidos (EEUU) (9,5%). Mucho más abajo se encuentra Brasil (2,1%) que es el único país sudamericano destacado en el ámbito mundial (Chile, ODEPA, 2004b).

Las existencias mundiales de cerdos al año 2002 alcanzan a 939 millones de cabezas. De este total, el continente que más cantidad de cerdos alberga es Asia con un 60%, seguido - muy por debajo - por Europa con un 21%. En relación a las existencias por países, aparte de China que dispone de la mayor cantidad de ganado porcino con 454 millones de cabezas, lo que explicaría la concentración de cerdos en el continente asiático. Otros países importantes son las naciones de la UE, EEUU y Brasil con 162, 59 y 29 millones de cabezas, respectivamente (FAO, 2003).

Las proyecciones para 2004 señalan, que se prevé un crecimiento de 2% en las exportaciones mundiales de carne de cerdo, lo que ratifica la tendencia de los últimos años, aunque a nivel menor que años anteriores. Entre los países que más aumentarán sus exportaciones están EEUU, China y Canadá (Chile, ODEPA, 2004b).

³ FAO: Food Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)

2.2. Situación nacional del sector porcino

En los últimos 25 años el sector porcino ha presentado un acelerado desarrollo, demostrando un comportamiento altamente dinámico, caracterizado por un crecimiento sostenido de la producción, lo que se traduce en un aumento del inventario y por sobre todo, en un marcado incremento del beneficio de animales y de la oferta de carne en vara al mercado. Todo lo anterior es producto del aumento de las hembras reproductoras, mayor tamaño promedio de los planteles porcinos, nuevas formas de comercialización y la introducción de tecnologías innovativas. Dicha situación sería, consecuencia de un cambio en la gestión empresarial, que considera al sector como un productor de carne más que un sector pecuario tradicional (Díaz, 2003).

Una de las características estratégicas del sector porcino nacional es el sostenido crecimiento del estrato comercial, estructurando una orientación hacia sistemas intensivos confinados (SIC) de producción, lo que ha facilitado una mayor industrialización de la cadena productiva, desde el animal hasta el producto terminado (Díaz, 2001).

Hace un tiempo, han surgido nuevos desafíos para el sector porcino nacional debido - justamente - a estos fenómenos de industrialización de la producción. De acuerdo a Díaz (2003), cinco serían los temas que deberían ser atendidos prioritariamente por el sector porcino: la mantención y el necesario incremento de los niveles de productividad animal, la calidad del producto final, el estatus sanitario de la población animal, los impactos medio ambientales y el bienestar animal.

2.2.1. Consumo de carne

La disponibilidad total de carnes en Chile en el año 2003 alcanzó alrededor de 1,04 millones de toneladas de carne en vara . El consumo *per cápita* de carnes el 2003 se elevó a 73,8 kg/cápita/año, cifra superior en un 0,8% a la del año anterior, lo que significa un nuevo récord en el consumo de estas proteínas. (Chile, ODEPA, 2004a).

La característica más destacable del consumo de carne de cerdo ha sido su fuerte crecimiento. Así, en 1990 se estimaba un consumo de carne de cerdo de menos de 10 kg/cápita/año, cifra que aumenta sostenidamente hasta superar los 16 kg kg/cápita/año para el 2000 (Díaz, 2000). En el año 2002 el consumo fue de 19,9 kg por habitante/año, cifra superior en 224% a la anotada en 1986, cuando el consumo llegaba a los 6,1 kg/cápita/año (Chile, ODEPA, 2004b).

2.2.2 Existencias porcinas

La realización del VI Censo Nacional Agropecuario en el año 1997, permitió conocer las existencias totales de ganado porcino, que a nivel nacional sumaron 1.722.403 cabezas, siendo de mayor relevancia la VI Región y Región Metropolitana, concentrando en conjunto el 55% del inventario nacional. La cifra censal casi duplicó la cifra del censo anterior (1976), de 890.781 cabezas (Chile, INE, 2002).

En relación a la localización geográfica de los planteles porcinos, la mayoría se ubica en la IX Región (38 planteles). Sin embargo, el mayor número de hembras para la producción se encuentra en la VI Región, donde se concentra la empresa productora de cerdos más grande del país (Chile, ODEPA 2004c). Información al año 2001, indica que sólo en criaderos industriales existirían 1.909.200 cabezas, lo que significaría una participación de alrededor del 90% sobre el inventario nacional. Para este mismo año la existencia industrial estaba

concentrada en 180 criaderos industriales o comerciales, 25 menos que el año anterior, lo que ratifica la constante disminución de estos criaderos. No obstante lo anterior, las existencias comerciales crecieron un 18,8% respecto al año 2000 (Chile, INE, 2002).

2.2.3. Beneficio controlado de cerdos

En relación con el beneficio nacional de cerdos, también se ha venido observando un notorio y mantenido crecimiento en los últimos 25 años. En 1980 se estableció un volumen de 697.497 animales sacrificados a nivel de mataderos, cifra que alcanzó 1,7 millones de cabezas en 1990 (Díaz, 2001). En el año 2003, el beneficio registró un leve crecimiento anual de un 1,9 % la cantidad de cerdos beneficiados a nivel nacional fue de 3.900.498 cabezas (Chile, INE, 2004a).

2.2.4. Producción de carne en vara

La misma tendencia observada en el beneficio de cerdos, se aprecia con la producción de carne en vara. Hacia 1985, quince años atrás, el país disponía de sólo 66 mil ton de carne en vara, producción que ha venido aumentando de manera sostenida hasta el 2000, donde se observó un volumen de aproximadamente 261.000 ton (Díaz, 2001). En el año 2003 la producción de carne en vara de cerdo alcanzó la cifra récord de 365.343 ton (Chile, INE, 2004b).

2.2.5. Exportaciones e Importaciones

En 1990 el volumen exportable fue de 1.515 ton (con un valor de US \$ 1,65 millones)(Díaz, 2001), para pasar a exportar 61.000 ton evaluados en US\$ 150 millones el año 2003 (Chile, ODEPA, 2004b).

El más importante comprador de la carne de cerdo chilena es Japón, país que presenta una de las reglamentaciones más estrictas para la importación de carnes y alimentos. Los principales países de destino de la carne porcina fueron en el año 2003, Japón 65%, Corea del Sur 17,6%, México 9,6% y la UE 3,1% (Chile, ODEPA, 2004b).

Por su parte, las importaciones de carne de cerdo han sido históricamente bajas. Los volúmenes importados entre 1997 y 2000 fueron 901, 1.073, 3.187, 1.854 ton (Chile, INE, 2002). Durante el año 2003 las importaciones disminuyeron a la mitad en relación con el año anterior, alcanzando un volumen de 195 ton (Chile, ODEPA, 2004b).

2.3. Estructura y fisiología muscular

La fibra es la unidad estructural esencial de todos los músculos. Las fibras son células multinucleadas, estrechas y largas capaces de recorrer todo el músculo de un extremo al otro, pudiendo alcanzar una longitud de 34 cm y un diámetro de 10 -100 μm . En los animales sanos los diámetros de las fibras musculares varían de un músculo a otro, así como entre especies, razas y sexo (Lawrie, 1998).

El músculo esquelético contiene además de las fibras musculares, tejido conectivo, conjunto que se denomina tejido conectivo asociado. Rodeando globalmente al músculo se encuentra una lámina envolvente o funda de tejido conectivo que se denomina epimisio. De la superficie interna de éste, penetran

en el músculo, septos de tejido conectivo, que separan las fibras musculares en haces. Estos septos separadores constituyen el perimysio, en el que se encuentran los vasos sanguíneos de mayor tamaño y la inervación. Partiendo de la superficie interna del perimysio, penetra hacia el interior un entramado de tejido conectivo fino que rodea y enfunda a cada fibra muscular e individual. La capa de tejido conectivo en torno a cada fibra se denomina endomisio. Algunos investigadores incluyen la membrana basal en el endomisio y otros usan el término sarcolema para incluir la membrana de la célula muscular y la membrana basal (Lawrie, 1998).

Se han reportado altas correlaciones entre el tipo de fibra muscular, distribución y tamaño con la calidad de la carne. Las características del músculo son un reflejo de la especie, raza, variación genética dentro de la raza y la nutrición del animal durante el crecimiento pre y posnatal (Sensky *et al.*, 1994).

El músculo esquelético es el tejido cuantitativamente más importante del organismo, representando el 60% del peso de la canal de cerdos de 105 kg de peso vivo (Bonelli, 2002). Está constituido mayoritariamente por agua (75%), proteínas (19%), lípidos (2,5%), carbohidratos (1,2%), nitrógeno no proteico (1,6%) y cenizas (0.7%) (Lawrie, 1998).

Asimismo, las fibras musculares constituyen el 75-90% del volumen muscular y el resto está integrado por tejidos adiposo, conjuntivo, vascular y nervioso. Las fibras musculares del cerdo se clasifican en: tipo I (lentas, oxidativas y rojas); tipo IIA (rápidas, intermedias y rojas) y tipo IIB (rápidas, glicolíticas y blancas) (Bonelli, 2002).

Los músculos del cerdo contienen los tres tipos de fibras, pero la proporción de cada tipo de fibra muscular difiere entre músculos. Por ejemplo, el músculo

Longissimus dorsi tiene entre 80-90% de fibras tipo IIB, en cambio el músculo *Vastus intermedius* tiene 70-80% de fibras tipo I (Hermesh, 1997). También existen diferencias entre especies. Así, en el músculo *Longissimus dorsi* del cerdo, el contenido relativo de las fibras I:IIA:IIB es 8:8:84, en comparación a la del bovino (50:40:10), lo que predispone a la carne de cerdo a una mayor incidencia de PSE y DFD (Bonelli, 2002).

La proporción de los distintos grupos de fibras determina la fisiología, el metabolismo y la calidad de la carne. La mayor masa muscular es causada por hipertrofia muscular generalmente alcanzada por el aumento del tamaño de la fibra y por el número de fibras musculares glicolíticas (tipo IIB). Se encontró que el incremento del metabolismo glicolítico, asociado con el aumento de la fibra muscular, resultó en una mayor incidencia de carnes PSE (Hermesh, 1997).

En un músculo en reposo, el ATP sirve para mantener al músculo en un estado de relajamiento, lo que previene la formación del complejo actinmiosina. El músculo tiende a estirarse cuando es puesto bajo tensión. Sólo cuando el ATP es hidrolizado puede ocurrir la contracción. La concentración de ATP es mantenida por la ruptura de glicógeno hasta que se produce carencia de este sustrato o un cambio de las condiciones, particularmente el pH, que inhibe a las enzimas de la glicólisis. El nivel de creatin fosfato disminuye, usándose para regenerar ATP a partir de ADP. El *rigor mortis* ocurre cuando los niveles de ATP se reducen a niveles de 5 mmol/kg, requeridos para mantener la relajación. Cuando esto sucede la actina y la miosina se unen, forman la actinmiosina y la extensibilidad del músculo se pierde. En animales que han sido sometidos a ejercicio violento y luego sacrificados o en que los niveles de glicógeno han sido depletado por largas jornadas sometidos a estrés, el *rigor mortis* se presenta más rápido (Warriss, 2000).

El tamaño de la fibra muscular y la densidad capilar influyen en la tasa de acumulación de lactato en el músculo al sacrificio y, consecuentemente, en el grado de desnaturación proteica, palidez y pérdidas por goteo en la carne. En comparación con otros músculos de mamíferos, en general, el músculo del cerdo tiene un bajo porcentaje de fibras tipo I. Los cerdos susceptibles al estrés tienen fibras musculares más largas con menor densidad capilar lo que se considera un factor importante en la tasa del metabolismo anaeróbico al sacrificio. Aumentando la actividad física durante el crecimiento y el desarrollo, puede incrementarse el nivel de adaptación física y la capacidad para la actividad aeróbica en cerdos. Esto puede lograrse a través de ejercicio forzado o el uso de sistemas de producción al aire libre, consiguiendo una menor tasa de producción de ácido láctico en el músculo al sacrificio y menor cantidad de carnes PSE (Tarrant, 1993).

2.4. Calidad

En la actualidad, para entender conceptualmente la significación de calidad, se asocia al “valor de uso” de un determinado bien, es decir, a las características que éste contiene y que generan algún nivel de utilidad o “desutilidad” al consumidor. En consecuencia, la calidad estaría ligada con la capacidad del consumidor de contar con las herramientas para diferenciar, en el producto final, su utilidad real (Niño de Zepeda *et al.*, 1999).

En los últimos años se evidencian marcados cambios en la demanda por carne y también, en los factores que influyen su demanda. Estos factores incluyen el interés por la salud (por ej. contenido de grasa), cambios demográficos, estilo de vida, la necesidad de conveniencia, cambios en la distribución de la carne y precio. Por el énfasis en el tema de nutrición y salud (dietas, grasas saturadas, colesterol y obesidad de los consumidores), en EUA ha cambiado la demanda

de carnes. Así, el consumo de carnes de vacuno y cordero ha experimentado una importante declinación. Por otra parte, los cambios en las características demográficas han traído también cambios en la demanda de carnes rojas. Factores como el nivel de ingresos, edad de la población, grupo étnico, facilidad de preparación y precios, son los que fijan la demanda de los consumidores (Resurreccion, 2003).

2.4.1. Calidad de carne de cerdo

En una revisión sobre el control de la calidad de la carne, Wood *et al.* (1994) reportan que los atributos de calidad han asumido mucha importancia en los últimos años debido a un gran número de factores entre los que se mencionan los siguientes:

1. La gente cada vez demanda más y es más crítica frente una baja calidad en todos los productos que consume incluyendo los alimentos y la carne.
2. Los cerdos son cada día más magros, recibiendo mayor cantidad de quejas debido a que la calidad comestible de la carne ha disminuido.
3. El consumidor empieza a reconocer que la calidad de la carne puede ser controlada.

Hoy en día la mayoría de los consumidores asocian a una buena calidad, los altos estándares usados en todos los aspectos de producción, procesamiento, empaque y venta de un alimento. En orden de importancia, los consumidores establecen como primer requerimiento, la seguridad de la carne, lo que implica que esté libre de ingredientes dañinos, microorganismos y residuos de drogas. La segunda prioridad concierne las propiedades básicas de los alimentos tales como la apariencia, composición y calidad comestible (Tabla 1) (adaptada por

Wood, 1993):

Tabla 1. Los más importantes factores de calidad.

Factores de calidad	
Factores Nutricionales	Factores Tecnológicos
Proteínas y su composición	Capacidad de retención de agua
Grasa y su composición	Contenido de proteína
Vitaminas	Contenido de grasa
Minerales	Contenido de tejido conectivo
Digestibilidad	Terneza
	Valor de pH
	Color
Factores Higiénicos	Factores Sensoriales
Microorganismos (carga bacteriana)	Color
Valor de pH	Olor
Actividad de agua	Marmoleo
Temperatura de almacenamiento	<i>Sabor</i>
Residuos (Antibióticos, hormonas, etc.)	Jugosidad
Contaminantes (pesticidas, micotoxinas, metales pesados, etc.)	Consistencia
	Terneza

Fuente: Honikel, 1993.

Según datos sobre calidad publicados por Trout (1993), algunos eventos que han venido sucediendo y afectando a la producción porcina serían los siguientes:

1. Orientación a sistemas intensivos de producción con uso de alto nivel de drogas antibacterianas.
2. Producción de cerdos más pesados, pero más magros.
3. Producción de machos enteros.
4. Introducción de nuevas líneas genéticas.
5. Distancias de transporte más largas.

6. Sistemas de procesamiento en frío más eficientes.

De esta manera, cada una de estas estrategias y situaciones observadas en la producción y en los sistemas de procesamiento han mejorado los niveles de productividad, pero pueden afectar negativamente, tanto la calidad de la carne comestible como en la inocuidad como alimento (Díaz, 1999).

Según Trout (1993), los principales atributos de la calidad de la carne comestible que pueden verse afectados, son los siguientes:

- Textura carne-grasa.
- Separación “carne-carne” y “carne-grasa”.
- Terneza y jugosidad.
- Sabor y calidad culinaria.
- Rendimiento culinario.
- Percepción global del consumidor con respecto a la carne.

El futuro de la industria de la carne depende de su habilidad para proveer al consumidor de un buen nivel de satisfacción al comer, para así incrementar los niveles de compras. Los mayores atributos de la carne que afectan al consumidor son la terneza, la jugosidad y el sabor (Maltin *et al.*, 1997).

De los atributos de calidad comestible de la carne, el color, la Capacidad de Retención de Agua (CRA) y algunos de sus olores son detectados tanto antes como después del cocinado y proporcionan al consumidor una sensación más prolongada que la jugosidad, textura, blandura, gusto y la mayoría de los olores que se detectan durante la masticación (Wood, 1993).

La apariencia física y, más específicamente el color de la carne, depende

principalmente de la mioglobina y no tanto de la hemoglobina, que es capaz de aportar al color de la carne sólo si el desangrado ha sido defectuoso. La molécula de mioglobina consta de un grupo hem unido a un componente proteico de tipo globulina. La porción hem está formada por cuatro anillos pirrólicos unidos a un átomo de hierro central. El color que presenta un corte de carne está influenciado por la cantidad de mioglobina, estado químico, condiciones físicas y otros componentes de la carne, los que a su vez están determinados por un sinnúmero de factores. La mayor parte de las diferencias que se puede encontrar en la superficie de la carne se deben al estado químico de las moléculas de mioglobina, por ello, la combinación de mioglobina, oximioglobina, y metamioglobina darán finalmente el color de la carne fresca (Lawrie, 1998).

El olor es la percepción de sustancias volátiles liberadas en los objetos. En el caso de los alimentos esta propiedad es diferente para cada uno de ellos. En consecuencia, no ha sido posible establecer clasificaciones ni taxonomías adecuadas para los olores. El olor no debe ser confundido con el aroma. Esta propiedad consiste en la percepción de sustancias olorosas o aromáticas de un alimento después que éste se ha puesto en la boca (Anzaldúa-Morales, 1994).

Alrededor del 10 a 15% de los machos enteros pueden producir un olor desagradable durante el cocido - que afecta la calidad de la carne -, denominado como "olor a verraco"⁴. En la mayoría de los países se castran los cerdos machos para así obtener canales libres de olor a verraco, pese a que el macho entero tiene un alto contenido de carne magra, menores requerimientos alimenticios y una alta tasa de crecimiento en comparación al macho castrado (Hennessy y Wan, 1993).

⁴ **Boar taint**

Existen dos componentes mayoritarios que han sido sugeridos como responsables del olor a verraco: androstenona y eskatol (Lee *et al.*, 1995). El primero es un esteroide gonadal, 5 α -androstenona, que ha sido descrito como un intenso olor urinario. El nivel de 5 α -androstenona en machos enteros es significativamente superior a machos castrados. La biosíntesis de 5 α -androstenona ocurre en las células de Leydig del testículo, a partir de una molécula precursora (pregnenolona), la cual es liberada a la circulación y depositada en las glándulas salivales y tejido adiposo (Hennessy y Wan, 1993).

El otro componente sugerido como responsable del olor a verraco es el eskatol (3 metil-indol) que se manifiesta como olor fecal. El eskatol es formado por la ruptura del triptofano por microorganismos que se encuentran en el colon. El mecanismo de paso del eskatol al tejido adiposo no está bien definido (Hennessy y Wan, 1993). Una de las hipótesis más aceptadas se relacionaría con el alto potencial anabólico que tienen los machos enteros lo que se asociaría a un aumento en el recambio de células intestinales. De esta manera, la mayor descamación celular sería una buena fuente de triptofano para la formación de eskatol (Claus *et al.*, 1994). La otra hipótesis estaría asociada a la eventual disminución en el potencial de degradación del eskatol sanguíneo en machos enteros, debido a un efecto inhibitorio de hormonas sexuales sobre los sistemas enzimáticos responsables del metabolismo de eskatol a nivel hepático (Friis, 1995 citado por Bonneau, 1997).

La textura es la propiedad sensorial de los alimentos que es detectada por los sentidos del tacto, la vista y el oído, y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación. Es muy importante mencionar que la textura no puede ser percibida si el alimento no ha sido deformado (Anzaldúa-Morales, 1994).

La manifestación de la textura en la carne está íntimamente ligada al tamaño de

los haces de fibras dentro de los septos permisivos del tejido conectivo que dividen longitudinalmente al músculo. El tamaño de los haces no sólo está determinado por el número de fibras, sino también por el tamaño de éstas. El tamaño de los haces de fibras no es el único factor determinante de la textura. La tosquedad de la textura aumenta con la edad, sin embargo, en los músculos en que las fibras son pequeñas no llega a ser tan aparente como en los que las fibras son grandes. De los atributos de calidad comestible de la carne, la textura y la blandura son actualmente considerados los más importantes por el consumidor medio, siendo incluso mayores que el aroma o color (Lawrie, 1998).

Es aceptado que algunos efectos de la grasa de la carne sobre la calidad comestible de ésta dependen de la grasa de marmoleo, lípido formado en el tejido conectivo del perimio, que envuelven los haces de fibras musculares. Este lípido intramuscular puede ser extraído y constituye el 0,5 - 2,5% del peso húmedo del *Longissimus dorsi*. Valores por debajo de este rango son encontrados en cerdos europeos magros y de rápido crecimiento (razas blancas). Valores superiores han sido encontrados en la raza *Duroc Jersey*, reportándose niveles de entre 5 – 8%, a pesar que la cantidad de grasa total es baja (efecto *Duroc*) (Wood *et al.*, 1994).

Al incrementar la proporción de genes de la raza *Duroc* se aumentaba sensiblemente la grasa de marmoleo. Al comparar poblaciones entre 0 y 75% de genes *Duroc*, la grasa de marmoleo aumentaba de 0.70 a 1.27%. A su vez, esta grasa intramuscular, tiene directa relación con la mejora de características tales como la jugosidad, ternura y sabor. La incorporación de un 50% de genes *Duroc* es detectada por el consumidor y es un importante y positivo efecto (Wood *et al.*, 1994).

El sabor⁵ es una sensación compleja. En ella intervienen el olor, gusto⁶, textura, temperatura y pH. De todos estos componentes el más importante es el olor. Sin una u otra de las cuatro sensaciones gustativas primarias - amargo, dulce, ácido y salado -, el olor es la sensación predominante. El olor y el gusto son las sensaciones más difíciles de definir en forma objetiva. Los compuestos aislados, generalmente por cromatografía gaseosa, no siempre han coincidido con las respuestas odoríferas subjetivamente medidas (Lawrie, 1998).

El sabor considera dos componentes, uno especie no específico y otro especie específico. El primer componente, común a todas las carnes, se deriva del calentamiento de sustancias solubles en agua, de bajo peso molecular, como azúcares libres, aminoácidos, péptidos, nucleótidos y otros compuestos nitrogenados. El componente especie específico del sabor proviene del calentamiento de grasas presentes en la carne, especialmente fosfolípidos y, en menor grado, triglicéridos. Así, la carne DFD tiene menor concentración de carbohidratos que la carne con pH normal, produciendo una disminución en el sabor (Warriss, 2000).

Como se expresara anteriormente, el sabor es un atributo de los alimentos muy complejo ya que combina tres propiedades: el olor, el aroma, el gusto. El sabor es la suma de las tres características, por lo tanto, su medición y apreciación son más complejas que cada propiedad por separado. El sabor es lo que diferencia a un alimento de otro y no el gusto, ya que si se prueba un corte de carne con los ojos cerrados y la nariz tapada, solamente se podrá juzgar si es dulce, salado, amargo o ácido. En cambio, en cuanto se perciba el olor, se podrá decir de que alimento se trata (Anzaldúa-Morales, 1994).

⁵ Sabor o *flavour*

⁶ Gusto o *taste*

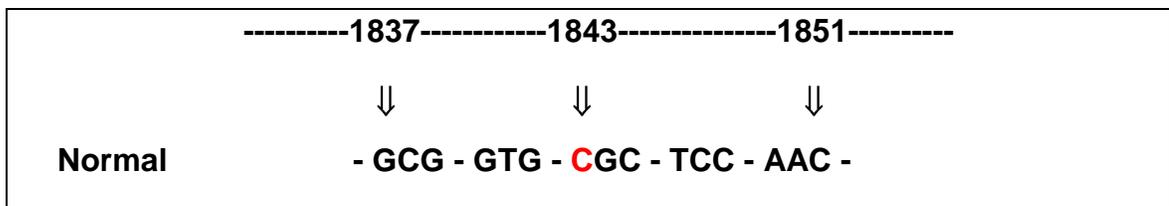
2.5. Síndrome de Estrés Porcino

El Síndrome de Estrés Porcino (SEP) o Hipertermia Maligna (HM) es un desorden genético neuromuscular caracterizado por el desarrollo de hipertermia, acidosis y rigidez muscular (Shen *et al.*, 1992).

Esta alteración es autosómica recesiva y con penetrancia incompleta (95%) y puede provocar la muerte o la presentación de carnes pálidas, blandas y exudativas (PSE) (Soria *et al.*, 1999).

Es controlada por un *loci* con dos alelos, uno dominante (H) y otro recesivo (h). Este gen es llamado gen del SEP o gen de estrés o gen halotano. La combinación de alelos resulta en tres posibles genotipos, el homocigoto dominante (HH), el heterocigoto (Hh) y el homocigoto recesivo (hh). El homocigoto recesivo es susceptible al SEP, aunque no todos exhiben la enfermedad debido a su penetrancia incompleta que es variable según líneas o razas de cerdos (Sellers, 1993).

En cerdos sensibles al estrés se estableció un punto único de mutación para el receptor de la ryanodina (*ryr 1*) del músculo esquelético, correlacionado con HM en cinco razas altamente musculadas (*Pietrain, Yorkshire, Poland China, Duroc Jersey* y *Landrace*). Mediante la técnica PCR⁷, se encontró que la base citocina del nucleótido 1843 de cerdos no susceptibles a HM era reemplazada por una base timina en el cDNA en cerdos susceptibles a HM (Figura 1):



⁷ PCR: Sigla del vocablo inglés *Polymerase Chain Reaction*: Reacción en Cadena de la Polimerasa.

miembros. Animales que padecieron estrés antes de ser sacrificados pueden presentar úlceras y lesiones cardíacas caracterizadas por grandes áreas necróticas, especialmente en el ventrículo izquierdo. En los casos más extremos, estos síntomas asociados a hipertermia, pueden ser letales y los animales pueden morir de un *shock* cardiogénico (Santoro y Laucitano, 1996).

Las manifestaciones clínicas del SEP se presentan generalmente durante el transporte en condiciones de hacinamiento y en períodos calurosos. Luego de los cuadros de tremor y rigidez, se observa una elevación de la temperatura, apreciándose también zonas de forma irregular en la piel con palidez o eritema. El cerdo afectado es atacado por su grupo, sufriendo colapso y muerte. El tiempo total de duración del síndrome es, por lo general, de cuatro a seis minutos (Blood y Radostits, 1992).

La anestesia con halotano ha sido usada como test para determinar la susceptibilidad de los cerdos al SEP. Este test permite identificar los individuos homocigotos recesivos, quienes son positivos al mismo, pero no permite distinguir a los heterocigotos de los homocigotos dominantes (Soria *et al.*, 1999).

El mecanismo de inducción del SEP es causado por anormalidades en el canal liberador de Ca^{+2} . En un músculo normal, el Ca^{+2} es bombeado dentro del retículo sarcoplásmico (RS) por la bomba de Ca^{+2} (dependiente de ATP), el cual es almacenado y asociado a calsecuestrina en el lumen del RS y liberado al citoplasma por el canal liberador de Ca^{+2} . El balance energético es mantenido por la glucólisis y el metabolismo aeróbico celular. El canal liberador de Ca^{+2} es regulado por Ca^{+2} , ATP, Mg^{+2} y calmodulina (MacLennan y Phillips, 1992).

En un músculo afectado por SEP, el canal liberador de Ca^{+2} es susceptible a bajas concentraciones de estimuladores de apertura del canal, el canal libera más Ca^{+2} y su cierre es lento. La bomba de Ca^{+2} no es capaz de bajar las concentraciones de Ca^{+2} , lo cual produce una contracción constante en la fibra muscular que se refleja en rigidez. La glucólisis se hace más rápida por la demanda de ATP generando acumulación de ácido láctico y CO_2 , y mayor necesidad de O_2 (MacLennan y Phillips, 1992).

Una vez desarrollado el síndrome, éste es irreversible, lo que representa un riesgo evidente en los procedimientos anestésicos en cerdos, y sólo se dispone de medicamentos para la protección contra la HM inducida por fármacos (Bonelli, 2002).

La combinación de acepromacina y droperidol retardaría el comienzo o evitaría la aparición de HM inducida por halotano. Se recomienda asimismo, el carazolol para prevenir la muerte por transporte (Blood y Radostits, 1992).

La incidencia de SEP en cerdos varía según raza y país. A partir de un estudio realizado en Ontario, cerca de un 10% de los animales comerciales eran portadores heterocigotos para el síndrome, mientras que sólo un 1,5% eran homocigotos recesivos. Sobre un 12% de los homocigotos murieron de SEP y más de un 50% de las canales de homocigotos se devaluaron por PSE (MacLennan y Phillips, 1992).

2.5.1 Carnes PSE

La carne de cerdo ha sido clasificada tradicionalmente en tres categorías: normal, PSE y DFD (Cheah *et al.*, 1998).

Como una forma de clasificar las canales, se han establecido los valores de pH para distintos tiempos. Los más usados son el pH medido a los 45 minutos (pH_{45}) y a las 24 horas (pH_{24}) después de sacrificados. Warriss (2000), sugiere en músculo *Longissimus dorsi*, para carnes PSE, DFD y normales, los siguientes rangos de pH límites a los 45 minutos y a las 24 horas (Tabla 2):

Tabla 2. Valores de pH límites para carnes PSE, normales y DFD en músculo *Longissimus dorsi*.

	PSE	NORMAL	DFD
pH_{45}	< 6.0	6.4	> 6.4
pH_{24}	< 5.3	5.5	≥ 6.0

Fuente: Warriss, 2000.

Recientemente se han introducido tres categorías nuevas de calidad de carne de cerdo: RSE (*reddish-pink, soft and exudative*), RFN (*red, firm and non-exudative*) y PFN (*pale, firm and non exudative*), las cuales generalmente habían sido clasificadas equivocadamente como normales. No existen detalles del estatus genético, manejo o trato de los cerdos antes del sacrificio. Las causas de la formación de la carne RSE no han sido establecidas (Cheah *et al.*, 1998).

En los cerdos susceptibles al estrés, con frecuencia la carne es de inferior calidad después del sacrificio, ya que presenta las alteraciones asociadas al cuadro PSE. Esto se relaciona con glucólisis excesiva *post mortem*, producción de ácido láctico y caída rápida del pH del músculo, con despigmentación y menor capacidad de retención de agua (CRA) (Fogd y Hylgaard-Jensen, 1981).

En el músculo afectado se produce rápidamente *rigor mortis* luego del sacrificio, el que disminuye después de un tiempo, apreciándose elevadas pérdidas de líquido por goteo. La carne afectada, a los 45 min después del sacrificio, presenta un pH menor a 6 y una temperatura de alrededor de 41 °C, a diferencia del pH de una carne normal que es superior a 6 y con temperaturas menores a 40 °C (Blood y Radostits, 1992).

La CRA o pérdida por goteo en el músculo está influenciada por un sinnúmero de factores, entre los cuales se mencionan el pH final, desnaturación de proteínas, longitud del espacio intra e interfascicular y longitud del sarcómero. La desnaturación de la miosina ha sido sugerida como la causa más importante de pérdidas por goteo en cerdos PSE (Boles *et al.*, 1992, Warner *et al.*, 1997).

La molécula de miosina tiene una longitud de 1500 Å. Cada molécula consta de dos unidades aparentemente idénticas. Cada unidad tiene una larga “cola” (meromiosina ligera), un “cuello” (meromiosina pesada o subfragmento S-2) y una “cabeza” (meromiosina pesada o subfragmento S-1) (Lawrie, 1998).

La desnaturación de la miosina resulta en un acortamiento de la cabeza y disminución de grosor. Este acortamiento, sumado al acortamiento de los filamentos debido al bajo pH final de la carne de cerdo PSE, resulta en más exudado de fluido entre fibras y haces de fibras (Warner *et al.*, 1997).

En un estudio realizado por Swatland (1993), sobre el origen y las magnitudes de líquido entre los distintos compartimentos implicados en las pérdidas por goteo y la influencia del pH y la temperatura en ellos, se encontró que había un flujo desde el espacio fibrilar hacia el espacio sarcoplásmico y de este último, al espacio extracelular. Se mostró que la cantidad de líquido en estos dos últimos compartimentos estaba directamente relacionado con el descenso del pH y el

aumento de la temperatura después del sacrificio, lo que hace aumentar, en forma significativa, las pérdidas de líquido por goteo.

En las carnes PSE, por efecto del pH y las bajas temperaturas, se produce además un acortamiento de los componentes miofibrilares (enrejado de los miofilamentos), conduciendo el líquido libre en la fibra hacia el espacio extracelular (entre las fibras musculares), aumentando el volumen de este espacio. Cuando el músculo es cortado, el líquido extra del músculo exuda hacia afuera (pérdidas por goteo) en toda la extensión del corte (Warriss, 2000).

La dispersión de la luz desde la superficie de la carne es causada, probablemente, por diferencias en los índices de refracción del sarcoplasma y de las miofibrillas. A mayor diferencia, mayor es la dispersión de la luz y la palidez de la carne se hace más notoria. El acortamiento de la malla de miofilamentos incrementa además, la cantidad de luz reflejada desde la carne. A mayor luz dispersada, la cantidad de luz absorbida es baja y la importancia de los pigmentos del grupo hem que selectivamente absorben la luz y aportan al color rojo de la carne, es reducida. Lo anterior hace que la carne PSE aparezca a la vista menos roja (más pálida) y más amarilla. Los bajos pH promueven la oxidación de los pigmentos del grupo hem, desde púrpura o rojo (mioglobina y oximioglobina) a un color pardo (metamioglobina) (Warriss, 2000).

La suavidad es el aspecto menos comprendido de las características de la carne PSE. Al parecer es razonable suponer que el colapso del enrejado de los filamentos y la expansión del líquido desde la fibra a los espacios sarcoplasmáticos y extracelular, además de la pérdida por goteo, disminuyen la firmeza o turgidez de la carne, de la misma forma en que la condición osmótica de las células vegetales determina la turgencia y suavidad de frutas y verduras (Swatland, 1993).

En resumen, la serie de eventos que desencadenan la presentación de una carne PSE, se puede ordenar de la siguiente manera (Warriss, 2000):

- Rápida acidificación inicial
- Canal con bajo pH inicial y temperatura alta
- Desnaturación de proteínas
- Baja capacidad de retención de agua
- Pérdida de agua de las fibras musculares
- Separación de las fibras musculares
- Aumento del espacio extracelular
- Mayor dispersión de la luz
- Aparición de palidez en la superficie muscular
- Oxidación de la mioglobina por disminución del pH
- Reducción en la absorción del color verde por la mioglobina
- Apreciación de carnes pálidas

2.6. Influencia del gen halotano sobre la calidad de carne y canal

En los últimos 35 años, el sector productor de cerdos en el ámbito mundial, se ha esforzado en seleccionar cerdos magros. Sin embargo, a partir de la década de los 60, se observó que los resultados de la selección iban unidos a una alta mortalidad por estrés. Se detectó que la selección de reproductores con mejores características de carne magra y mayor desarrollo muscular, implicaba animales portadores de SEP, transmitiendo a la descendencia ese carácter. Todas estas características están influenciadas por un gen recesivo llamado gen receptor de la ryanodina, anteriormente denominado gen halotano (Bonelli, 2002).

El gen halotano provoca importantes pérdidas en la economía del sector porcino, a través de las muertes inducidas en situaciones de estrés y, fundamentalmente, en el desarrollo de carnes de mala calidad. No obstante, presenta ventajas en aquellos caracteres relacionados con la calidad de la canal. Los resultados sobre la influencia en los demás caracteres productivos son contradictorios, y muy pocos trabajos hacen referencia a la comparación entre los homocigotos dominantes y los heterocigotos. La aparición de una técnica molecular para la determinación del genotipo en el locus del gen halotano, posibilita el estudio de los genotipos en forma más precisa (Noguera *et al.*, 1993).

En muchas investigaciones se ha observado que el gen del halotano tiene una acción aditiva en parámetros tan importantes como el rendimiento de la canal, el porcentaje de magro y la relación músculo/hueso (Puigvert *et al.*, 1997).

Una interacción significativa fue encontrada entre el genotipo halotano y el peso de sacrificio. Algunas investigaciones demostraron que, en presencia del alelo recesivo (h), este afectaba la calidad de la carne en forma negativa, pero aumentaba el peso al sacrificio (Monin *et al.*, 1999).

Tratando de saber cómo el gen halotano afecta la calidad de la canal, se observó un comportamiento diferencial del gen, en función de dos genotipos (*Large White* x *Landrace* y *Pietrain*). En el primer genotipo la presencia de gen halotano en el heterocigoto, tuvo un efecto favorable sobre la calidad de la canal comparado con el homocigoto dominante. Se observaron aumentos significativos en el rendimiento, en la conformación visual, en el porcentaje de carne magra y en el jamón, que conlleva a una mejor relación músculo/hueso. En la raza *Pietrain* se apreció una mejor conformación visual y a una mayor longitud de canal en los homocigotos recesivos en comparación con los

heterocigotos, no encontrándose diferencias significativas en el rendimiento, en el porcentaje de carne magra y en el porcentaje de cortes nobles (Puigvert *et al.*, 1997).

Zhang *et al.* (1992), reportan que el genotipo halotano disminuye la deposición de grasa en el tejido muscular proporcionando canales más magras, mejora la eficiencia de conversión alimenticia, pero reduce los valores de algunos estimadores de calidad como el color, firmeza y marmoleo. Grupos de razas que mayoritariamente tienen sólo un alelo recesivo, crecieron más rápidamente y tuvieron buena calidad de canal en comparación con grupos de razas que presentaban el homocigoto recesivo.

En el caso del efecto del gen halotano en la calidad de la carne, se reporta efectos significativos en la mayoría de las variables, observándose en los animales heterocigotos valores más bajos de pH, mayor conductividad eléctrica, color más pálido y valores de luminosidad Minolta más elevados, así como menor contenido de grasa intramuscular en comparación con los homocigotos resistentes al estrés en razas *Large White* y *Landrace*. Estos resultados indicarían que los animales heterocigotos son más susceptibles a los factores estresantes previos al sacrificio que los animales resistentes al estrés (Gispert *et al.*, 1997).

El gen halotano tiene influencia negativa sobre algunas características de calidad de la carne, entre las que se mencionan el color y la CRA del músculo. De esta forma, canales que proceden de animales halotano positivos o portadores, tienen una carne más pálida y exudativa que la carne que procede de animales halotano negativos (Oliver, 2000).

Este gen confiere una carne más magra y acompañado de una susceptibilidad para PSE. Los heterocigotos y homocigotos recesivos presentan desventajas comparados con el homocigoto dominante en todas las características de calidad de carne asociados con pH final, CRA, color y turgencia (pérdidas por goteo) (Webb, 1996). La tabla 3, ilustra la aditividad negativa del gen halotano sobre distintas características de calidad de carne:

Tabla 3. Calidad de carne en distintos genotipos halotano.

Estimadores de calidad	NN	Nn	nn
pH 45	6,1	5,83	5,51
Color (CIE-L)	48,7	50,83	54,7
Pérdidas por goteo (g/kg)	21,0	31,5	34,1
Proteína soluble (g/kg)	184	163	128
Fuerza de corte (g/kg)	5,4	6,6	7,5
Grasa intramuscular (g/kg)	3,8	2,7	2,6

NN: homocigoto dominante, Nn: heterocigoto, nn: homocigoto recesivo.

Fuente: Webb, 1996. Adaptado por el autor.

Recientemente un estudio llevado a cabo en España, trabajando con 1331 animales procedentes de 5 mataderos, se estudió la frecuencia del gen del halotano. Se encontró sólo un 6,2% de los animales homocigotos recesivos, un 51,7% eran del tipo heterocigoto y un 42,1% eran homocigoto dominante. Esto significa que el 60% de los cerdos terminados en España son portadores del gen del halotano (Garnier, 2001).

Un estudio comparativo realizado en Europa, en 1993, sobre mortalidad en el transporte en varios países (Portugal, Italia, Bélgica, Alemania, Holanda y Dinamarca), demostró que la mortalidad fue mayor en aquellos países en que una proporción significativa de la población era sensible al halotano. Cabe

hacer notar que hacia 1986, en Dinamarca, fue implementado un programa para eliminar el gen halotano de las razas que formaban la población de cerdos. Ya en 1996, diez años después, el efecto de este cambio hizo disminuir notablemente las estadísticas de mortalidad de cerdos en los corrales y durante el transporte (Barton-Gade, 1997).

Recientemente se han desarrollado nuevos tipos de verracos *Pietrain* por selección de líneas sin el gen halotano que actualmente se comercializan en Europa. El potencial de este tipo de verracos - que sustituye a los verracos halotano positivos -, mantiene las ventajas de muscularidad y heterosis, sin tener algunas de sus desventajas, tales como la alta frecuencia de carnes PSE y las mortalidades. Recientes investigaciones indican que el efecto de la eliminación del gen halotano y la utilización de verracos *Pietrain* NN⁸, mejoran los resultados productivos. En cuanto a cerdos comerciales, se produce un nivel de crecimiento mayor, mortalidades más bajas durante el transporte, canales más largas y una gran disminución de carnes PSE. El único efecto negativo encontrado es un rendimiento a la canal, levemente más bajo (Garnier, 2001).

2.7. Factores estresantes que afectan la calidad de la carne

Los animales, continuamente son capaces de hacer ajustes en su estado corporal y su conducta, producto de los constantes cambios en las condiciones ambientales. A menos que se adapten, ellos no son capaces de mantener la homeostasis interna, integridad corporal y, la habilidad de crecer y reproducirse. Las adaptaciones al estrés son fijadas y adquiridas por medio de una variedad de interrelaciones anatómicas, fisiológicas, bioquímicas, inmunológicas, conductuales y psicológicas. Algunas respuestas de este mecanismo son específicas para desafíos en particular. Pero la respuesta, cuando es de esta forma, tiene un costo biológico, básicamente energético, para el animal. Si el

⁸ Nombre comercial de cerdos *Pietrain* seleccionados sin gen halotano.

estrés o desafío es de baja intensidad, la respuesta necesaria puede ser pequeña y no sobrepasar la capacidad del animal. Por el contrario, si el estrés es mayor, la adaptación tendrá un costo detrimental para el animal (Ewbank, 1992).

La mayor fuente de estrés está representada por cambios ambientales bruscos y por las condiciones de vida del animal. En general, todos los estados presacrificio incluyen una secuencia de eventos y operaciones, que pueden provocar diferentes grados de agresiones, en especial, en animales sin experiencia. El efecto del estrés sobre las características musculares pos-mortem varía de acuerdo a la duración e intensidad de la condición estresante, provocando distintas respuestas según la variación individual del animal enfrentado al estrés (Santoro y Laucitano, 1996).

La exposición al estrés agudo, por ejemplo, causado por una severa excitación antes del sacrificio, puede conducir a una aceleración del proceso de acidificación muscular pos-mortem, resultando en un pH inferior, palidez de la carne y una reducción de la capacidad de retención de agua (CRA), vale decir, mostrar signos asociados al PSE, especialmente en cerdos estrés susceptibles (Harri, 1993).

El tratamiento *ante-mortem* tiene un efecto importante sobre la mortalidad, durante el manejo final - desde el criadero al sacrificio -, produciendo daños en las canales y la calidad final de la carne. Este período es muy importante dentro de la cadena de la producción porcina ya que las pérdidas deben minimizarse. El grado de sensibilidad al estrés de los cerdos es un factor que debe considerarse, puesto que los animales musculados se ven afectados negativamente durante esta etapa. También, las condiciones ambientales pueden agravar los problemas ocasionados cuando éstas son extremas. Por

último, desde un punto de vista moral la sociedad exige cada vez un trato más humanitario de los animales destinados al sacrificio (Diestre, 1994).

2.7.1. Reposo

(a) Reglamentación vigente

Es conocido en los mataderos el efecto beneficioso del reposo sobre los cerdos después del transporte, y así minimizar el estrés y obtener un efecto beneficioso sobre la calidad de la carne. Con relación al tiempo de reposo, se encuentran vigentes en la legislación chilena dos reglamentaciones que regulan la cantidad de horas que deben descansar los animales después del transporte y antes del sacrificio. En el D.S. N° 977, Reglamento Sanitario de los Alimentos⁹ (Chile, MINSAL, 2004). En el párrafo X, artículo 82 dispone, “la encierra de las reses (incluye cerdos) deberá efectuarse con un mínimo de 6 hrs de antelación al sacrificio, con el fin de permitir el reposo y el examen ante-mortem”. Sin embargo, en caso de no poder cumplirse los plazos ya establecidos el Médico Veterinario podrá modificar el tiempo de reposo.

Por otro lado, el D.S. N° 342 (Chile, MINAGRI, 1994), aprueba el reglamento sobre funcionamiento de mataderos, cámaras frigoríficas y centrales de desposte y fija equipamiento mínimo de tales establecimientos¹⁰, establece en el segundo párrafo del artículo 7°, que “Los animales deberán permanecer en

⁹ Artículo 82: “ la encierra de las reses deberán efectuarse con un mínimo de 6 horas de antelación al sacrificio, con el fin de permitir el reposo y el examen ante-mortem. Los animales no podrán permanecer en el recinto del matadero sin ser faenados por más de 48 hrs. En casos justificados se podrá modificar el tiempo de reposo previa autorización del médico veterinario del servicio de salud ”.

¹⁰ Artículo 7°, 2° párrafo: “ Los animales deberán permanecer en estos corrales por un lapso mínimo de 12 horas y un máximo de 72 horas. No obstante ello, si existen causales justificadas se pueden prolongar o acortar los periodos señalados. En todo caso, si el ganado debe permanecer por un lapso superior a las 48 hrs el corral deberá contar con comederos ”.

estos corrales por un lapso mínimo de 12 horas y un máximo de 72 horas”, dejando claro que en algunos casos se podrá cambiar los reposo ya señalados.

(b) Tiempo de Reposo

El tiempo de reposo es un factor que se encuentra íntimamente ligado al tiempo de transporte. Según Gallo (1996), los objetivos del tiempo de reposo son lograr:

- El vaciado del contenido gastrointestinal para evitar la contaminación de la canal.
- La recuperación de los niveles de glucógeno normal.
- La normalización del estrés producido por el transporte.

El sacrificio de los animales inmediatamente después de la llegada al matadero resulta en una alta incidencia de carnes PSE, aunque estén reposados antes de ser sacrificados. Un periodo mínimo de 1hr fue necesario para que la temperatura de los cerdos disminuyera hasta valores normales. Recomendaciones en algunos países europeos (Holanda y Dinamarca) indican que un tiempo de reposo conveniente en corrales sería de 2-4 hrs. Para establecer un adecuado período de reposo en la planta faenadora, el manejo de los animales debe estar ajustado en función a los flujos de llegada y de sacrificio de animales. Por esta razón, se estima que la capacidad de los corrales debería ser de más de seis veces la cantidad de cerdos sacrificados por hora. En mataderos de Gran Bretaña casi la mitad de los cerdos son sacrificados después de 2 horas de reposo en los corrales, pero cerca del 30% debieron esperar toda la noche y ser sacrificados al día siguiente (Tarrant, 1989).

El efecto de las condiciones de reposo pueden variar dependiendo del tipo de animal y del tratamiento en el transporte. En general, los cerdos sensibles al

estrés deben ser sometidos a reposo de al menos 2 horas, siendo el óptimo de 6-8 horas. La experiencia danesa indica que en cerdos transportados durante 2 hrs, el número de canales PSE disminuye a medida que aumenta el tiempo de espera, mientras que la incidencia de las canales DFD se incrementa a mayor tiempo de espera. La disminución de PSE se hace notoria a partir de 6 horas, en cambio el aumento de DFD puede comenzar incluso a las 2 horas de espera (Diestre, 1994).

Diferentes estudios se han realizado con el fin de encontrar los mejores tiempos de reposo antes del sacrificio de los cerdos. Santos *et al.* (1997), encontraron que el pH medido 24 (pH_{24}) horas pos-mortem en los músculos *Semimenbranosus*, *Longissimus dorsi*, *Biceps femoris*, *Adductor* y *Semispinalis capitis*, se incrementó en forma significativa ($p \leq 0,01$) cuando se comparó reposos de menos de 30 minutos (sacrificio inmediato) con reposos de 2 a 3 horas. Por ello recomienda que a temperaturas moderadas un reposo de 2 a 3 hrs sería suficiente para recuperarse del estrés producido por la descarga y el transporte (Santos *et al.*, 1997).

En un experimento de cerdos sometidos a distintos tiempos de reposo (sacrificio inmediato, 3 y 9 hrs), García-Belenguer *et al.*, (1999) midieron algunos parámetros fisiológicos en muestras de sangre y pH, a las 2 y 24 hrs después del sacrificio. En todos los tiempos de reposo se encontraron concentraciones de cortisol muy elevadas inmediatamente después del transporte. Los valores de pH_{24} estuvieron dentro del rango normal (5,6-6,0) para todos los casos. Sin embargo, se observó una tendencia a menores valores de pH en los animales sacrificados en forma inmediata, lo que indicaría una posible susceptibilidad a la acidificación muscular y aparición de carnes PSE.

En general, un aumento en el tiempo de reposo resultaría en una disminución de la presentación de carnes PSE. En un estudio que evaluó el efecto de diferentes tiempos de reposo se reporta que los cerdos que descansaron alrededor de 30 minutos, presentaron una alta incidencia de carnes PSE. Se determinó además que cerdos que dispusieron de 3 hrs de reposo, presentaron la respuesta más favorable en la calidad de la carne (Jones *et al.*, 1994).

Concordando con estudios anteriores, Warriss (2003), observó que al comparar cerdos que reposaron 3 hrs con reposo durante toda la noche, el pH de los músculos *Longissimus dorsi*, *Semimembranoso* y *Adductor* se incrementa progresivamente, mientras valores FOP disminuyen (Fibre Optic Probe), vale decir mejora la calidad de la carne. Con el aumento del reposo también disminuye la cantidad de potenciales canales PSE y aumenta progresivamente el porcentaje de canales DFD.

Fraquenza *et al.* (1998), encontró que a temperaturas moderadas (20°C) el porcentaje de canales PSE disminuía de un 32,9% a un 23,7% y el porcentaje de canales DFD aumentaba de 2,0% a 4,9% cuando se comparó tiempos de reposo de 0,5 hrs con 3 hrs de duración.

Finalmente, se concluye que esperas de 3 hrs permiten una recuperación de los efectos de un transporte de corta duración y a temperaturas moderadas, mientras tiempos de reposo más prolongados no producen mejoras ni en el bienestar de los cerdos ni en la calidad de sus canales (García-Belenguer *et al.*, 1999, Pérez *et al.*, 2002).

2.7.2. Transporte

Se ha establecido que el transporte de cerdos es uno de los factores más influyentes en la calidad de la carne. El transporte involucra factores que

incrementan el estrés en los animales tales como es ruidos y olores poco familiares, privación de agua y comida, apiñamiento, vibraciones, cambios de velocidad y temperaturas extremas. Sin embargo, los estudios de estrés en el transporte son difíciles de interpretar debido al efecto acumulativo de cada uno de ellos durante el transporte. Las peleas pueden ocurrir habitualmente durante el transporte pero con frecuencia sólo es un problema cuando el vehículo se detiene. La carga y descarga de cerdos en los vehículos parece ser el aspecto más estresante, dependiendo de la duración del viaje y de la habilidad del conductor (Channon, 2001).

Los sistemas de transporte de animales deben ser diseñados y utilizados para garantizar que éstos no sufran molestias ni estrés en forma innecesaria. Como en las etapas anteriores, es necesario no mezclar animales de diferentes corrales de engorda en los camiones. Antes de cualquier manipulación se debe mantener un periodo de ayuno de 12 a 14 horas, especialmente en los cerdos ya que tienden a marearse. Las rampas de carga y descarga deberían presentar una pendiente de alrededor de 15°, el movimiento de animales debe ir de lugares más oscuros a más claros y los animales deben poder desplazarse sin encontrar obstáculos y ser arreados con paneles evitando el uso de picanas eléctricas (Fabregas *et al.*, 2002).

Información de países europeos indica que la mortalidad durante el transporte es muy variable, oscilando entre un 0,1% a 1%. Dos serían los factores que influyen principalmente en la frecuencia de las muertes: la temperatura ambiental y el genotipo. Antes de la muerte, los cerdos presentan disnea, cianosis, hipertermia y rigidez de los miembros, todo atribuible a la acidosis e hipercapnia. Los cerdos muertos presentan dilatación cardíaca, posiblemente causada por la carga extra de sangre circulante durante el periodo de estrés,

causando la falla cardiaca. Las razas susceptibles al estrés están más predispuestas a morir durante el transporte. La selección en contra de cerdos halotano positivos reduce significativamente la mortalidad (Warriss, 1994).

(a) Carga y descarga de animales

Frecuentemente en los criaderos no existen facilidades para la carga de animales. Las rampas generalmente tienen demasiada pendiente, los cerdos se niegan a subir debido a la falta de experiencia y a que la ven como un obstáculo insuperable. El ángulo máximo recomendado para una rampa permanente es de 15 a 20°. La experiencia indica que los cerdos se mueven más fácilmente hacia arriba. En las rampas de descarga es necesario que ésta tenga peldaños de 7cm (Tarrant, 1989).

Tarrant (1989) sugiere las opciones en orden de preferencia, para la carga de camiones:

1. una plataforma sin pendiente, a nivel de la superficie del camión.
2. un montacargas con puerta hidráulica para cargar los cerdos sobre el camión.
3. una rampa de carga fija con una pendiente menor a 20° y,
4. una rampa deslizable con una pendiente menor a 27°.

(b) Densidad de transporte

Diversas investigaciones indican que el efecto de la densidad de transporte sobre la calidad de la carne estaría determinado por la raza y por la temperatura. Así, en Gran Bretaña, el transporte de cerdos *Landrace x Large White*, por 192 km, con densidades de 0,3 a 0,4 m²/100 kg de peso vivo y a temperaturas de 14 C°, no tuvo incidencia en la presentación de carnes PSE y

DFD. Sin embargo, densidades de 0,33 m²/100 kg comparados con densidades de 0,43 m²/100 kg, muestran que la menor densidad resultó en una pobre calidad de carne en cerdos *Landrace* alemán transportados por 254 km (Tarrant, 1989).

Un espacio demasiado pequeño produce estrés por calor, fatiga, baja calidad de carne y alta tasa de mortalidad. Demasiado espacio sería antieconómico y favorece la caída de los animales cuando el camión realiza maniobras bruscas (frenajes o virajes). Sin embargo, como los cerdos tienden a echarse durante el transporte, es menos problemático una baja densidad que una densidad elevada (Tarrant, 1989).

Se ha encontrado que la densidad más apropiada sería entre 0,4 a 0,5 m²/ 100 kg de peso vivo. No obstante, se recomienda aumentar este espacio en un 15% en condiciones de calor. Recientemente, en un estudio se compararon tres densidades (0,59; 0,47; 0,39 m²/cerdo), en largas distancias de transporte, se indica que 0,47 m²/cerdo es la densidad óptima (Diestre, 1999).

Las densidades de transporte recomendadas varían considerablemente entre diferentes regiones y países. Tarrant (1989) realiza una extensa revisión sobre el tema, reportando la siguiente información (Tabla 4):

Tabla 4. Efecto de distintas densidades de camiones usados en el transporte de cerdos para sacrificio.

Área del piso (m ²)/100 kg cerdo	Observaciones
0,3	Aumenta los daños a la piel, puede predisponer a prolapso rectal. Afecta negativamente la calidad de la carne. Densidad muy usada en el transporte de animales. No se afecta la calidad de carne en cerdos ingleses.
0,33	Afecta negativamente la calidad de la carne en cerdos alemanes.

	Asociada con amontonamiento en viajes largos, incrementa la fatiga, aumenta la temperatura de las canales y la presentación de carne oscura.
0,35	Recomendada en Australia; debe aumentarse un 10% cuando la temperatura ambiente es mayor a 25 °C. Recomendada en Dinamarca para cerdos de 90 kg.
0,40 - 0,50	Recomendada en Gran Bretaña.
0,42	Se aumenta la temperatura corporal en 1 °C comparado con 0,51 m ² /100 kg peso vivo.
0,44	Aceptable para obtener una buena calidad y bienestar animal.
0,50	Recomendada en Alemania Federal, permite a todos los cerdos echarse en el suelo.

Fuente. Tarrant, P. V. 1989. Adaptado por el autor.

(c) Tiempo de transporte

La duración del transporte tiene un efecto variable sobre la calidad de la carne de cerdo. En un estudio en que los cerdos fueron transportados distancias de 650 km, se produjeron carnes más oscuras, más rojas y con un pH mayor (45 min y 24 hrs) que los cerdos transportados 180 km. En otro ensayo, se sugiere que tiempos de transporte de 1 a 4 hrs no influyen el pH final. Esto podría indicar que los cerdos no siempre presentan el efecto esperado del transporte sobre la concentración de glucógeno en el músculo y, por consiguiente, en los valores de pH finales (Channon, 2001).

Distintos estudios han sido conducidos para determinar cuanto les toma los cerdos recuperarse después de descargados en el matadero. En un ensayo, cerdos *Large White* fueron transportados por 16-24 horas y conducidos a corrales con agua y comida. Después de 2 a 6 horas, los parámetros fisiológicos retornaron a su nivel normal (Grandin, 2003).

En otro estudio se intentó encontrar la mejor asociación entre tiempo de transporte y tiempo de reposo. En general, los tiempos de transporte menos

estresantes fueron los situados en el intervalo de 120-180 min y, por el contrario, los más estresantes fueron los de menos de 30 min. Esta situación se explicaría a través del efecto acumulativo de los estrés por carga, por acomodación al medio físico del camión, por tiempo de transporte y descarga, en un período muy corto de tiempo (Alvarez y Torre, 1997).

(d) Calidad del transporte

Las condiciones del transporte tienen un efecto importante sobre la mortalidad antes del sacrificio. En Alemania se encontró que, un matadero tenía menores pérdidas por muerte los días lunes y martes respecto a los otros días laborales. La diferencia se debió al tipo de transporte. Los días en que observaba menor mortalidad, los cerdos se transportaban en camiones pequeños sin mezcla de animales. En cambio, los días de mayor proporción de animales muertos, los animales eran transportados en grandes camiones mezclando cerdos de diferente origen (Diestre, 1994).

La vibración en un vehículo es desagradable para los cerdos y los hace vomitar durante el transporte (Bradshaw *et al.*, 1996). La vibración podría transformarse en el factor más nocivo durante el transporte. Se encontró que vibraciones de baja frecuencia de 2 a 4 Hz fueron más estresantes que de 8 a 18 Hz. Las vibraciones pueden ser reducidas usando vehículos con suspensión neumática (Perremans *et al.*, 2001).

Por otra parte, el piso de los camiones debe ser antideslizante, el techo y las paredes deben asegurar una protección eficaz contra la intemperie y contra las variaciones climáticas. Los camiones deberían estar provistos de montacargas y tener sistemas de ventilación, manuales o automáticos (Fabregas *et al.*, 2002).

(e) Temperatura de transporte

En un estudio realizado en el Reino Unido, se reporta que, de 2,9 millones de cerdos transportados a siete plantas faenadoras entre 1991 y 1992, se presentó una mortalidad de 0.061% durante el transporte y 0.011% en el matadero. La relación de la mortalidad con la temperatura fue directa, señalándose que con temperaturas de entre 15 y 17° C, el efecto negativo fue más serio (Warriss y Brown, 1994).

Las variaciones en la temperatura ambiental a que son sometidos los cerdos durante el transporte pueden ser de hasta 20 °C, e incluso más. La temperatura en el vehículo de transporte está determinada por la temperatura externa, el calor producido por los animales y por la tasa de ventilación. Es probable que en muchas condiciones de transporte los cerdos sean sometidos a niveles superiores a su tolerancia térmica. Por esto, el enfriado del ambiente dentro del camión es beneficioso y la densidad de transporte es muy importante. La ventilación y el enfriado ya sea natural o forzado han demostrado ser efectivos (Tarrant, 1993).

Con temperaturas bajas, en promedio 10 °C, la presentación de muertes es muy baja, entre 10 °C y 18 °C las muertes aumentan gradualmente y sobre 18 °C éstas se incrementa rápidamente. Esta situación dice relación con el efecto estacional, encontrándose mayores mortalidades durante los meses calurosos. Cambios en la temperatura y la humedad han sido implicados como los causantes de altas mortalidades (Warriss, 1994).

2.7.3. Mezcla de animales

Al juntar animales de diferentes orígenes (corrales) se aumentan las agresiones o golpes entre algunos animales, produciéndose lesiones cutáneas y heridas en las masas musculares, e incluso muertes de animales. Este problema es potenciado con la presencia de machos enteros. Los corrales en los criaderos, la capacidad de los vehículos y los corrales de reposo en los mataderos, generalmente tienen diferentes tamaños, lo que hace casi imposible evitar la mezcla de animales (Tarrant, 1989).

Observaciones realizadas en corrales de reposo con cerdos que provenían de diferentes orígenes, demostraron que las conductas agonísticas se producían durante los primeros 30 minutos, período en el cual se establecía el nuevo ordenamiento social. La mayoría de los cerdos (80%) empezaron a reposar recién después de 1 hr (Guise y Penny, 1989).

En las grandes plantas faenadoras es difícil no juntar cerdos de distintos orígenes. Observaciones a nivel de mataderos indican que al mezclar grupos pequeños de cerdos pelean mucho más que grupos grandes (200 animales). En grupos de 150-200 cerdos mezclados y ubicados en grandes corrales, se observa que la mayoría de los cerdos se echan y tienden a dormir (Grandin, 2003).

2.7.4. Ayuno y deshidratación

Los carbohidratos dietarios son la principal fuente de glucosa sanguínea. Cuando éstos se ingieren en grandes cantidades, sólo se produce una hiperglicemia transitoria, ya que el hígado y los tejidos transforman rápidamente la glucosa en glicógeno o en sustancias del metabolismo de los ácidos grasos y aminoácidos (Kolb, 1974).

De las reservas de glicógeno en el hígado o en el músculo, el hepático es más rápidamente disponible por glicogenolisis, debido a que en el hígado y el riñón - pero no en el músculo- hay una enzima específica para esta función, la glucosa-6-fosfatasa (Mayes, 1971).

Se ha reportado que de las pérdidas totales de glicógeno en ratas ayunadas por 19 hrs, el hígado contribuye con el 64% y la carcasa con 36% (Sudgen *et al.*, 1976).

En un estudio con cerdos de peso de sacrificio (116 kg), se indica que los cerdos ayunados presentaron un color más oscuro, un mejor marmoleo, una mayor CRA y tenían un mayor pH final en el músculo *Longissimus dorsi*, en comparación con cerdos que no tuvieron ayuno (Leheska *et al.*, 2003).

Distintos aspectos de la calidad de la carne y productividad de la canal son afectados por la suspensión del alimento antes del sacrificio. El buen cumplimiento de esta norma de manejo tiene relación con una baja tasa de mortalidad en el transporte, mejor color y CRA de la carne, menores pérdidas de peso durante el enfriado y el despiece y, bajo riesgo de contaminación bacteriana durante el eviscerado. Las mayores desventajas de la suspensión de alimento son la pérdida de productividad de los componentes de la canal y mayor presentación de carnes DFD (Tarrant, 1993).

Al estudiar las concentraciones de glicógeno hepático en 900 cerdos, se pudo estimar que la mitad de los animales habían ayunado por más de 18 hrs (Warriss y Bevis, 1987).

La evidencia encontrada hasta ahora sugiere que un período de 12 a 18 horas sin alimento antes del sacrificio sería suficiente para obtener las ventajas ya

mencionadas, sin incurrir en pérdidas de productividad en las canales (Tarrant, 1993).

Las pérdidas de peso vivo se inician inmediatamente después del retiro del alimento. Estas pérdidas se deben a la eliminación de fecas y orina. Las pérdidas posteriores son causadas por movilización de reservas corporales de energía y por deshidratación que a menudo acompaña al ayuno y al transporte. La tasa de pérdida de peso de las canales es de alrededor de 0,1% del peso inicial por hora de destare (Warriss, 1994).

Cerdos alimentados hasta poco tiempo antes de ser transportados muestran un incremento de la tasa de mortalidad. En función a lo anterior los cerdos no deberían tener acceso a comida alrededor de 4 horas antes de ser cargados. Sin embargo, para minimizar las pérdidas, el tiempo transcurrido desde el último alimento hasta el sacrificio idealmente debe ser de 12 hrs, pero nunca sobrepasar las 18 hrs (Warriss, 2000).

Cuando al ayuno de los cerdos, además se les de priva de agua, pueden ocurrir pérdidas adicionales debido a la deshidratación. Las pérdidas de peso debido a la deshidratación comienzan antes que las pérdidas por ayuno y se asocian a las condiciones ambientales. Se encontró que la reducción adicional del peso de la canal causado por privación de agua puede llegar al 1% diario. La tasa de deshidratación está mayoritariamente influenciada por el transporte en carretera, reportándose que las canales perdieron un peso de un 2,1% después de 6 hrs de transporte (Tarrant, 1989).

Los factores que contribuyen a la deshidratación de los cerdos durante el transporte son el incremento de la temperatura ambiental, la disminución de la humedad en el vehículo y el aumento de la temperatura corporal. Se encontró

que la producción de calor y las pérdidas de peso son menores a una temperatura de 16 °C, en comparación a temperaturas de 24 °C y 8 °C, indicando que ésta fue la temperatura óptima para una tasa metabólica mínima y para la mínima pérdida de peso (Lambooy *et al.*, 1987 citados por Tarrant, 1993).

2.7.5. Sistema de insensibilización.

Un buen sistema de insensibilización debe contar con ciertos requisitos. Primero, debe inducir inconsciencia sin producir dolor y ésta se debe prolongar hasta su muerte. En segundo lugar, debe minimizar problemas de calidad del producto final y, por último, debe ser seguro para el operario (Fabregas *et al.*, 2002).

La insensibilización eléctrica o electronarcosis consiste en el paso de corriente eléctrica a través del cerebro del animal, lo que produce una pérdida de conciencia. Inmediatamente el animal entra en una fase de contracción tónica muscular, desapareciendo la ritmicidad respiratoria, el reflejo corneal y la sensibilidad al dolor (fase tónica). Seguido a esto, el animal entra en una fase donde comienza a efectuar movimientos bruscos e involuntarios con sus extremidades (fase clónica). Es importante mencionar que el degüello debe hacerse dentro de 15 segundos después de la insensibilización, antes del inicio de la fase clónica. Actualmente, se usa la insensibilización cabeza-cuerpo que consiste en la aplicación de un tercer electrodo en la zona de proyección del corazón, así la corriente además del cerebro pasa por corazón y médula espinal. En los mataderos con sistemas de aturdimiento eléctrico, la principal falla es la aplicación errónea de los electrodos, no pasando la suficiente corriente eléctrica por el cerebro (Fabregas *et al.*, 2002).

El principal problema de la insensibilización eléctrica, es la presencia de hemorragias petequiales y difusas¹¹ en ciertas masas musculares (*L. dorsi*, músculos de los miembros posterior y anterior), las que se evidencian una vez que se exponen los músculos en los procesos de desposte. Las causas del problema no están bien establecidas, pero se cree que altos voltajes producen contracciones musculares que, cuando la presión sistólica se encuentra demasiado elevada, causan aneurismas en los vasos sanguíneos, aumentando el riesgo de perforación de las paredes de los vasos (Tarrant, 1989).

Los cerdos también pueden ser insensibilizados por exposición al dióxido de carbono (CO₂). Es usado a una concentración de 80-90% del aire. Por ser más pesado que el aire, el sistema consiste en saturar con CO₂ un pozo al que ingresan los cerdos, permaneciendo alrededor de 90 segundos. Una exposición más prolongada mataría a la mayoría de los cerdos. El CO₂ se disuelve en la sangre formando ácido carbónico, reduciendo el pH del líquido céfaloaraquídeo. La acidez es tóxica para la función cerebral y el animal pierde la conciencia (Warriss, 2000).

El uso de CO₂ ha causado controversia, siendo calificado como “poco humano” debido a que la insensibilización no es instantánea, apareciendo entre los 15 y 21 segundos, dependiendo de la concentración de CO₂ que se utilice en la mezcla (Raj *et al.*, 1997). Otros autores indican que la narcosis se lograría a los 40 segundos posteriores a la exposición (Gregory *et al.*, 1987). Por otra parte, la exposición a CO₂ estimula la frecuencia respiratoria y puede producir un distrés respiratorio (Grandin, 2003).

Al comparar ambos métodos de insensibilización y su relación con la calidad de la carne se reporta una menor incidencia de presentación de carnes PSE al usar CO₂. Por otra parte, este método de insensibilización evitaba la

¹¹ **Blood splash**

presentación de hemorragias y fracturas óseas asociadas al método eléctrico. Sin embargo, la insensibilización por CO₂ produce altos niveles de estrés previos a la narcosis, los que inciden en la aparición de alteraciones en la carne (Tarrant, 1989; Grandin, 1994).

2.8. Estimadores de la calidad de la carne

2.8.1. pH

La acidificación del músculo pos-mortem es uno de los cambios fundamentales en la conversión del músculo en carne. La variación de la tasa y extensión de esta acidificación influencia el color y la CRA de la carne. La acidificación es medida en términos de valores pH muscular. La medición de pH es muy importante como estimador de la calidad de la carne, particularmente en ciertas situaciones de difícil definición como es la determinación de la presencia de carnes PSE o DFD (Warriss, 2000).

El pH del músculo vivo es levemente alcalino (pH 7,2) encontrándose un poco por encima del punto neutro. Después de la faena el glucógeno es degradado a ácido láctico, bajo la acción de diferentes enzimas. Este proceso se conoce como glucólisis. Debido a la formación de ácido disminuye el pH de la carne. Normalmente la glucólisis se desarrolla lentamente y el pH disminuye en el cerdo en el transcurso de 24 hrs, a un pH final de entre 5,3 a 5,8. Si por el contrario, la glucólisis se desarrolla más rápidamente, el pH llega dentro de los 45 minutos a valores inferiores a 5,8 lo que estimaría presencia de una carne PSE. Por otro lado, existen casos en los que, debido a deficiencia de glucógeno, se produce sólo una pequeña disminución del pH muscular. Si a las 24 hrs pos mortem, éste se mantiene por sobre 6,2 la estimación diagnóstica debería orientarse hacia la presencia de carnes tipo DFD (Hofmann, 1988).

En su revisión Bendall y Swatland (1988), midieron los valores de pH 45 minutos (pH_{45}) después del sacrificio y los valores a las 24 hrs (pH último o final)(pH_u). Los valores de pH_{45} oscilaban entre 5,56 y 6,62 y los valores de pH_u variaban entre 5,41 y 6,15. El pH_u promedio obtenido en el músculo *L. dorsi* y en el *semimembranosus* fue de $5,52 \pm 0,12$.

2.8.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica determina la calidad de la carne basándose en la diferente permeabilidad de las membranas celulares y la distribución relativa de los electrolitos. En los cerdos sensibles al estrés, la permeabilidad de la membrana celular está alterada, lo cual produce una acumulación de líquido y sales minerales en el exterior de la célula, aumentando la conductividad y la reflectancia muscular. Cuando el animal ha sufrido altos niveles de estrés, se produce mayor destrucción celular, lo que significa una mayor cantidad de líquido en el extracelular, y en consecuencia, la carne se hace más conductora de la corriente eléctrica (Alvarez y Torre, 1997).

Pos-mortem se produce una disminución tanto de la capacitancia¹² como de la resistencia muscular (parámetro inversamente proporcional a la conductividad eléctrica), debido a la pérdida de integridad de la membrana celular y a la migración de electrolitos y agua del compartimento intracelular al extracelular (Swatland, 1980b).

El músculo tiene una resistencia mínima a lo largo de los haces y una máxima resistencia en forma perpendicular a los haces de miofibrillas musculares. El tejido adiposo es la mayor fuente de resistencia en una canal (Swatland, 1980a).

La determinación de la conductividad eléctrica se realiza, habitualmente, utilizando el *PQM* (*pork quality meter*), equipo consistente en una sonda provista de dos electrodos de acero. Se basa en la medición de la corriente eléctrica establecida entre los dos electrodos insertados en el músculo. La escala de conductividad eléctrica va entre 0 y 20 mS¹³, donde los valores más altos son indicativos de carnes PSE y los más bajos de carnes DFD (Álvarez y Torre, 1997)

2.8.3. Color

Para medir color se utilizan diversos métodos. Los métodos de Göfo y EEL (Evans Electro Selenium Ltd.) son mediciones de reflectancia de longitud de onda simple; descripción del color de acuerdo con el sistema espacial de color CIELAB que aporta una descripción que incluye luminosidad, tonalidad y saturación y, la escala japonesa de color que representa la comparación del color de la carne con una escala de color estándar (Muñoz, 1994).

Algunos colores pueden ser definidos como la combinación de diferentes cantidades de luz que representan al rojo puro, verde puro y azul puro. Estos colores fueron denominados “verdaderamente primarios”. Dentro de sistemas desarrollados para medir color se transforman estos colores en ejes X, Y y Z. Los valores de X, Y y Z son triestímulos de luz que definen un color como un punto en el espacio. La CIE (Commission Internationale de l’Éclairage) determinó el color en este espacio tridimensional para así ser usada en métodos como el CIELAB. Este espacio tiene forma de esfera y tiene la ventaja que se acerca mucho a la uniformidad visual que es percibida por el ser humano. Los valores de estos triestímulos pueden ser usados para calcular tres coordenadas L*, a* y b*. La combinación de L*, a* y b* define el color exacto en

¹² **Capacitancia: capacidad de la célula de almacenar carga y energía.**

¹³ **mS: miliSiemens**

la esfera tridimensional de color. L^* es el valor de luminosidad (*lightness*); a^* y b^* coordenadas de colores (*chromaticity coordinates*), la coordenada a^* mide desde el rojo al verde y b^* desde el amarillo al azul (Warriss, 2000).

Distintas técnicas fueron utilizadas por Trout *et al.* (1991), debido su potencial en la rapidez para monitorear la calidad de la carne de cerdo. Los siguientes métodos presentaron el mayor potencial: 1) el método del papel filtro para evaluar CRA, 2) técnica de la centrifugación de alta velocidad, 3) Medición de color a través de triple estímulo, L^* , a^* y b^* , 4) FOP (Fibre Optic Probe). Estas técnicas entregan resultados que se encuentran altamente correlacionados ($r = 0,65-0,81$) con características económicas importantes como las pérdidas por goteo y el rendimiento al curado.

2.8.4. Capacidad de retención de agua

La CRA es la habilidad del músculo de retener la humedad en forma natural (Walukonis *et al.*, 2002).

Aproximadamente tres cuartas partes de la carne es agua. En el músculo del animal vivo el 10% está unido a proteínas y otro 5-10% está localizado en el espacio extracelular, en pequeños canales adyacentes a las fibras musculares. Sin embargo, la mayoría del agua presente en el músculo se encuentra entre el espacio que dejan los filamentos gruesos y delgados de la miofibrilla. La expansión o contracción de la red de filamentos producido por la interacción entre la actina y la miosina causa la expulsión de esta agua. Durante el desarrollo del rigor mortis la red se contrae y el agua es expelida afuera desde las fibras musculares hacia el espacio extracelular. Si un músculo es cortado esta agua tiende perderse parcialmente y disminuir la CRA o contribuir a las llamadas pérdidas por goteo (Warriss, 2000).

La CRA es muy variable y puede ser influenciada si el músculo de muestra proviene de distintas especies, raza, sexo, peso, trato ante y pos-mortem, afectando la calidad y composición de la carne (Kauffman *et al.*, 1986).

Según Muñoz (1994), los valores promedios de pérdidas de líquido por goteo en la carne de cerdo, oscilarían entre un 1,9% y un 8%, pese a lo difícil de poder sistematizarlas y compararlas debido, entre otros factores, a los distintos métodos de medición utilizados y el tiempo en que éstas se miden.

Los métodos para medir la CRA pueden ser divididos en tres clases: aquellos que aplican sólo la fuerza de gravedad, aquéllos que aplican una fuerza mayor y los métodos indirectos (Warriss, 2000).

Uno de los métodos más simples es almacenar un trozo de carne por un periodo de tiempo y medir las pérdidas por goteo. Lo más común es colgar un corte completo o una tajada del lomo, envuelto en una bolsa de polietileno (previene las pérdidas por evaporación) a 1-5 °C por 48 a 72 hrs (Warriss, 2000).

El método del papel filtro fue desarrollado en 1953, una pequeña porción de carne (0,2gr) es apretado sobre un papel filtro entre dos paletas de plástico. El agua con la presión sale afuera y es absorbida por el papel filtro formando un círculo. El área de este círculo, expresión del fluido liberado por la carne es comparado con un índice estándar de CRA (Kauffman *et al.*, 1986).

La centrifugación es un método que consiste en centrifugar pequeñas muestras de carne a una alta velocidad y bajo una alta fuerza gravitacional (60-100.000g) por largos periodos. El exudado forma un sobrenadante que puede ser purificado y pesado (Warriss, 2000).

Finalmente, el propósito de la información entregada respecto a los estimadores de la calidad de la carne y en general del total la revisión bibliográfica, es dar una visión general de temas que puedan ayudar a una mejor comprensión de los capítulos posteriores.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

- Analizar algunos efectos de factores genéticos y ambientales sobre la calidad de la carne de cerdo.

3.2. Objetivos Específicos

- Analizar dos tiempos pos-mortem (45 min y 24 hrs) sobre los valores de pH, temperatura y conductividad eléctrica muscular.

- Analizar cuatro tiempos de reposo (1, 3, 5 y 6 hrs) sobre los valores de pH, temperatura y conductividad eléctrica muscular.
- Evaluar el efecto del sexo (machos castrados y hembras) sobre los valores de pH, temperatura y conductividad eléctrica muscular.
- Analizar el efecto de tres categorías de peso de canal (livianas: < 90 kg; normales: 90 a < 106 kg y pesadas: \geq 106 kg) sobre los valores de pH, temperatura y conductividad eléctrica muscular.

4. HIPÓTESIS

Los factores tiempo pos-mortem, tiempo de reposo, sexo y peso de canal afectan algunas características de la calidad de la carne.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. MATERIALES

5.1.1. Planta Faenadora de Carnes.

El presente estudio se realizó en una Planta Faenadora de Carnes de la Región Metropolitana. El proceso de faena de los animales contempla labores en cuatro grandes áreas:

(a) Area de corrales.

Corresponde al área donde permanecieron los cerdos desde la descarga del camión hasta que se efectuó la faena. Contempla en primer lugar el corral de recepción, donde los cerdos fueron descargados en una rampa hidráulica, con comunicación directa con la romana de pesaje. Los animales fueron pesados por grupo (lote) y la información fue ingresada al sistema computacional. A continuación, los animales fueron conducidos a los corrales de espera o encierra para el faenamiento, lugar donde se realizó la inspección médico veterinaria *ante-mortem*. En estos corrales de espera los cerdos permanecieron hasta cumplir los tiempos de reposo asignados en el ensayo (1, 3, 5 y 6 hrs), para luego ser conducidos y esperar un breve lapso en el pasillo pre sacrificio (manga *pre-restrainer* o manga sujetadora mecánica de cerdos)

(b) Sistema de faena

La PFC en la que se realizó el estudio, cuenta con un sistema de faena continua semi automática. La eficiencia de faenamiento del sistema, es cercana a los 250 animales/hora. El proceso de faena comienza en el *restrainer*, zona donde un equipo mecanizado sujeta y conduce los cerdos hasta el lugar donde ocurre la insensibilización.

La insensibilización se realizó por medio del método de electronarcosis (250 volt y 1,25 A), luego de la cual se procede al degüelle y sangrado del cerdo. La etapa inmediatamente posterior fué el escaldado en el que se sumergió el animal en una tina con agua caliente (60,5 °C por un

periodo de ± 7 minutos). Inmediatamente después de realizado el escaldado, una correa sin fin eleva la canal a una mesa tendonera, donde fue colgada a la línea de faena por un gancho insertado en los miembros posteriores, a nivel del tendón flexor digital superficial y profundo, dirigiéndose a la etapa de depilado (automática y manual), flameado y lavado.

El proceso continúa con la extracción y ligado del recto, corte longitudinal del abdomen y posterior eviscerado (vísceras abdominales y torácicas). En este momento se realiza la inspección médico veterinaria *post-mortem*, se toma la muestra de pilares del diafragma para su revisión por la técnica de la placa triquinoscópica.

Las canales prosiguieron por la línea de faena a las cuales se les realiza el corte sagital obteniéndose dos hemicanales, unidas sólo por la cabeza. A continuación, se procede al timbrado y al pesaje de la canal (peso de canal caliente).

Finalmente se realiza el proceso de enjuague y sanitizado, donde termina la faena iniciándose los procesos de enfriado de la canal.

(c) Sistemas de enfriado:

Los procesos de enfriado de las canales, comienzan inmediatamente después del sanitizado. Las canales se introdujeron en el túnel de enfriado rápido por aproximadamente 2 horas. Dicho túnel tiene una capacidad aproximada de 500 canales manteniendo temperaturas internas de alrededor de -25 °C. El tiempo de permanencia de las canales en el túnel, está determinado por el flujo continuo del sistema. Luego de la permanencia en el túnel, las canales se dirigieron hasta las

cámaras de refrigeración (± 0 °C) y almacenamiento (alrededor de 600 canales). Las canales se mantuvieron en las cámaras de refrigeración 20 hrs, antes de entrar a la sala de desposte.

(d) Sala de desposte.

Se inicia el proceso de despiece con el pesaje de las canales provenientes de las cámaras de refrigeración (peso de canal fría). Posterior a ello se realiza la preparación de la canal (corte de cabeza, separación de las hemicanales, corte de patas a nivel de metacarpo y metatarso), para luego ser cortada en cuartos anterior, centrales y posterior, mediante una sierra circular. En esta etapa del proceso, se inicia el desposte propiamente tal, obteniéndose los distintos cortes finos los cuales son pesados en forma individual (peso de cortes).

Finalmente, los productos del despiece (lomo centro, lomo tecla, filete, posta rosada, etc.) son empacados, embalados, rotulados, paletizados, almacenados y enviados a cámaras de frío o de congelación, de acuerdo al destino correspondiente (consumo nacional y exportación).

5.1.2. Animales

La muestra utilizada para el estudio estuvo conformada por 356 animales, 177 machos castrados y 179 hembras, de alrededor de seis meses de edad y un peso vivo superior a 88 kg, destinados a la exportación de carne deshuesada a Japón y Corea.

Los animales pertenecen a una Empresa productora cerdos, uno de cuyos criaderos se encuentra ubicado en la Comuna Melipilla, Región Metropolitana.

5.1.3. Equipos

Las distintas mediciones efectuadas en el presente ensayo se realizaron mediante el uso de los siguientes equipos:

- **pHmetro Hanna®** (HI9023 microcomputer) con Termocupla y electrodo Hanna®, que mide temperaturas de 0 a 100 °C y pH desde 0,00 a 14,00 unidades de pH.
- **Pork Quality Meter (PKM) I/KOMBI** versión 2,3B (Intek, GMBH), que mide la Conductividad Eléctrica (CE) en mS/cm (mS: milisiemens).

5.2. MÉTODO

5.2.1. Selección de animales

Los cerdos fueron seleccionados al azar de un universo de alrededor de 1400 animales terminados en la línea de faena, provenientes de 8 lotes enviados desde el criadero. Los lotes estaban conformados por alrededor de 175 individuos, de ambos sexos y enviados especialmente para el ensayo. De cada lote fueron seleccionados 44 animales (aproximadamente 50% machos castrados y 50% hembras).

5.2.2. Transporte de animales

El criadero se encuentra ubicado a 90 km de la ciudad de Santiago, estableciéndose un tiempo de transporte de aproximadamente 90 minutos. Los cerdos fueron transportados en camiones con carro de arrastre. Las medidas del camión eran de 7,6 m de longitud y 2,47 m de ancho y las del carro 9 m de longitud y 2,47 m de ancho. Ambas partes tenían dos pisos y divididos en cuatro compartimentos cada uno.

El primer piso es metálico, sobre el cual existía una cubierta de fierro de 8 mm con un cuadrículado de 10 cm², el segundo piso tiene una superficie plástica perforada, compuesta por bandejas ensamblables de 40 cm² cada una.

De acuerdo a esta información se lograba una densidad de transporte de alrededor de 0,47 m²/cerdo ó 0,38 m²/100 kg PV.

5.2.3. Reposo de los animales

Inmediatamente después de que los animales fueron descargados del camión, fueron pesados y luego llevados a los corrales de reposo donde permanecieron 1, 3, 5 y 6 hrs, según lo dispuesto en el ensayo, previo a la faena. Los corrales de espera son estructuras con divisiones metálicas y piso de cemento con capacidad entre 25 a 30 animales.

Cada corral dispone de un bebedero de chupete y de rociadores de agua.

El tiempo de reposo se definió como el tiempo que transcurre desde la descarga de los cerdos hasta el inicio del proceso de faena.

5.2.4. Mediciones de calidad de carne

- Las mediciones de conductividad eléctrica muscular fueron llevadas a cabo utilizando el equipo PQM a los 45 minutos y a las 24 horas después del sacrificio, en la primera cámara del túnel de enfriado rápido y en la cámara de refrigerado, respectivamente.

El transductor se insertó en el *músculo Longissimus dorsi* (mLd), entre las vértebras T15 y L1 de la hemicanal derecha.

- Las mediciones de temperatura y pH muscular fueron realizadas en el mismo lugar utilizado para las mediciones de conductividad eléctrica, usando un pHmetro Hanna®, con su respectivo electrodo y termocupla, previa calibración del pHmetro, utilizando buffers de pH 7 y pH 4.

El proceso de toma de muestra de pH y temperatura se efectuó a los 45 minutos y a las 24 horas pos-mortem, en la primera cámara del túnel de enfriado rápido y la cámara de refrigerado, respectivamente. Las determinaciones se realizaron en la hemicanal derecha, insertando el electrodo y la termocupla en el *músculo Longissimus dorsi*, entre las vértebras T15 y L1 a una profundidad aproximada 5 cm.

5.2.5. Factores de variación:

Para el análisis de cada una de las mediciones ya mencionadas, se consideran los siguientes factores de variación:

- **Tiempo pos-mortem:** considerando dos horas pos-mortem: 45 min y 24 hrs.
- **Tiempo de reposo:** estableciendo cuatro tiempos de reposo: 1, 3, 5 y 6 hrs.
- **Sexo:** considerando machos castrados y hembras
- **Peso de canal:** considerando tres categorías: livianas (< 90 kg), normales (90 a < 106 kg) y pesadas (\geq 106 kg).

5.2.6. Análisis estadístico

Las variables pH muscular, conductividad eléctrica muscular y temperatura muscular fueron analizadas mediante análisis de varianza (ANDEVA) (Gill, 1978). Para la comparación de las medias correspondientes se utilizó la prueba de diferencias entre medias de Tukey (Gill, 1978). La información fué procesada en el centro de computación de la Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile.

De acuerdo a lo anterior, el modelo matemático utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + TP_i + TR_j + S_k + PC_l + \epsilon_{ijkl}$$

Dónde:

Y_{ijkl}	=	variable dependiente
μ	=	media poblacional
TP_i	=	efecto del i ésimo tiempo pos-mortem
TR_j	=	efecto del j ésima tiempo de reposo

S_k	=	efecto del k ésimo sexo
PC_l	=	efecto del l ésimo peso de canal
ϵ_{ijkl}	=	error experimental

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Tabla 5 se presenta la distribución de los datos obtenidos del total de cerdos experimentales (356 cerdos), según sexo (machos castrados y hembras) y tiempo de reposo (TR) apreciándose ortogonalidad en la distribución de los animales tanto para sexo (49,7% y 50,3% de machos castrados y hembras, respectivamente) como para los cuatro TR (89, 90, 88 y 89 animales para los TR 1, 3, 5 y 6 hrs, respectivamente).

Tabla 5. Número de cerdos experimentales según tiempo de reposo (TR) y sexo.

TR (hrs)	Sexo		
	Machos castrados	Hembras	Total
1	67	22	89
3	22	68	90
5	44	44	88
6	44	45	89
Total	177	179	356
Frecuencia relativa (%)	49,7	50,3	100,0

En la Tabla 6 se entrega la distribución de los animales experimentales según peso de canal (livianas: < 90 kg; normales: 90 a < 106 kg y pesadas: \geq 106 kg)¹⁴ y TR.

Se observa que para todos los TR estudiados, se concentra un mayor número de canales de la categoría normales.

Tabla 6. Número de cerdos experimentales según peso de canal y tiempo de reposo (TR).

TR (hrs)	Peso Canal Caliente (kg)			
	Livianas	Normales	Pesadas	Total
1	24	55	10	89
3	10	68	12	90

¹⁴ El histograma con la distribución de canales según peso se muestra en el Anexo 1.

5	30	49	9	88
6	2	76	11	89
Total	66	248	42	356
Frecuencia relativa (%)	18.5	69.7	11.8	100.0

6.1. Efecto del tiempo pos-mortem sobre los estimadores de calidad de carne.

En la Tabla 7, se muestran los promedios totales de los estimadores de calidad de la carne pH muscular (pHM), conductividad eléctrica muscular (CEM) y temperatura muscular (TM), obtenidos en los dos tiempos pos-mortem (TPM) (45 min y 24 hrs), en el músculo *Longissimus dorsi* (mLd). Al comparar, los promedios obtenidos según tiempo pos-mortem, se observa que en todos los estimadores de calidad, considerando el total de los cerdos, se encontraron diferencias significativas entre 45 min y 24 hrs ($p \leq 0,0001$):

Tabla 7. Determinación de los estimadores de calidad pHM, CEM y TM según TPM ⁽¹⁾⁽²⁾.

Variable	Tiempo pos-mortem	
	45 min	24 hrs
pHM	6,57 ^a ± 0,22 (3,31) 5,28 – 6,95	5,63 ^b ± 0,21 (3,66) 5,0 – 6,3
CEM	3,94 ^a ± 0,61 (15,48) 2,7 – 13,4	2,49 ^b ± 0,56 (22,54) 1,4 – 7,4
TM	40,17 ^a ± 1,39 (3,46) 34,1 – 42,2	1,30 ^b ± 1,54 (118,71) -1,4 – 6,0

(1) Promedio aritmético, desviación estándar, coeficiente de variación (entre paréntesis) y amplitud.

(2) Las diferencias entre TPM se observan para los factores de variación TR, sexo y peso de canal.

^{a, b}: **Superíndices distintos entre columnas indican diferencias significativas** ($p \leq 0,0001$).

Al examinar el comportamiento del pHM entre las horas pos-mortem (Tabla 7), se observó que los promedios medidos a los 45 minutos presentaron pHM significativamente superiores ($p \leq 0,0001$) que a 24 horas pos-mortem, lo que evidencia una caída del pH o una acidificación muscular en función del tiempo transcurrido pos-mortem. Las diferencias significativas y la disminución del pHM encontrada en el estudio, es consistente con lo descrito por algunos autores que reportan que después del sacrificio de los animales se produce la disminución del pHM debido a la acumulación gradual de ácido láctico en el músculo. La carencia de oxígeno en el músculo lleva a la célula a priorizar la utilización del metabolismo anaerobio. En esta anaerobiosis se produce la glucólisis, proceso donde se rompe la molécula de glucosa formando ácido láctico que disminuye el pH muscular (Hofmann, 1988, Warriss, 2000).

Al evaluar el comportamiento de la CEM entre las horas pos-mortem, se encontró que los promedios obtenidos a 45 min fueron significativamente

superiores ($p \leq 0,0001$) a los encontrados a las 24 hrs pos-mortem, mostrando una disminución de la conductividad eléctrica cuando transcurre el tiempo después del sacrificio (Tabla 3). Este comportamiento es explicado por Swatland (1980a), que indica que la conductividad eléctrica es afectada en forma directa por la caída de temperatura de la canal, reportándose que la resistencia (la conductividad es lo contrario a la resistencia) fue inversamente proporcional a la temperatura. Por lo tanto, a medida que la temperatura disminuye la conductividad eléctrica también lo hace y viceversa.

Sin embargo, cuando no hay variaciones de temperatura, Swatland (1980a) indica que, tempranamente después del sacrificio, el volumen del compartimento extracelular es menor comparado con el del intracelular debido a que el incremento en la concentración de solutos de la glucólisis, provoca que las miofibrillas ingresen agua por osmosis ya que la salida del lactato no ocurre inmediatamente por simple difusión. Por lo tanto, inmediatamente después del sacrificio, ocurre un incremento de la resistencia o disminución de la conductividad eléctrica debido a la disminución del volumen del extracelular. Sin embargo, al transcurrir mayor tiempo pos-mortem, la membrana celular va perdiendo integridad, permitiendo la migración de electrolitos y agua entre el intracelular y el extracelular, lo que generaría una disminución de la resistencia o mayor conductividad eléctrica.

Al analizar el comportamiento de la TM, se observó una marcada declinación entre los 45 minutos y 24 horas pos-mortem ($p \leq 0,0001$), tendencia que se explica debido a que las canales van perdiendo calor en forma natural después del sacrificio y, por otro lado, son sometidas a sistemas de enfriado pos-mortem (tanto Túnel de enfriado rápido como Cámaras de refrigeración). Esta tendencia esperada concuerda con lo indicado por Springer *et al.* (2003), los que sometieron canales de cerdo a refrigerado convencional ($2\text{ }^{\circ}\text{C}$) o enfriado rápido

(-32 °C), encontrando en ambos casos una declinación de la temperatura de los lomos - a los 30 minutos y 24 hrs pos-mortem - muy cercanos a los promedios presentados en el presente trabajo.

Además, se observa que la TM presentó elevados coeficientes de variación (118,71 %) cuando fue medida 24 hrs pos-mortem. Los altos coeficientes de variación podrían ser el reflejo de los frecuentes cambios de temperatura encontrados en los sistemas de enfriado (túnel de enfriado rápido y las cámaras de refrigeración) aplicados a las canales a las 24 hrs pos-mortem. Estos cambios de temperatura, se debían a algunas variaciones operacionales, como fueron el momento en que entraban las canales al túnel y el lugar que ocupaban en las cámaras de refrigeración .

Se debe indicar que se observaron diferencias estadísticas ($p \leq 0,0001$) al comparar los dos TPM (45 min y 24 hrs) en todos los factores de variación estudiados (TR, sexo y peso de canal).

6. 2. Efecto del tiempo de reposo sobre los estimadores de calidad de carne.

En la Tabla 8, se presentan los promedios de pHM, CEM y TM obtenidos para el total de las canales muestreadas según TPM (45 min y 24 hrs) y TR (1, 3, 5 y 6 hrs) medidos en el mLd. Se debe recordar que para los tres estimadores de calidad, se observan diferencias significativas ($p \leq 0,0001$) entre los promedios a los 45 min y 24 hrs, para todos los TR (Tabla 7).

En relación al primer estimador de calidad (pHM), se observa que sólo en los promedios de pH muscular obtenidos a las 24 hrs (pHM_{24}) hubo diferencias

significativas ($p \leq 0,0001$). Así, se encontraron diferencias entre los TR 1 y 6 hrs (iguales entre ellos) con los promedios observados en los tiempos de reposo intermedios, 3 y 5 hrs (iguales entre ellos). Se destaca que los valores de pHM_{24} son menores en los tiempos de reposo extremos (1hr = $5,52 \pm 0,22$ y 6 hrs = $5,60 \pm 0,20$) y mayores en los tiempos intermedios (3 hrs = $5,69 \pm 0,18$ y 5 hrs = $5,72 \pm 0,17$).

Tabla 8. Efecto del tiempo de reposo sobre los estimadores de calidad de carne¹.

Variable	Tiempo de reposo				Significación estadística
	1 hr	3 hrs	5 hrs	6 hrs	
pHM₄₅	6,54 ^a ± 0,24 (3,63)	6,55 ^a ± 0,21 (3,15)	6,58 ^a ± 0,23 (3,45)	6,59 ^a ± 0,19 (2,94)	NS
pHM₂₄	5,52 ^b ± 0,22 (4,06)	5,69 ^a ± 0,18 (3,10)	5,72 ^a ± 0,17 (2,89)	5,60 ^b ± 0,20 (3,50)	p ≤ 0,0001
CEM₄₅	4,01 ^a ± 1,06 (26,51)	3,92 ^{ab} ± 0,28 (7,21)	3,76 ^b ± 0,38 (9,98)	4,07 ^a ± 0,31 (7,63)	p ≤ 0,05
CEM₂₄	2,52 ^b ± 0,75 (29,63)	2,33 ^b ± 0,43 (18,62)	2,35 ^b ± 0,52 (22,00)	2,73 ^a ± 0,38 (14,07)	p ≤ 0,05
TM₄₅	38,45 ^c ± 1,86 (4,83)	40,06 ^b ± 0,84 (2,11)	40,78 ^a ± 0,89 (2,19)	40,78 ^a ± 0,60 (1,48)	p ≤ 0,0001
TM₂₄	-0,47 ^c ± 0,60 (128,30)	1,12 ^b ± 1,70 (151,83)	1,50 ^b ± 1,06 (70,80)	2,17 ^a ± 1,25 (57,76)	p ≤ 0,0001

¹ Promedio aritmético, desviación estándar, coeficiente de variación (entre paréntesis).
Diferencias estadísticas entre columnas (Tiempos de reposo) (TR). NS: No Significativo.

Por otro lado, se aprecia que los promedios de CEM a los 45 min pos-mortem (CEM₄₅) presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$), apreciándose los

mayores valores en los TR extremos ($4,01 \pm 1,06$ y $4,07 \pm 0,31$, respectivamente).

Respecto a la conductividad eléctrica muscular a las 24 hrs (CEM_{24}), se observa que el promedio en los animales que reposaron durante 6 horas fue el más elevado ($2,73 \pm 0,38$) presentando diferencias ($p \leq 0,05$) con cada uno de los otros tiempos de reposo, los que no difieren entre sí. Cabe destacar coeficiente de variación elevados para el TR 1 hr lo que se debe a los valores extremos obtenidos en este grupo de canales (anexo 2).

Los promedios de temperatura muscular a los 45 min (TM_{45}), de los distintos tiempos de reposo, mostraron diferencias significativas ($p \leq 0,0001$), con la salvedad de los TR de 5 y 6 hrs los cuales fueron iguales entre ellos ($40,78 \pm 0,89$ y $40,78 \pm 0,60$, respectivamente). Los TR 1 y 3 horas presentaron menores valores de temperatura en relación a TR más prolongados.

Por otro lado, y al igual que las TM_{45} , la temperatura muscular a las 24 hrs (TM_{24}) también mostró diferencias significativas ($p \leq 0,0001$) para los distintos TR, salvo en los TR de 3 y 5 hrs ($1,12 \pm 1,70$ y $1,50 \pm 1,06$, respectivamente). Cabe destacar que en ambas mediciones TM_{45} y TM_{24} los valores promedios tendieron a incrementarse a medida que aumentaban las horas de reposo a que fueron sometidos los animales. Debe resaltarse los elevados coeficientes de variación de las TM_{24} , en los cuatro TR analizados (128,30 %; 151,83 %; 70,80 % y 57,76 %, respectivamente).

Al analizar los estimadores de calidad presentados en la Tabla 8, se puede establecer cierta concordancia con lo reportado por Honikel (1993). Este autor detalla los rangos de pHM, CEM y TM medidos en el mLd necesarios para la

certificación de cerdos de alta calidad. Los valores promedios de $pH_{M_{45}}$ y $pH_{M_{24}}$ encontrados en el presente estudio - para todos los TR - estuvieron dentro de los intervalos propuestos ($pH_{M_{45}}$: $> 6,0$ y $pH_{M_{24}}$: entre $5,4 - 5,85$).

Del mismo modo, los valores de CEM_{24} observados en el presente trabajo se encuentran dentro de la categoría de calidad sugerida por Honikel (1993), ($CEM_{24} < 5$), encontrándose para los cuatro TR estudiados, valores de $2,52^b \pm 0,75$; $2,33^b \pm 0,43$; $2,35^b \pm 0,52$, $2,73^a \pm 0,38$, respectivamente. Lo anterior indicaría que, a pesar de las diferencias significativas ($p \leq 0,05$) encontradas a las 24 hrs, la calidad de la carne mantuvo niveles de calidad aceptados.

En cambio, se puede observar que la indicación del autor para la TM_{45} ($< 40^\circ C$), es sobrepasada levemente en algunos TR en el presente estudio (3, 5 y 6 hrs) ($40,06^\circ C$; $40,78^\circ C$ y $40,78^\circ C$, respectivamente). Por otra parte, la TM_{24} muestra valores notoriamente más bajos al rango propuesto ($< 7^\circ C$) en todos los TR aquí estudiados ($-0,47^\circ C$; $1,12^\circ C$; $1,50^\circ C$ y $2,17^\circ C$, respectivamente).

Como se observa en la Tabla 8, los valores de $pH_{M_{45}}$ no mostraron diferencias estadísticas entre ellos, mientras que los resultados de $pH_{M_{24}}$ marcaron ciertas tendencias, apreciándose que los TR intermedios (3 y 5 hrs) entregaron mayores valores de pH_{M} en relación a los TR extremos (1 y 6 hrs).

Por otro lado, la CEM a los 45 minutos como a las 24 hrs, presentan un patrón inverso al observado para los resultados de $pH_{M_{24}}$, apreciándose valores mayores en los TR extremos ($4,01$; $4,07$ y $2,52$; $2,73$ para CEM_{45} y CEM_{24} , respectivamente) frente a menores valores intermedios ($3,92$; $3,76$ y $2,33$; $2,35$ para CEM_{45} y CEM_{24} , respectivamente).

Warriss *et al.* (1998), encontraron el mismo efecto del reposo sobre el pHM y CEM en el músculo *Longissimus dorsi*. Estos autores aplicaron reposos de ≤ 1 hr, 3 hrs y un reposo durante toda la noche, reportando que los valores de pHM₂₄ del reposo de 3 hrs estuvo asociado a mayores promedios en comparación al de ≤ 1 hr. Además, obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre todos los tiempos de reposo (5,55^a; 5,59^b; 5,61^c; respectivamente). Por otro lado, observaron que la CEM₂₄ en el reposo de 3 hrs estuvo asociada a menores valores (≤ 1 hr = 5,2; 3 hrs = 5,0 y toda la noche = 5,3), aunque no se encontraron diferencias significativas.

En concordancia con lo anterior, García-Bellenger *et al.* (1999) y Pérez *et al.* (2002) también encontraron este mismo efecto cuando midieron el pHM₂₄. En el primer trabajo los investigadores hicieron las mediciones en el músculo *L. dorsi* y en el segundo se utilizó el músculo *Longissimus toracis*, considerando para ambos trabajos tiempos de reposos de 0, 3 y 9 hrs. Los primeros autores reportaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en los valores de pHM₂₄ (5,58^a; 5,63^{ab} y 5,89^a) y Pérez *et al.* (2002) también indican diferencias ($p \leq 0,01$) para los tres TR indicados (5,56^a; 5,65 y 5,76^b). Como se aprecia, ambos trabajos coincidieron que los tiempos de reposo de 3 hrs se mantiene asociado a menores promedios de pHM₂₄. Sin embargo, en ninguna de las publicaciones se observó el efecto de la disminución del pHM₂₄ en el reposo mayor duración (9 hrs), encontrado en el presente trabajo (Tabla 8).

Los patrones encontrados en el pHM₂₄ y para CEM₄₅ y CEM₂₄, en el presente trabajo, podrían ser explicados gracias a la asociación del pHM y CEM con el nivel de estrés sufrido por los animales antes del sacrificio. Al respecto, estudios realizados por García-Belenger *et al.* (1999), señalan algunos efectos del tiempo de reposo sobre parámetros fisiológicos indicadores de estrés en cerdos (niveles de cortisol, ácido láctico, enzimas musculares, glucosa y algunos

índices hematológicos), reportando que la concentración de cortisol plasmático (indicador de estrés agudo) y los niveles de enzimas musculares que indican estrés físico, se encontraban muy aumentados inmediatamente después del transporte, respecto a los valores normales para la especie. Estos autores indican que las concentraciones de cortisol disminuyen a valores normales con reposos de 3 horas.

Los patrones encontrados en el presente trabajo, expresados en bajos promedios de pHM_{24} y en mayores valores de CEM_{45} y CEM_{24} para TR 1hr y 6 hrs (reposos extremos), pueden ser explicados por los hallazgos de Warriss *et al.* (1992), los que describen patrones similares en los niveles de cortisol. Estos se encontraban elevados cuando los animales habían reposado < 1 hr y 6 hrs ($21,5^a$ y $15,2^c$ ug/100 ml, respectivamente), ($p < 0,001$) explicando las posibles variaciones de los estimadores de calidad de carne. Estos resultados permiten sugerir que la causa de las alzas del cortisol para el tiempo de reposo de 1 hr sería el estrés del transporte y para el reposo de 6 hrs podría ser la mayor frecuencia de actitudes agonísticas y peleas entre animales. Además, indican que la recuperación del nivel basal de cortisol sanguíneo se presentó cuando los cerdos reposaron entre 2 a 3 hrs. Por otra parte, habría que destacar que el nivel de cortisol encontrado por Warriss *et al.* (1992) a las 2 hrs de reposo (10, 2 ug/100 ml), (similares a los niveles basales de la especie), coinciden con los valores de pHM_{24} y CEM_{24} para el TR 3 hrs ($5,69 \pm 0,18$ y $2,33 \pm 0,43$, respectivamente), encontrados en el presente trabajo (Tabla 8).

Pérez *et al.* (2002) proponen que los altos niveles de cortisol ($98,7 \pm 4,7$ ng/mL) encontrados en los animales sacrificados inmediatamente después del transporte se deberían al efecto estresante de la carga, transporte y descarga. A su vez, indican que el efecto positivo del reposo sería el causante de la disminución valores de cortisol ($77,8 \pm 5,5$ ng/mL) presentados a las 3 hrs. El

nuevo repunte del cortisol ($89,1 \pm 7,2$ ng/mL) observado en el grupo que reposó por 9 hrs y la disminución de las concentraciones de glucosa plasmática son atribuidos a la prolongación del tiempo de ayuno. De esta manera, un indicador indirecto de estrés sería el nivel de ayuno que sufren los cerdos con tiempos de reposo prolongados.

La relación directa entre el grado de estrés sufrido por los animales y los mayores valores de CEM_{45} y CEM_{24} encontrados en los TR de 1 y 6 hrs en el presente trabajo es explicada por Alvarez y Torre (1997), los que indican que la conductividad eléctrica determina la calidad de la carne basándose en la diferente permeabilidad de las membranas celulares y la distribución relativa de los electrolitos. Cuanto mayor es el estrés que sufre el animal, mayor es la destrucción celular liberándose una más elevada cantidad de agua y sales, y por consiguiente, más conductora se hace la carne para la corriente eléctrica.

Por lo tanto, las posibles explicaciones a las tendencias encontradas para los valores de pHM_{24} , CEM_{45} y CEM_{24} de los cerdos que reposaron por 6 hrs podría encontrarse en factores externos como la temperatura, peleas entre animales y ayuno prolongado durante el reposo (Warriss *et al.*, 1998; García-Bellenger *et al.*, 1999 y Pérez *et al.*, 2002).

Los animales experimentales que reposaban 1 y 3 hrs, lo hacían – habitualmente - durante las primeras horas de la mañana cuando las temperaturas ambientales eran moderadas. A su vez, cuando el reposo tuvo una duración de 5 y 6 hrs, los cerdos eran sacrificados cuando las temperaturas ambientales eran mayores, y en algunos casos con temperaturas diarias máximas. Al respecto, Santos *et al.* (1997) señalan que los cerdos expuestos a temperaturas ambientales de 35° C comparados con temperaturas menores

(12° C y 20° C) durante el reposo, presentan canales con una mayor incidencia de carnes PSE.

Del mismo modo, Fraquenza *et al.* (1998), compararon el efecto de dos tiempos de reposo (30 min y 3 hrs) en cerdos a temperaturas ambientales de 20° C y 35° C, encontrando que el efecto beneficioso del reposo de 3 hrs no era tan evidente a altas temperaturas (35 °C), ya que los pHM disminuyeron y la cantidad de canales PSE, se incrementó de 31,1 % a 35,5 %.

En el presente trabajo las mayores CEM₄₅ y CEM₂₄ obtenidas en las canales de cerdos que reposaron 6 hrs, podrían tener su explicación en las temperaturas musculares significativamente más altas (40,78 °C y 2,17 °C), encontradas en las TM₄₅ y TM₂₄, respectivamente, ($p \leq 0,0001$), en este mismo reposo (Tabla 8).

En relación esto Swatland (1980a), explica que la temperatura es un factor directo que afecta la conductividad eléctrica muscular. Por ello, a medida que la temperatura aumenta la conductividad eléctrica también lo hace y viceversa.

Un factor que podría estar incidiendo en el pHM₂₄, CEM₄₅ y CEM₂₄ en el presente trabajo en los cerdos que reposaron por 6 hrs, sería el estrés producto del ayuno prolongado. En el presente estudio los animales al menos ayunaron por 12 hrs antes de ser cargados, luego fueron transportados por 1,5 hrs y finalmente reposaron por 6 hrs manteniendo en total un ayuno antes del sacrificio aproximadamente de 20 hrs.

En concordancia con esto, Kelley *et al.* (1980) en un estudio que pretendía revelar como afectaba el ayuno prolongado en la agresividad de machos

castrados y hembras¹⁵, indicaron que ésta se incrementaba notoriamente cuando los cerdos ayunaban entre 12 y 24 horas para luego decaer cuando el ayuno era de 36 a 48 hrs.

Los resultados de TM_{45} y TM_{24} muestran una leve tendencia al aumento en función de los tiempos de reposo, situación contraria a lo reportado por otros autores. Santos *et al.* (1997) y Warriss *et al.* (1998) observaron una disminución de los promedios de TM a medida que la duración de los tiempos de reposo era mayor. Así, Santos *et al.* (1997) compararon valores de temperatura muscular a los 30 minutos (TM_{30}) en el músculo *Semimembranosus* entre canales provenientes de cerdos con distintos reposos (30 minutos y 2-3 hrs), encontrando diferencias significativas ($p < 0,01$) entre los valores medidos ($41,1^a$ y $40,5^b$, respectivamente). De la misma forma, Warriss *et al.* (1998) encontraron diferencias significativas ($p < 0,001$) al comparar TM a los 35 minutos pos-mortem en tres reposos (<1hr, 3 hrs y toda la noche), observando la misma tendencia antes mencionada ($38,1^a$, $38,0^a$ y $37,7^b$, respectivamente).

Por otra parte las diferencias encontradas en la TM_{45} podría explicarse en los diferentes tiempos en que los cerdos se mantuvieron en los corrales de reposo y, en las fluctuaciones de temperatura ambiental, a las cuales fueron sometidos los animales experimentales. Lo anterior puede haber incrementado - aunque levemente - tanto la temperatura corporal del animal vivo como la de la canal al momento de la medición. El tiempo TR de 1hr se cumplió cuando transcurría la mañana, momento en que las temperaturas ambientales son más bajas. Sin embargo, los demás TR estudiados coincidieron con el alza normal de las temperaturas diarias, lo cual podría ayudar a las mayores temperaturas musculares encontradas en los TR más prolongados.

¹⁵ La agresividad era definida como el número de mordeduras durante las peleas.

Otro antecedente importante que puede ser incorporado en la discusión, es que los corrales de reposo contaban con rociadores de agua los cuales fueron utilizados por cerca de 20 minutos después de que los cerdos eran descargados, lo que podría haber disminuido la temperatura corporal, permitiendo así valores más bajos de temperatura en canales con menos reposo.

En dos experimentos, Weeding *et al.* (1993) investigaron el tamaño de gota en los rociadores, sugiriendo que el efecto de este procedimiento - independiente del tamaño de gota - es positivo sobre la tasa de acidificación de la carne y sobre el color, debido a una mayor refrigeración corporal por evaporación y producto de un mayor consumo de agua. El rociado de los cerdos al momento de la llegada, produce carne de mejor calidad debido a los mayores pHM iniciales en comparación con los pHM de los animales no rociados.

Se observa que la temperatura a las 24 hrs presentó coeficientes de variación elevados en todos los TR. Esta alta variabilidad así como las diferencias encontradas entre los distintos TR (Tabla 8), podrían ser el reflejo de variaciones operacionales del manejo de la temperatura tanto en el túnel de enfriado como en las cámaras de refrigeración. Lo anterior, se puede deber a que los cerdos fueron ingresando al proceso de enfriado de acuerdo a los TR estudiados, lo que significó cargas de canales diferentes en los túneles y su consiguiente variación térmica.

Por lo tanto, de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio y en concordancia con lo encontrado en otros trabajos, se podría indicar que el TR tendría un efecto directo sobre el pHM y la CEM. Por ello, TR en un rango de 3 a 5 hrs serían suficientes para mejorar sustancialmente la calidad de la carne. A

su vez, TR breves (1 hr) o más prolongados (6 hrs) no aportarían mejoras, e incluso, tendrían efectos negativos sobre la calidad de la carne cerdo.

Por otro lado, se podría indicar que no se evidenció un efecto directo del TR sobre la TM o, que éste se encuentra enmascarado por otros factores, ya que como se indicara anteriormente, la temperatura ambiental a la cual son sometidos los cerdos durante el reposo y las variaciones operacionales de los sistemas de enfriado, pueden afectar la temperatura de las canales.

6.3. Efecto del sexo sobre los estimadores de calidad de carne.

En la Tabla 9, se presentan los promedios de pHM, CEM y TM obtenidos para el total de las canales muestreadas según TPM (45 min y 24 hrs) y sexo (machos castrados y hembras). Se debe recordar que para los tres estimadores de calidad, se observan diferencias significativas ($p \leq 0,0001$) entre los promedios a los 45 min y 24 hrs, para ambos sexos (Tabla 7).

En la Tabla 9 se observa, que sólo se encontraron diferencias en los valores de pHM_{24} (5,59 y 5,67)($p \leq 0,0001$) y de TM_{24} (1,57 y 1,08)($p \leq 0,01$), para machos castrados y hembras, respectivamente. El resto de valores no presentó diferencias estadísticas:

Tabla 9. Efecto del sexo sobre los estimadores de la calidad de la carne

Variable	Sexo		Significancia estadística
	Machos castrados	Hembras	
pHM₄₅	6,56 ^a ± 0,20 (3,11)	6,57 ^a ± 0,23 (3,50)	NS
pHM₂₄	5,59 ^a ± 0,22 (3,92)	5,67 ^b ± 0,18 (3,22)	p ≤ 0,0001
CEM₄₅	3,92 ^a ± 0,34 (8,72)	3,96 ^a ± 0,79 (19,95)	NS
CEM₂₄	2,48 ^a ± 0,49 (19,86)	2,50 ^a ± 0,63 (25,03)	NS
TM₄₅	40,29 ^a ± 1,04 (2,56)	40,06 ^a ± 1,67 (4,16)	NS
TM₂₄	1,57 ^a ± 1,57 (99, 50)	1,08 ^b ± 1,48 (137,78)	p ≤ 0,01

Promedio aritmético, desviación estándar y coeficiente de variación (entre paréntesis).
Diferencias estadísticas entre columnas (Sexos) . NS: No Significativo.

Las diferencias de pHM₂₄ observadas en el presente trabajo no fueron reportadas por Kempster *et al.* (1984) al medir el pHM₂₄ en el mLd de canales refrigeradas durante toda la noche (pH 5,92 y 5,92, para machos castrados y hembras, respectivamente). Cuando la medición la realizaron a los 45 minutos, tampoco observaron diferencias, lo que coincide con el presente trabajo. Estos autores indican que las características de calidad del músculo difieren muy poco entre machos castrados y hembras.

Cisneros *et al.* (1996) indicaron que no habían diferencias significativas entre machos castrados y hembras al evaluar el pH_{M24} en el músculo *Longissimus lumborum* (5,65 y 5,57, entre ambos sexos), lo cual se ve ratificado al medir las pérdidas por goteo (3,26 y 3,36 %, en machos castrados y hembras, respectivamente).

Por otra parte, Leach *et al.* (1996), Latorre *et al.* (2003) y Latorre *et al.* (2004) trabajando en canales de machos castrados y hembras, en diferentes músculos, tampoco encontraron diferencias en el pH_M a los 45 min y 24 hrs pos-mortem, concordando en que el sexo presentaría una baja influencia como posible factor de variación de la calidad de carne de cerdo.

Por otra parte, no existe evidencia publicada en cuanto a la relación sexo y temperatura muscular (Rüdiger 1985; De Smet *et al.*, 1996; Álvarez, 2001).

Rüdiger (1985) midió temperatura muscular (músculo *gracilis*) a los 30 minutos después del faenamiento en machos castrados y hembras, reportando valores de 41,62 °C y 41,58 °C, respectivamente. Estos valores coinciden con los encontrados en este trabajo a los 45 minutos (40,29 °C y 40,06 °C, para ambos sexos, respectivamente) (Tabla 9).

Finalmente Alvarez (2001), midió tres estimadores de calidad (pH_M, CEM y TM) 2 y 12 hrs pos-mortem en los músculos *Triceps brachii* y *Gracilis*. Sólo se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre sexos, en la TM 2 hrs pos-mortem en ambos músculos, siendo superior en las hembras. Esta condición fue atribuida a las condiciones del procesamiento de las canales (temperatura ambiental de la Planta, escaldado, flameado) y a los sistemas de enfriamiento de las canales más que a un efecto propio del sexo.

6.4. Efecto del peso de canal sobre los estimadores de calidad de carne.

En la Tabla 10, se presentan los promedios de pHM, CEM y TEM según peso de canal: livianas (< 90 kg), normales (90 a < 106 kg) y pesadas (\geq 106 kg) según tiempo pos-mortem (45 minutos y 24 horas). Cabe recordar que los valores promedios para los tres estimadores de calidad estudiados, en los tres tipos de canales, muestran diferencias significativas ($p \leq 0,0001$) entre los dos tiempos pos-mortem de medición (Tabla 7).

El peso de canal tuvo un efecto significativo ($p \leq 0,05$), sobre los valores promedios de pHM₂₄ de canales livianas ($5,67^a \pm 0,18$), normales ($5,63^{ab} \pm 0,20$) y pesadas ($5,58^b \pm 0,25$), situación que no fue observada para el pHM₄₅.

La CEM₄₅ y CEM₂₄ no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$) para ninguno de las tres categorías de peso.

Sin embargo, tanto la TM₄₅ como la TM₂₄ presentaron un aumento significativo a medida que el intervalo de peso fue mayor (Tabla 10). Los valores promedio de TM₄₅ fueron 39,30 °C; 40,38 °C y 40,58 °C para las tres categorías de peso ($p \leq 0,0001$), tendencia que se repitió en las TM₂₄ (0,81 °C; 1,33 °C y 1,99 °C para las canales livianas, normales y pesadas, respectivamente) ($p \leq 0,001$).

Las diferencias observadas en el pHM₂₄ entre las tres categorías de peso, no concuerdan con lo reportado por Monin *et al.* 1999. Estos autores midieron el pHM a los 30 min pos-mortem a nivel del músculo *Longissimus toraxis* en canales provenientes de cerdos beneficiados con dos pesos vivos (101 ± 3 kg y 127 ± 3 kg), no encontrando diferencias en el pHM entre ambos grupos (6,08 y 6,02, respectivamente), situación que se repite en la medición a las 24 hrs en el músculo *Longissimus lumborum* (5,57 y 5,54, respectivamente). Estos

resultados permitirían concluir que el incremento del peso de sacrificio, no tendría efecto sobre los cambios de pHM pos sacrificio.

Tabla 10. Efecto del peso de canal sobre los estimadores de la calidad de la carne¹.

Variable	Peso de canal			Significancia Estadística
	Livianas (n: 66)	Normales (n: 248)	Pesadas (n: 42)	
Peso canal (kg)	86,49 ± 3,06	97,69 ± 3,98	109,36 ± 2,88	
PHM₄₅	6,56 ^a ± 0,27 (4,16)	6,57 ^a ± 0,21 (3,17)	6,57 ^a ± 0,17 (2,58)	NS
PHM₂₄	5,67 ^a ± 0,18 (3,24)	5,63 ^{ab} ± 0,20 (3,60)	5,58 ^b ± 0,25 (4,41)	p ≤ 0,05
CEM₄₅	3,90 ^a ± 1,24 (31,81)	3,93 ^a ± 0,34 (8,76)	4,07 ^a ± 0,21 (5,23)	NS
CEM₂₄	2,49 ^a ± 0,81 (32,47)	2,49 ^a ± 0,50 (20,15)	2,46 ^a ± 0,43 (17,64)	NS
TM₄₅	39,30 ^b ± 1,73 (4,40)	40,38 ^a ± 1,23 (3,05)	40,58 ^a ± 0,79 (1,95)	p ≤ 0,0001
TM₂₄	0,81 ^b ± 1,32 (161,89)	1,33 ^{ab} ± 1,49 (112,42)	1,99 ^a ± 1,92 (96,34)	p ≤ 0,001

¹Promedio aritmético, desviación estándar y coeficiente de variación (entre paréntesis).
Diferencias estadísticas entre columnas (Peso de cana).
NS: No Significativo.

Por otra parte, Gispert *et al.* (1997) midieron indicadores de calidad carne (pHM₄₅, pHM₂₄) en tres razas porcinas (*Pietrain*, *Landrace* y *Large White*). Al ser comparados estos indicadores según peso de sacrificio (90 y 110 kg) tampoco se reportaron diferencias significativas.

Sin embargo, cabe destacar que en los artículos antes mencionados (Gispert *et al.*, 1997 y Monin *et al.*, 1999), los pesos vivos de los cerdos luego del sacrificio, al ser homologados al presente trabajo, corresponderían sólo a pesos de canal similares a las categorías denominadas livianas y normales.

Del mismo modo, Leach *et al.* 1996 observó que los pHM medidos a los 45 min y 24 hrs pos-mortem en el músculo *Longissimus toraxis* de animales sacrificados con tres diferentes pesos vivos (110, 125 y 140 kg), no entregaron diferencias significativas. Cabe hacer notar que estos pesos vivos serían equivalentes a las categorías de peso de canal del presente trabajo, al incorporar un grupo de animales de mayor peso vivo.

El efecto negativo del genotipo halotano sobre canales de animales portadores en la acidificación del pH y, en general, sobre las características de calidad de carne ha sido evidenciado y confirmado extensamente por varios autores (De Smet *et al.*, 1996; Monin *et al.*, 1999; Hamilton *et al.*, 2000). La asociación entre el gen halotano y el peso de canal, podría estar más bien dada por la selección de animales más magros y eficientes, que han podido aumentar el peso de los cerdos. Junto a este aumento del peso de beneficio se ha observado un aumento de la frecuencia del gen halotano debido a la introducción de razas de machos terminales musculados (Puigvert *et al.* 1997).

Por otra parte, trabajando con animales de raza *Large White*, *Landrace* y *Pietrain*, con pesos de sacrificio de 90 y 110 kg, no se encuentran diferencias

de CEM a los 45 min ni a las 24 hrs pos-mortem, tanto en el músculo *Longissimus dorsi* como en el *Semimembranosus* para todos los genotipos estudiados (Gispert *et al.*, 1997).

Por otro lado, Cisneros *et al.* (1996) comparando canales provenientes de cerdos híbridos con pesos vivos de 100, 115, 130, 145 y 160 kg, reportaron diferencias significativas para pHM a las 24 hrs pos-mortem, observándose una disminución del pHM a medida que aumentaba el peso de sacrificio (b: $-0,002 \pm 0,01$) ($p < 0,05$). Estos autores sugieren que al incrementar el peso de sacrificio se producirían cambios en la calidad de la carne, no solamente por la caída de pH sino por cambios en el color del músculo, pérdida de la ternura y aumento de las pérdidas por goteo. Asimismo, sugieren que cerdos más pesados serían más propensos a la presentación de carnes PSE.

Por otra parte, Virgili *et al.* 2003 midieron el efecto de dos edades al sacrificio (8 y 10 meses) en cerdos (machos castrados y hembras) sobre indicadores de calidad, observando que en el músculo *Semimembranosus* los promedios de pHM medidos 1 y 24 hrs pos-mortem, fueron más bajos ($p < 0,01$) en los cerdos sacrificados de 10 meses (6,29 y 5,68, respectivamente) que en aquellos que se beneficiaban a menor edad (8 ms) (6,46 y 5,85, respectivamente). Los autores atribuyen estas diferencias a que los cerdos de más edad producen canales más pesadas, las que presentarían una menor tasa en la transferencia de calor durante el enfriado, produciendo un metabolismo acelerado y una disminución del pHM.

Los aumentos significativos de TM_{45} ($p \leq 0,0001$) y TM_{24} ($p \leq 0,001$) en función a los mayores pesos de canal encontrados en el presente trabajo, podrían ser explicados por la menor tasa de enfriamiento de las canales pesadas permitiendo mayores temperaturas musculares durante las primeras horas

después del sacrificio, aumentándose también – por esta vía – el riesgo de carnes PSE en canales pesadas (Cisneros *et al.*, 1996).

Finalmente, en el caso de las canales pesadas, los menores valores promedios de pHM_{24} , en parte podrían ser atribuidos a un efecto de la temperatura sobre la tasa de acidificación de la canal, debido a las mayores TM_{24} observadas en ellas. Al respecto, Rees *et al.* (1999), evaluando dos temperaturas de enfriado de canales (2 °C y 14 °C), reportan que los valores de pHM a las 3 hrs post-mortem fueron mayores ($p < 0,05$) en el grupo de la temperatura más alta (6,03 y 5,94).

7. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el presente estudio, se puede concluir que:

1. Los estimadores de la calidad de carne de cerdo pHM, CEM y TM presentaron un comportamiento normal al avanzar las horas pos-mortem.
2. Dentro de este comportamiento esperado, los tres estimadores presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,0001$) entre los dos tiempos pos-mortem estudiados (45 min y 24 hrs).
3. El tiempo de reposo en un rango de 3 a 5 hrs sería suficiente para mejorar sustancialmente la calidad de la carne. A su vez, tiempos de reposo menores (1 hr) y mayores (6 hrs) no aportarían mejoras e, incluso serían negativos, para la calidad de la carne cerdo.
4. Bajo las condiciones del presente trabajo, se puede concluir que el sexo no tendría efecto o presentaría efectos marginales sobre los estimadores de la calidad de la carne de cerdo.
5. En relación al efecto del peso de canal caliente sobre los estimadores de la calidad de la carne, las canales pesadas presentaron calidad de carne menor, reflejada principalmente en mayores temperaturas y una mayor disminución del pHM.

8. BIBLIOGRAFÍA

- **ALVAREZ, C.; TORRE, A.** 1997. La conductividad eléctrica como sistema de detección de carnes de baja calidad en el proceso de elaboración de jamón cocido. [en línea]. <<http://www.inode.es/~yago/>> [consulta: 17-10-2003].

- **ALVAREZ, I. M.** 2001. Efecto de factores genético-ambientales en la presentación de carnes de cerdo tipo PSE. Memoria de Título, Méd. Vet. Santiago, Chile. Universidad de Chile. Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. 95 p.

- **ANZALDUA-MORALES, A.** 1994. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Editorial ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España. 198 p.

- **BARTON-GADE, P.** 1997. The effect of pre-slaughter handling on meat quality in pigs. **In:** A Symposium-Strategies to improve consistency of pork quality-towards 2010. Canberra, Australia. Manipulating Pig Production VI. Australasian Pig Sci. Assoc. pp 100-123.

- **BENDALL, J. R.; SWATLAND, H. J.** 1988. A review of the relationships of pH with physical aspects of pork quality. Meat Sci. 24 (2): 85-126.

- **BLOOD, D. C.; RADOSTITS, O. M.** 1992. Medicina Veterinaria. 7a edición. Mac Graw – Hill Interamericana. México, D. F. 1598 p.

- **BOLES, J. A.; PARRISH, F. C.; HUIATT, T. W.; ROBSON, R. M.** 1992. Effect of porcine stress syndrome on the solubility and degradation of myofibrillar/cytoskeletal proteins. J. Anim. Sci. 70: 454-464.

- **BONELLI, A. M.** 2002. Estudio citogenético y detección de portadores del síndrome de estrés porcino en razas e híbridos del cerdo doméstico en Argentina. Tesis Magister en Salud y Producción Porcina. Río Cuarto, Argentina. U. Nacional de Río Cuarto, Fac. Agronomía y Veterinaria. 175 p.

- **BONNEAU, M.** 1997. Boar taint in entire male pigs – a review. Pig News Infor. 18 (1) 15N-18N.

- **BRADSHAW, R. H.; PARROTT, R. F.; GOODE, J. A.; LLOYD, D. M.; RODWAY, R. G.; BROOM, D. M.** 1996. Stress and travel sickness in pigs: effects of road transport on plasma concentrations of cortisol, beta-endorphin and lysine vasopressin. Anim. Sci. 63: 507-516.

- **CHANNON, H. A.** 2001. Managing the eating quality of pork – What the processor can do. In: Cranwell, P. D. (ed.). Manipulating Pig Production VIII. Australasian Pig Sci. Assoc. Werribee, Australia. pp. 97-106.

- **CHEAH, K. S.; CHEAH, A. M.; JUST, A.** 1998. Identification and characterization of pigs prone to producing “ RSE “ (Reddish – Pink, Soft and Exudative) meat in normal pigs. Meat Sci. 48 (3/4): 249-255.

- **CHILE. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS (INE).** 2002. Evolución, situación actual y perspectivas de la producción pecuaria nacional. Periodo 1996 - 2001. [en línea]. <<http://www.ine.cl/16-agrope/i-menuagro.htm>> [consulta: 02-04-03].

- **CHILE. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS (INE).** 2004a. Beneficio nacional de animales por especie y tipo (número de cabezas). [en línea]. <<http://www.ine.cl/base-datos.htm>> [consulta: 23-08-04].

- **CHILE. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS (INE).** 2004b. Ganado beneficiado en los mataderos, producción de carne en vara por especie (ton), periodo 1999 a febrero 2004. [en línea]. <<http://www.ine.cl/base-datos.htm>> [consulta: 23-08-04].

- **CHILE. MINISTERIO DE AGRICULTURA (MINAGRI).** 1994. Decreto Supremo N° 342. Aprueba reglamento sobre funcionamiento de mataderos, cámaras frigoríficas, centrales de desposte y fija equipamiento mínimo de tales establecimientos. 22 enero 1994.

- **CHILE. MINISTERIO DE SALUD (MINSAL).** 2004. Decreto Supremo N° 977. Reglamento Sanitario de los Alimentos. 13 mayo 1997. 165 p.

- **CHILE. OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA).**
 2004a. Producción de carne: situación actual y perspectivas para 2004. [en línea]. Mercados y rubros: ganado y carnes. <<http://www.odepa.gob.cl>> [consulta: 11-8-04].

- **CHILE. OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA).**
 2004b. Mercado de la carne de cerdo. [en línea]. Mercados y rubros: ganado y carnes. <<http://www.odepa.gob.cl>> [consulta: 11-08-04].

- **CHILE. OFICINA DE ESTUDIOS Y POLITICAS AGRARIAS (ODEPA).**
 2004c. Producción de carne. [en línea]. Mercados y rubros: ganado y carnes. <<http://www.odepa.gob.cl>> [consulta: 11-08-04].

- **CISNEROS, F.; ELLIS, M.; McKEITH, F. K.; McCaw, J.; FERNANDO, R. L.**
 1996. Influence of slaughter weight on growth and carcass characteristics, commercial cutting and curing yields and meat quality of barrows and gilts from two genotypes. *J. Anim. Sci.* 74: 925-933.

- **CLAUS, R.; WEILER, U.; HERZOG, A.** 1994. Physiological aspects of androstenone and skatole formation in the boar – A review with experimental data. (Abstract). *Meat Sci.* 38: 289-305.

- **DE SMET, S. M.; PAUWELS, H.; DE BIE, S.; DEMEYER, D. I.; CALLEWIER, J.; EECKHOUT, W.** 1996. Effect of halothane genotype, breed, feed withdrawal, and lairage on pork quality of Belgian slaughter pigs. *J. Anim. Sci.* 74: 1854-1863.

- **DIAZ, I.** 1999. Determinantes de la competitividad: el caso del sector porcino. **In:** Niño de Zepeda, A. Echávarri, V. Godoy, P. (eds). De Recursos Productivos a Alimentos: Estrategias de Calidad. IICA-SAG. Santiago, Chile. pp 35-56.

- **DIAZ, I.** 2000. Análisis diagnóstico del sector porcino chileno como productor de alimento. Santiago, Chile. U. Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. Depto. Fomento Producción Animal. 73 p (Serie Apuntes Docentes N° 009).

- **DIAZ, I.** 2001. Análisis diagnóstico del sector porcino chileno como productor de alimento. Santiago, Chile. U. Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. Depto. Fomento Producción Animal. 12 p (Serie Apuntes Docentes N° 009).

- **DIAZ, I.** 2003. Análisis diagnóstico del sector porcino chileno. I. Diagnóstico, generalidades y características del sector. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. Depto. Fomento Producción Animal. 72 p (Serie Apuntes Docentes N° 009).

- **DIESTRE, A.** 1994. Influencia del periodo *ante mortem* sobre la mortalidad, el bienestar animal y la calidad en la producción porcina. **In:** Seminario de la ley de la carne y su impacto en la producción y la industria porcina. Santiago, Chile. 6 – 8 de abril, 1994. Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. Universidad de Chile. 12 p.

- **DIESTRE, A.** 1999. Influencia del periodo ante-mortem sobre la mortalidad, el bienestar animal y la calidad en la producción porcina. Inf. Avícolas y Porcinas 224: 30-34.

- **EWBANK, R.** 1992. Stress: a general overview. **In:** Phillips, C.; Pigging, D. (eds.). Farm animals and the environment. CAB International. Wallingford, UK. pp. 255-262.

- **FABREGAS, E.; VELARDE, A.; DIESTRE, A.** 2002. El bienestar animal durante el transporte y sacrificio como criterio de calidad. [en línea]. Centro de Tecnología de la Carne, IRTA. <http://www.irta.es/xarxatem/diestre_cas.htm> [consulta: 06-12-2002].

- **FAO. FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION.** 2003. Agriculture & Food Trade. [en línea]. <<http://apps.fao.org/default.htm>> [consulta: 16-12-03].

- **FOGD, P.; HYLDGAARD-JENSEN, J.** 1981. Blood parameters and meat quality. Pig News Infor. 2 (1): 9-15.

- **FRAQUENZA, M. J.; ROSEIRO, L. C.; ALMEIDA, J.; MATIAS, J.; SANTOS, C.; RANDALL, J. M.** 1998. Effects of lairage temperature and holding time on pigs behaviour and carcass and meat quality. Appl. Anim. Behav. Sci. 60: 317-330.

- **FUJII, J.; OTSU, K.; ZORZATO, F.; DE LEOS, S.; KHANA, V. K.; WEILER, J. E.; O'BRIEN, P. J.; MACLENNAN, D. H.** 1991. Identification of a mutation in porcine ryanodine receptor associated with malignant hyperthermia. Science 253: 448-251.

- **GALLO, C.** 1996. Factores que afectan calidad antes, durante y después del faenamiento. **In:** Curso de capacitación para certificadores de carne bovina. Cap. VIII. UACH. Fac. Cs. Vet. Inst. Ciencia y Tec. Carne. Valdivia, Chile: 64-80.

- **GARCIA-BELENGER, S.; PEREZ, MP.; PALACIO J.; SANTOLARIA, P.; ACEÑA, C.; CHACON, G.; VERDE, T.** 1999. Influencia de diferentes tiempos de espera previo al sacrificio sobre parámetros indicativos del estado de bienestar y la calidad de la carne en ganado porcino. ITEA Vol. extra 20 (tomo I): 191-193.

- **GARNIER, J-P.** 2001. Potencial de los verracos Pietrain halotano negativos para la industria porcina española. Rev. Anaporc 232: 67-77.

- **GILL, J.** 1978. Design and analysis of experiments in the animal and medical science. The Iowa State University. Iowa, U.S.A. V 2. 300 p.

- **GISPERT, M.; OLIVER, M. A.; DIESTRE A.; PUIGVERT, X.; TIBAU, J.** 1997. Calidad de la carne en diferentes genotipos en porcinos. ITEA Vol. extra 18 (tomo II): 673-675.

- **GRANDIN, T.** 1994. Methods to reduce PSE and blood splash. In: Allen D. Lemans Swine Conference. College Vet. Med. U. of Minnesota. Vol 21: 206 – 209.

- **GRANDIN, T.** 2003. The welfare of pigs during transport and slaughter. Pig News Infor. 24 (3): 83N-90N.

- **GREGORY, N. G.; MOSS, B.; LEESON, R.** 1987. An assessment of carbon dioxide stunning in pigs. Vet. Rec. 121: 517-518.

- **GUISE, H. J.; PENNY, H. C.** 1989. Factors influencing the welfare and carcass and meat quality of pigs. Anim. Prod. 49: 517-521.

- **HAMILTON, D. N.; ELLIS, M.; MILLER, K. D.; McKEITH, F. K.; PARRETT, D. F.** 2000. The effect of the halothane and rendement napole genes on carcass and meat quality characteristics of pigs. J. Anim. Sci. 78: 2862-2867.

- **HARRI, M.** 1993. Pig behavior. In: Poulanne, E., Demeyer, D.I. (eds). Pork Quality: Genetics and Metabolic Factors. CAB International. Wallingford, UK. pp. 76-100.

- **HENNESSY, D. P.; WAN, S. S.** 1993. Boar odour: is it a problem for Australian consumers?. In: Batterham, E. S. (ed). Manipulating Pig Production IV. Australasian Pig Sci. Assoc. Canberra, Australia. pp 155-161.

- **HERMESCH, S.** 1997. Genetic influences on pork quality. **In:** A Symposium-Strategies to improve consistency of pork quality-towards 2010. Canberra, Australia. Manipulating Pig Production VI. Australasian Pig Sci. Assoc. pp. 82-90.

- **HOFMANN, K.** 1988. El pH, una característica de calidad de la carne. Fleischwirtsch (español) 1: 13-18.

- **HONIKEL, K. O.** 1993. Quality of fresh pork – Review. **In:** Puolanne, E.; Demeyer, D.I. (eds). Pork quality: genetic metabolic factors. CAB International. Wallingford, UK. pp 203-216.

- **JONES, S. D. M.; CLIPLEF, R. L.; FORTIN, A. F.; MCKAY, R. M.; MURRAY, A. C.; POMMIER, S. A.; SATHER, A. P.; SCHAEFER, A. L.** 1994. Production and ante-mortem factors influencing pork quality. Pig News Infor. 15 (1): 15N-18N.

- **KAUFFMAN, R. G.; EIKELENBOOM, G.; VAN DER WAL, P.G.; ENGEL, B.; ZAAR, M.** 1986. A comparison of methods to estimate water-holding capacity in post-rigor porcine muscle. Meat Sci. 18: 307-322.

- **KELLEY, K. W.; McGLONE, J. J.; GASKINS, C. T.** 1980. Porcine aggression: measurement and effects of crowding and fasting. J. Anim. Sci. 50: 336-341.

- **KEMPSTER, A. J.; EVANS, D. G.; CHADWICK, J.** 1984. The effects of source populations, feeding regimen, sex and day of slaughter on the muscle quality characteristics of British crossbred pigs. Anim. Prod. 39: 455-464.

- **KOLB, E.** 1974. Fisiología del hígado. **In:** Kolb. E. Fisiología veterinaria. 2^a ed. Española. Editorial ACRIBIA. Zaragoza, España. pp 674-689.

- **LATORRE, M. A.; LÁZARO, R.; VALENCIA, D. G.; MEDEL, P.; MATEOS, G. G.** 2004. The effects of gender and slaughter weight on the growth performance, carcass traits, and meat quality characteristics of heavy pigs. *J. Anim. Sci.* 82: 526-533.

- **LATORRE, M. A.; MEDEL, P.; FUENTETAJA, A.; LÁZARO, R.; MATEOS, G. G.** 2003. Effect of gender, terminal sire line and age at slaughter on performance, carcass characteristics and meat quality of heavy pigs. *Anim. Sci.* 77: 33-45.

- **LAWRIE, R. A.** 1998. *Ciencia de la carne*. 3ª edición. Editorial Acribia S. A. Zaragoza, España. 367 p.

- **LEACH, L. M.; ELLIS, M.; SUTTON, D. S.; McKEITH, F. K.; WILSON, E. R.** 1996. The growth performance, carcass characteristics, and meat quality of halothane carrier and negative pigs. *J. Anim. Sci.* 74: 934-943.

- **LEE, C. T. Y.; LO, Y. Y. T.; XU, R. J.** 1995. Effects of gender and age at slaughter on the quality of pigs meat. In: Hennesy, D. P.; Cranwel, P. D. (eds.). *Manipulating Pig Production V.* Australasian Pig Sci. Assoc. Werribee, Australia. p 255.

- **LEHESKA, J. M.; WULF, D. M.; MADDOCK, R. J.** 2003. Effects of fasting and transportation on pork quality development and extent of postmortem metabolism. *J. Anim. Sci.* 81: 3194-3202.

- **LOUIS, C. F.; GALLANT, E. M.; REMPLÉ, E.; MICKELSON, J. R.** 1990. Malignant hyperthermia and porcine stress syndrome: a tale of two species. *Pig News Infor.* 11(3): 341-344.

- **MACLENNAN, D. H.; PHILLIPS, M. S.** 1992. Malignant hyperthermia. *Science* 256: 789-794.

- **MALTIN, C. A.; WARKUP, C. C.; MATTHEWS, C. M.; GRANT, A. D.; DELDAY, M. I.** 1997. Pig muscle fibre characteristics as a source variation in eating quality. *Meat Sci.* 47 (3/4): 237-248.

- **MAYES, P.** 1971. Metabolismo de los carbohidratos. **In:** Harper, H. A. Manual de química fisiológica. 3ª ed. Manual Moderno, S. A. México, D. F. pp 259-299.

- **MONIN, G.; LARZUL, C.; LE ROY, P.; CULIOLI, J.; MOUROT, J.; ROUSSET-AKRIM, S.; TALMANT, A.; TOURAILLE, C.; SELLIER, P.** 1999. Effects of the halothane genotype and slaughter weight on texture of pork. *J. Anim. Sci.* 77: 408-415.

- **MUÑOZ, A.** 1994. La calidad de la carne porcina en programas de mejora genética. **In:** Seminario de la ley de la carne y su impacto en la producción y la industria porcina. Santiago, Chile. 6 – 8 de abril, 1994. Fac. Cs. Veterinarias y Pecuarias. Universidad de Chile. pp 1-24.

- **NIÑO DE ZEPEDA, A. GODOY, P. ECHÁVARRI, V.** 1999. Calidad como opción estratégica de desarrollo pecuario. **In:** Niño De Zepeda, A. Godoy, P. Echávarri, V. (Eds). De recursos productivos a alimentos: estrategias de calidad. IICA-SAG. Santiago, Chile. pp 1-11.

- **NOGUERA, J. L.; ALFONSO, L.; BABOT, J.; ESTANY, A.; SANCHEZ, A.** 1993. Efecto del gen halotano en algunos caracteres de interés económico. *ITEA Vol. Extra 12 (tomo I): 254-256.*

- **OLIVER, M.** 2000. Últimos resultados experimentales en relación al gen halotano. [en línea] <<http://sf012.irta.es/xarxatem/genhal-cast.htm>> [consulta: 10-07-2001].

- **PEREZ, M. P.; PALACIOS, J.; SANTOLARIA, M. P.; ACEÑA, M.; CHACÓN, G.; VAERDE, M. T.; CALVO, J. H.; ZARAGOZA, M. P.; GASCÓN, M.; GARCIA-BELENGER, S.** 2002. Influence of lairage time on some welfare and meat quality parameters in pigs. *Vet. Res.* 33: 239-250.

- **PERREMANS, S.; RANDALL, J. M.; ROMBOUTS, G.; DECUYPERES, E.; GERS, R.** 2001. Effect of whole-body vibration in the vertical axis on cortisol and adenocorticotropic hormone levels in piglets. *J. Anim. Sci.* 79: 975-981.

- **POBLETE, C.** 1999. Instrumentos de calidad: el caso de la carne bovina en Chile. In: Niño De Zepeda, A. Godoy, P. Echávarri, V. (Eds). De recursos productivos a alimentos: estrategias de calidad. IICA-SAG. Santiago, Chile. pp 27-33.

- **PUIGVERT, X.; SOLER, J.; TIBAU, J.; GISPERT, M.; DIESTRE, A.** 1997. Calidad de la canal en diferentes genotipos en porcinos. ITEA Vol. Extra 18 (tomo II): 670- 672.

- **RAJ, A. B. M.; JOHONSON, S. P.; WOTTON, S. B.; MCINSTRY, J. L.** 1997. Welfare implications of gas stunning pigs: 3. The time to loss of somatosensory evoked potentials and spontaneous electrocorticogram of pigs during exposure to gases. Vet. J. 153 (3): 329-339.

- **REES, M. P.; TROUT, G. R.; WARNER, R. D.** 1999. Efect of pH and temperature decline on the rate of ageing in pork. In: Cranwell, P. D. (ed). Manipulating Pig Production VII. Australasian Pig Sci. Assoc. Werribee, Australia. p 189.

- **REINER, G.** 1993. A new physiological pathway controlling muscle growth and its potential relevance for pig production. Pig News Infor. 14 (3): 123N-125N.

- **RESURRECCION, A. V. A.** 2003. Sensory aspects of consumer choices for meat and meat products. Meat Sci. 66: 11-20.

- **RÜDIGER, F. K. W.** 1985. Efecto del estrés del transporte sobre los niveles séricos de creatinfosfoquinasa en cerdos. Memoria de Título Méd. Vet. Chillán, Chile. Universidad de Concepción. Fac. Cs. Agropecuarias y Forestales. 55 p.

- **SANTORO, P.; LAUCITANO, L.** 1996. Stress in pig productions. Pig News Infor. 17 (2): 49N-52N.

- **SANTOS, C.; ALMEIDA, J. M.; MATIAS, E. C.; FRAQUENZA, M. J.; ROSEIRO, C.; SARDINA, L.** 1997. Influence of lairage environmental conditions and resting time on meat quality in pigs. *Meat. Sci.* 45: 253-262.

- **SELLERS, H. I.** 1993. The genetic link: porcine stress syndrome. *Large Anim. Veterinarian* 48 (9): 6-8.

- **SENSKY, P. L.; BARSLEY, R. G.; BRAMELD, J. M.; DANIEL, Z. C. T. R.; FAHEY, A.; JEWELL, K. K.; LEE, G. K.; PARR, T.; SALTER, A. M.; SAZILI, A. Q.; BUTTERY, P. J.** 1994. The biochemical basis for aspects of meat quality. **In:** Cole, D. J. A.; Wiseman, J.; Varley, M. A. (Eds.). *Principles of Pig Science*. Nottingham Univ. Press. Leicestershire, UK. pp 1333-1350.

- **SHEN, H.; LAHUCKY, L.; KOVAC, L.; O'BRIEN, P. J.** 1992. Comparison of HAL gene status with ³¹P-NMR-determined muscle metabolites and with Ca sequestration activity of anoxia-challenged muscle from pigs homozygous and heterozygous for porcine stress syndrome. *Pig News Infor.* 13 (3): 105N-109N.

- **SORIA, I.; IGLESIAS, G.; MARRUBE, G.; MONTAGNA, A.; TORRES, H.** 1999. La hipertermia maligna en el cerdo: una revisión. *Monografías Med. Vet. (Chile)* 19 (1-2): 3-14.

- **SPRINGER, M. P.; CARR, M. A.; RAMSEY, C. B.; MILLER, M. F.** 2003. Accelerated chilling of carcasses to improve pork quality. *J. Anim. Sci.* 81:1464-1472.

- **SUGDEN, M. C.; SHARPLES, S. C.; RANDLE, P. J.** 1976. Carcass glycogen as a potential source of glucose during short-term starvation. *Biochem. J.* 160: 817-819.

- **SWATLAND, H. J.** 1980a. Anisotropy and post mortem change in electrical capacitance and resistivity of skeletal muscle. *J. Anim. Sci.* 50 (1): 67-74.

- **SWATLAND, H. J.** 1980b. Postmortem changes in electrical capacitance and resistivity of pork. *J. Anim. Sci.* 51 (5): 1108-1112.

- **SWATLAND, H. J.** 1993. Paleness, softness and exudation in pork – Review. **In:** Puolanne, E.; Demeyer, D.I. (eds). *Pork quality: genetic metabolic factors*. CAB International. Wallingford, UK. pp 273-286.

- **SYBESMA, W.** 1980. PSE. *Livest. Prod. Sci.* 7: 303-304.

- **TARRANT, P. V.** 1989. The effect of handling, transport, slaughter and chilling on meat quality and yield in pig. **In:** Barnett, J. L., Hennesy, D. P. (eds.). *Manipulating Pig Production II*. Australasian Pig Sci. Assoc. Werribee, Australia. pp. 1-25.

- **TARRANT, P. V.** 1993. An overview of production, slaughter and processing factors that affect pork quality – General review. **In:** Poulanne, E., Demeyer, D.I. (eds). *Pork Quality: Genetics and Metabolic Factors*. CAB International. Wallingford, UK. pp. 1-21.

- **TROUT, G. R.** 1993. A Symposium-Pork Quality-Meeting Consumer's Needs. **In:** Batterham, E. S. (ed). *Manipulating Pig Production IV*. Australasian Pig Sci. Assoc. Canberra, Australia. p 134.

- **TROUT, G. R.; MYLER, S. V.; CASSELL, J. F.; DYSON, S.; REISER, P. D.** 1991. An evaluation of the quality of Australian porks. **In:** Batterham, E. S. (ed). *Manipulating Pig Production III*. Australasian Pig Sci. Assoc. Werribee, Australia. p 70.

- **VIRGILI, R.; DEGNI, M.; SCHIVAZAPPA, C.; FAETI, V.; POLETTI, E.; MARCHETTO, G.; PACCHIOLI, M. T.; MORDENTI, A.** 2003. Effect of age at slaughter on carcass traits and meat quality of Italian heavy pigs. *J. Anim. Sci.* 81: 2448-2456.

- **WALUKONIS, C. J.; MORGAN, M. T.; GERRARD, D. E.; FORREST, J. C.** 2002. A technique for predicting water-holding capacity in early postmortem muscle. [en línea] <www.ansc.purdue.edu/swine/swineday/sday02/18.pdf> [consulta: 28/10/03].

- **WARNER, R. D.; KAUFFMAN, R. G.; GREASER, M. L.** 1997. Muscle protein changes post mortem in relation to pork quality traits. *Meat Sci.* 45 (3): 339-352.

- **WARRISS, P. D.** 1994. Antemortem handling of pigs. **In:** Cole, D. J. A.; Wiseman, J.; Varley, M. A. (Eds.). *Principles of Pig Science*. Nottingham Univ. Press. Leicestershire, UK. pp 425-432.

- **WARRISS, P. D.** 2000. *Meat Science, an introductory text*. CABI Publishing. New York, USA. 310 p.

- **WARRISS, P. D.** 2003. Optimal lairage times and conditions for slaughter pigs: a review. *Vet. Rec.* 153: 170-176

- **WARRISS, P. D.; BEVIS, E. A.** 1987. Liver glycogen slaughtered pigs and estimated time of fasting before slaughter. *Brit. Vet. J.* 143: 254-260.

- **WARRISS, P. D.; BROWN, S. N.** 1994. A survey of mortality in slaughter pigs during transport and lairage. *Vet. Rec.* 134: 513-515.

- **WARRISS, P. D.; BROWN, S. N.; EDWARDS, J. E.; ANIL, M. H.; FORDHAM, D. P.** 1992. Time in lairage needed by pigs to recover from the stress of transport. *Vet. Rec.* 131: 194-196.

- **WARRISS, P. D.; BROWN, S. N.; EDWARDS, J. E.; KNOWLES, T. G.** 1998. Effect of lairage time on levels of stress and meat quality in pigs. *Anim. Sci.* 66: 255-261.

- **WEBB, A. J.** 1996. Future challenges in pig genetics. *Pig News Infor.* 17(1): 11N - 16N.

- **WEEDING, C. M.; GUISE, H. J.; PENNY, R. H. C.** 1993. Factors influencing the welfare and carcass and meat quality of pigs: the use of water sprays in lairage. *Anim. Prod.* 56: 393-397.

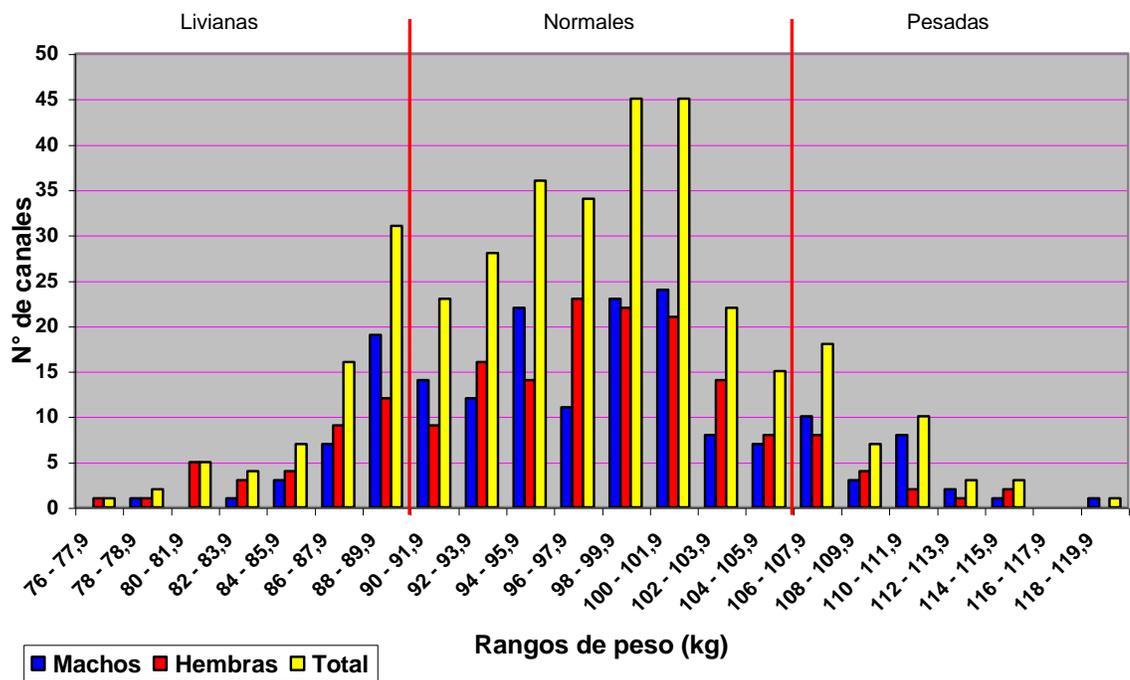
- **WOOD, J. D.** 1993. Production and processing practices to meet consumer needs in: Batterham, E. S. (ed). *Manipulating Pig Production IV.* Australasian Pig Sci. Assoc. Canberra, Australia. pp 135-147.

- **WOOD, J. D.; WISEMAN, J.; COLE, D. J. A.** 1994. Control and manipulation of meat quality. in: Cole, D. J. A.; Wiseman, J.; Varley, M. A. (Eds.). *Principles of Pig Science.* Nottingham Univ. Press. Leicestershire, UK. pp 433-456.

- **ZHANG, W.; KUHLLERS, D. L.; REMPEL, W. E.** 1992. Halotane gen and swine performance. *J. Anim. Sci.* 70: 1307-1313.

ANEXO 1

DISTRIBUCIÓN DE CANALES SEGÚN PESO



ANEXO 2

Amplitud de los valores de pHM, CEM y TM según tiempo pos-mortem, tiempo de reposo, sexo y peso de canal.

Variables	Tiempo de Reposo				Sexo		Peso de canal		
	1hr	3 hrs	5 hrs	6hrs	Machos	Hembras	Livianas	Normales	Pesadas
pHM₄₅	5,28 – 6,93	6,06 – 6,93	5,97 – 6,95	6,05 – 6,93	6,04 – 6,91	5,28 – 6,95	5,28 – 6,93	5,97 – 6,95	6,28 – 6,93
pHM₂₄	5,18 – 6,00	5,00 – 6,08	5,44 – 6,30	5,13 – 6,03	5,14 – 6,30	5,00 – 6,08	5,18 – 6,04	5,00 – 6,30	5,13 – 6,12
CEM₄₅	3,0 – 13,4	3,3 – 4,6	2,7 – 4,7	3,4 – 4,9	3,0 – 4,9	2,7 – 13,4	2,7 – 13,4	3,0 – 4,9	3,5 – 4,5
CEM₂₄	1,4 – 7,4	1,5 – 3,9	1,7 – 4,9	2,0 – 3,7	1,4 – 4,9	1,5 – 7,4	1,6 – 7,4	1,4 – 4,9	1,6 – 3,3
TM₄₅	34,1 – 41,6	38,0 – 41,6	37,8 – 42,2	37,8 – 42,0	36,0 – 42,1	34,1 – 42,2	34,1 – 42,1	34,7 – 42,2	38,1 – 41,5
TM₂₄	-1,4 – 1,8	-0,9 – 4,6	0,0 – 3,9	-0,1 – 6,0	-1,4 – 6,0	-0,9 – 5,5	-1,4 – 3,8	-1,4 – 5,5	-1,4 – 6,0