

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DE LA ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA DE LA CANAL, SOBRE LA
CALIDAD INSTRUMENTAL Y SENSORIAL DE LA CARNE DE NOVILLOS
HEREFORD EN PASTOREO

por

Mateo CARRERE VOULMINOT
Juan Francisco CHIRUCHI NOYA

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2009

Tesis aprobada por:

Director: _____
Dr. MV Juan Franco

Ing. Agr. Gianni Bianchi

Dr. MV Oscar Feed

Fecha: 14/08/2009

Autor: _____
Mateo CARRERE VOULMINOT

Juan Francisco CHIRUCHI NOYA

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a todas aquellas personas que colaboraron con la realización de este trabajo, ya sea integrantes del Frigorífico Tacuarembó Grupo Marfrig, que nos brindaron sus instalaciones, recursos humanos, materiales necesarios para la realización de la tesis y por toda su paciencia y atención cordial.

También a los integrantes del Laboratorio de Calidad de Carnes, como ser Ing. Agr. Fernando Ballesteros, Ing. Agr. Gianni Bianchi, Ing. Agr. Victoria Gestido y DMV. Oscar Feed por su colaboración.

Un especial agradecimiento al DMV. Juan Franco que en el año 2007 recibió 2 alumnos para ayudarlo en tareas comunitarias, como forma de retribución de estos hacia la Facultad por sus estadías en la EEMAC, los cuales resultaron ser sus tesis. Le agradecemos su apoyo continuo, su paciencia y buen humor y sus pausas en los momentos de mayor ansiedad.

A la Familia y Amigos, por su apoyo durante todos estos años de estudio, que siempre nos hicieron sentir que podíamos contar con ellos, en malos y buenos momentos. A nuestras madres por siempre estar atentas a esa encomienda *que alivia un poco la distancia y la ansiedad*.

A todos aquellos compañeros y amigos de la generación de 4to año en la E.E.M.A.C. en el año 2007, donde se pasaron muy buenos momentos imborrables.

A la Familia Collares por hospedarnos de manera muy cordial en nuestra estadía en Tacuarembó.

A todos los compañeros y amigos que conocimos a lo largo de la carrera en la Facultad de Agronomía, quienes quedan en nuestro recuerdo así como todas las experiencias vividas en las instalaciones del edificio Eduardo Acevedo.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	VII
 1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	 1
1.1. HIPOTESIS.....	3
1.2. OBJETIVO	3
 2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	 4
2.1. PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DEL MÚSCULO EN CARNE.....	4
2.2. CALIDAD DE LA CARNE	5
2.2.1. <u>Calidad organoléptica o sensorial</u>	7
2.2.1.1. Sabor y aroma	8
2.2.1.2. Jugosidad.....	8
2.2.1.3. Color y ternura	9
2.2.2. <u>Calidad higiénico-sanitaria</u>	9
2.2.3. <u>Calidad nutricional</u>	10
2.3. COLOR	10
2.3.1. Categorías.....	11
2.3.1.1. Cromáticos: atributos relacionados al color.....	11
2.3.1.2. Geométricos: atributos asociados con la distribución de la luz	11
2.3.2. <u>Pigmentación de la carne</u>	11
2.3.3. <u>Factores que influyen en la variación del color</u>	14
2.3.3.1. Intrínsecos	14
2.3.3.2. Extrínsecos	16
2.3.4. <u>Medición de color</u>	17
2.3.4.1. Métodos subjetivos	17
2.3.4.2. Métodos objetivos	18
2.4. TERNEZA	19
2.4.1. <u>Introducción</u>	19
2.4.2. <u>Factores intrínsecos que determinan la ternura</u>	20
2.4.2.1. Degradación de las fibras musculares	20
2.4.2.2. Estado de contracción del músculo (longitud del sarcómero)	22
2.4.2.3. Tejido conjuntivo	22
2.4.2.4. Grasa intramuscular	23
2.4.3. <u>Evaluación de la ternura</u>	24
2.4.4. <u>Factores que afectan la ternura</u>	27

2.4.4.1. Variables a nivel predial (factores productivos)	27
2.4.4.2. Factores pre faena (relacionados al manejo).....	30
2.4.4.3. Factores post faena.....	32
2.5. ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA (EE).....	36
2.5.1. <u>Un poco de historia</u>	36
2.5.2. <u>Mecanismos de acción</u>	37
2.5.3. <u>Factores que condicionan la respuesta</u>	38
2.5.3.1. Niveles basales de terneza.....	38
2.5.3.2. Categoría animal	38
2.5.3.3. Grado de terminación.....	39
2.5.3.4. Tipo de EE.....	39
2.5.3.5. Manejo <i>pre mortem</i>	40
2.5.3.6. Manejo <i>post mortem</i>	40
2.5.4. <u>Color</u>	42
2.6. MADURACIÓN	42
2.6.1. <u>Fundamentación</u>	42
2.6.2. <u>Mecanismos</u>	43
2.6.3. <u>Tiernización: duración y temperatura dependiente</u>	44
2.6.4. <u>Influencia sobre el color</u>	45
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	46
3.1. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS ANIMALES	46
3.2. DETERMINACIONES EN LA PLAYA DE FAENA.....	46
3.3. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA CANAL .	47
3.4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE CARNE.....	48
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	49
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	51
4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL.....	51
4.1.1. <u>Peso de canal</u>	51
4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CARNE.....	51
4.2.1. <u>pH y color</u>	51
4.2.2. <u>Análisis de textura</u>	54
4.2.3. <u>Análisis sensorial</u>	57
4.2.3.1. Terneza.....	57
4.2.3.2. Sabor y aceptabilidad	59
5. <u>CONCLUSIONES</u>	63
5.1. COMENTARIOS FINALES	64

6. <u>RESUMEN</u>	65
7. <u>SUMMARY</u>	67
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	69

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.		Página
1.	Factores que influyen en la variación del color	14
2.	Cambios en la actividad del sistema calcio dependiente en el almacenamiento <i>post mortem</i>	21
3.	Relación entre la fuerza de corte y la satisfacción del consumidor	25
4.	Peso vivo, peso de canal caliente, rendimiento de la canal, espesor de grasa subcutánea del músculo <i>longissimus dorsi</i>	47
5.	pH y parámetros de color del músculo <i>longissimus dorsi</i> a las 24 horas <i>post</i> <i>mortem</i> según los tratamientos evaluados.....	52
6.	Valores de fuerza de corte (WBSF) para los tratamientos y periodos de maduración analizados. Media y desvío estándar	54
7.	Valores de ternura asignados por el panel de consumidores para los tratamientos evaluados.....	57
8.	Valores de calidad de sabor asignados por el panel de consumidores para los tratamientos evaluados	60
9.	Valores de aceptabilidad asignados por el panel de consumidores para los tratamientos evaluados	61

Figura No.

1.	Procesos de transformación de la mioglobina.....	13
2.	Efecto de la temperatura ambiente sobre la velocidad de caída del pH <i>post</i> <i>mortem</i> en músculo <i>longissimus dorsi</i> de vacuno.....	32

1. INTRODUCCION

Cuando hablamos de calidad de la carne, el color y la terneza son factores de real importancia, ya que influyen en la decisión y reiteración de compra por parte del consumidor.

Los consumidores de los mercados exigentes definen a la terneza como la característica organoléptica más importante de la carne vacuna (Shackelford et al., 1995) y que los principales problemas a nivel de la industria cárnica uruguaya son la variabilidad y la falta de consistencia de la misma (INAC, 2003).

Con respecto a dichos factores, nuestras carnes presentan una marcada variabilidad en esta característica, producto de las distintas edades de faena, los diferentes grados de terminación de los animales, así como el efecto de la interacción de los distintos factores *pre* y *post* faena.

En relación a la edad de faena, los datos para el año 2008, muestran que el 71% de las hembras que se faenan son vacas adultas (INAC, 2008). Esta categoría presenta un menor grado de terneza respecto al que pueden presentar categorías más jóvenes (debido al contenido de colágeno y su solubilidad). Respecto a los novillos, si bien en los últimos años se evidencia una clara disminución en la edad de faena en esta categoría, los novillos mayores a 6 dientes representan todavía un 49% en la faena nacional (INAC, 2008). En cuanto a la disminución en la edad de faena de novillos, se obtienen de esta manera carcasas con menores grados de terminación (bajo espesor de grasa subcutánea), lográndose de esta manera mayores riesgos de ocurrencia de “acortamiento por frío” ya que la capa de grasa no es lo suficientemente aislante, disminuyendo la temperatura de la carcasa mientras el pH sigue elevado.

Es conocido el efecto importante que tiene la maduración en el proceso de mejora de la terneza de la carne. Dicho proceso es una alternativa de elevado costo dentro de la cadena de producción y es por ello que en la mayoría de los casos la industria no trabaje con los periodos óptimos para lograr una mayor terneza de la carne.

Por su parte, la industria, con el objetivo de disminuir costos de producción, de evitar pérdidas durante el proceso y de mantener una buena calidad microbiológica de la carne, opta por aumentar la velocidad de enfriado de las carcasas y congelar las carnes con destino a la exportación lo antes posible según las exigencias de los distintos mercados, impidiendo lograr los tiempos óptimos de maduración, lo que traería aparejado una heterogeneidad importante en la terneza de la carne. La carne que es congelada, detiene la actividad proteolítica de las enzimas musculares, responsables del efecto de la mejora de la terneza (maduración).

Además, existen variaciones importantes entre los distintos músculos con relación al tiempo de maduración necesario para alcanzar niveles aceptables de terneza (Franco et al., 2008b), por lo cual, al congelar los distintos cortes a pocas horas de la faena, contribuiría a la variación importante en la terneza de la carne.

Debido a que la carne congelada representa un 83% de la carne exportada por nuestro país (INAC, 2008), es necesario investigar e implementar técnicas que nos permitan asegurar niveles aceptables de terneza y disminuir su variabilidad, en periodos cortos de maduración y que a su vez resulten económicamente viables. En este sentido, para asegurar niveles aceptables de terneza en carne congelada, o en aquella enfriada cuyo destino es el consumo inmediato (periodos cortos de maduración), existen alternativas tecnológicas que – utilizadas - mejoren la actividad proteolítica y/o evitan el “acortamiento por frío” (Simmons et al., 2008).

La estimulación eléctrica se presenta como una técnica capaz de evitar dicho problema, agotando las reservas de ATP antes del rigor, acelerando la glicólisis anaerobia y provocando un mayor descenso del pH. Se ha demostrado que la temperatura ejerce un importante efecto sobre la velocidad de caída del pH *post mortem* (Bate-Smith y Bendall, Marsh, citados por Pearson, 1994). La velocidad de descenso del pH se relaciona estrechamente con la temperatura del músculo poco después del sacrificio, acelerándose ésta a temperaturas altas y disminuyendo a bajas temperaturas (Olsson et al., 1994). A su vez, la disminución en la terneza ha sido asociada con el “acortamiento por frío” (Teira, 2004) en respuesta a una rápida tasa de enfriamiento. Por otro lado, Dransfield (1994), establece que el “acortamiento por frío” ocurre en músculos enfriados por debajo de los 10°C mientras el pH está por encima de 6.2. Por lo tanto, la estimulación eléctrica, por medio del aumento de la glicólisis, logra disminuir el pH, permitiendo aumentar la velocidad de enfriado, reduciendo las posibilidades de ocurrencia de “acortamiento por frío”.

Para el caso del color de la carne, éste es una de las características de mayor relevancia ya que es uno de los principales atributos por los que el consumidor juzgará el producto a la hora de efectuar la compra (Pringle, 2000). Por medio de la aplicación de estimulación eléctrica de bajo voltaje, se mejoran los parámetros de color, obteniendo una carne de color más fresca, roja brillante, con mayor intensidad de color. A su vez, Savell (1979) encontró mediante esta técnica, que la mejora en el color permite alargar un día más, la vida útil de la carne en el mostrador.

La estimulación eléctrica de bajo voltaje requiere ser realizada dentro de los primeros 30 minutos *post mortem*, dado que es necesario la existencia de impulsos nerviosos. Se trata de una técnica menos riesgosa para el operario y que además requiere de una menor infraestructura, lo que la hace menos costosa que la estimulación eléctrica de alto voltaje.

Por medio de la aplicación de estimulación eléctrica de bajo voltaje, se puede obtener en cortos periodos de maduración, carne con ternera aceptable tanto del punto de vista instrumental como sensorial, así como también una mejora en el color, siendo éste la principal característica de calidad de carne que el consumidor valora a la hora de la compra. La utilización de dicha técnica lograría una mejora en la ternera en poco tiempo lo cual da posibilidades a la industria de poder congelar esas carnes tratadas obteniendo un producto más homogéneo, con corto tiempo de almacenamiento, de carnes provenientes de todas las categorías, especialmente en las carcasas de novillos jóvenes magras y de vacas adultas, que es donde el efecto es más notorio.

1.1 HIPÓTESIS

Por medio de la aplicación de estimulación eléctrica de bajo voltaje (80 V, 15 Hz y 30 segundos), se logra una mejora en la ternera y en el color de la carne.

Por medio de esta técnica, se logran mejoras en la ternera con tiempos de maduración menores a 7 días.

1.2 OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de la estimulación eléctrica de bajo voltaje de canales de novillos Hereford, sobre las características instrumentales y sensoriales de la carne, utilizando tiempos breves de maduración (1, 3 y 7 días).

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DEL MÚSCULO EN CARNE

Hay tres etapas que caracterizan el proceso de transformación del músculo en carne. Estos son fase en caliente, fase de *rigor mortis* y fase de maduración (Monsón, 2004).

En la fase en caliente, el degüello del animal marca el comienzo de la serie de cambios que ocurren en el músculo, no resultando difícil de imaginar que una hemorragia masiva, como tal, es un grave agente estresante, por lo que desequilibra el ambiente interno afectando la Homeostásis (Forrest et al., citados por Monsón, 2004). Luego de la faena, se interrumpe la circulación sanguínea y por lo tanto el suministro de oxígeno a los músculos.

A medida que el aporte de oxígeno disminuye, cesa el funcionamiento de la ruta aeróbica mediante el Ciclo de Krebs y la cadena respiratoria (Monsón, 2004). El desdoblamiento aeróbico del glucógeno ($C_6H_{12}O_6$), vía Ciclo de Krebs a Dióxido de carbono (CO_2) y Agua (H_2O), es reemplazado por el desdoblamiento anaeróbico del glucógeno a Ácido Láctico (Wiklund, citado por Carduz, 1994).

En vivo, el ácido láctico originado en la ruta anaerobia es transportado desde el músculo al hígado, donde se utiliza para la síntesis de glucosa y glucógeno. Puesto que una vez degollado el animal no dispone de sistema circulatorio, el ácido láctico permanece en el músculo, aumentando su concentración a medida que prosigue el metabolismo. Este acúmulo de ácido láctico determina un descenso del pH muscular (Jiang, 1998). La velocidad de descenso y el límite hasta el que desciende el pH son muy variables (Fischer y Hamm 1980, Bendall y Swatland 1988).

Otro importante mecanismo que se pierde a consecuencia del fallo circulatorio, es el mecanismo de regulación de la temperatura. Luego del degüello, rápidamente sube la temperatura muscular; la temperatura alcanzada depende de la velocidad de producción metabólica de calor y de su duración. El tamaño y localización de un músculo, así como la cantidad de grasa que lo recubre aislándolo, también influye sobre la temperatura última alcanzada y la velocidad de disipación del calor (Warris et al., 1984).

En la fase de *rigor mortis*, "rigidez de la muerte", es una etapa que conduce a la acidificación del tejido muscular, alcanzándose valores comprendidos entre 5.4 y 5.8 (Pearson, 1994). Cuando el nivel de ATP disminuye *post mortem*, la bomba de iones comienza a fallar por falta de energía y el nivel de Ca^{2+} dentro del sarcoplasma aumenta, se activa la contracción del músculo. En este momento hay insuficiente ATP para eliminar los iones calcio fuera del sarcoplasma, entonces el músculo se mantiene

contraído (Gregory, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002). En este sentido, según Wiklund, citado por Carduz (1996), normalmente, a valores de pH de 5.5 (punto isoeléctrico de las proteínas) se inactivan la mayoría de las enzimas y la bomba de calcio deja de funcionar, debido a lo cual, los músculos permanecen contraídos y se establece el *rigor mortis*.

La instauración del *rigor mortis* está muy influida y condicionada por varios factores, entre los de mayor trascendencia nuevamente tenemos a la temperatura de almacenamiento *post mortem*, el pH y la concentración de ATP que posee el músculo (Honikel et al., citados por Monsón, 2004).

Los cambios físicos que acompañan el proceso de *rigor mortis* son la pérdida de elasticidad y extensibilidad, acortamiento y aumento de la tensión (Monsón, 2004).

El grado de contracción y la acidificación del músculo logrados en el *rigor mortis* son de importancia para inducir las cualidades deseables en la carne fresca, textura y sabor en la carne cocida (Locker, 1989). El grado de contracción es el resultado del acortamiento del sarcómero y es afectado principalmente por el descenso de la temperatura durante la instauración del *rigor mortis*. La acidificación, dada por la acumulación de ácido láctico en el músculo, depende fundamentalmente de la cantidad de glucógeno presente en los tejidos al momento del sacrificio (Pearson, 1994).

La última fase, la de maduración, es una práctica de almacenamiento de la carne más allá del tiempo normal que lleva el establecimiento y la refrigeración, para mejorar la terneza (Moran y Smith, citados por Dransfield, 1994). Es una etapa durante la cual la carne adquiere sus propiedades texturales y sensoriales características, siendo la terneza la más importante (Franco et al., 2008b). El grado de maduración está relacionado al nivel de calpaínas a las 24 horas, que varían acorde a los niveles iniciales y su inactivación durante el desarrollo del rigor (Dransfield, 1994). La maduración será abordada más adelante en un capítulo aparte dado que es parte del objetivo del trabajo presentado.

2.2 CALIDAD DE LA CARNE

Hoy en día el mercado diferencia los distintos productos como de alta o baja calidad y acorde a esto es que se posicionan mejor o peor dichos productos frente a mercados de alta exigencia dispuestos a premiar con mejores precios a dichos bienes. Es por esto que conocer el concepto de calidad es de vital importancia a la hora de ofrecer al consumidor el producto que verdaderamente desea.

En general, se define la calidad de un producto a las características que éste presente por el cual el consumidor está dispuesto a pagar más (Bavera, 2005).

Cuando se propone definir la calidad de la carne, surge una primera dificultad como consecuencia de la heterogeneidad intrínseca del producto y además del grado de subjetividad de los atributos considerados comercialmente importantes (color, textura, jugosidad), a ello se le suma para poder definir los criterios de calidad de la carne, que los diferentes eslabones de la cadena cárnica tiene en cuenta objetivos distintos (Franco et al., 1999).

Al no existir consenso en la fase productiva y salir con productos muy heterogéneos al mercado, resulta muy engorroso definir exactamente lo que los consumidores conciben por calidad de la carne, muy especialmente en países de América del Sur, donde se ha actuado a ciegas, sin reconocer los deseos del cliente final (Huerta y Jerez, 1996).

En resumen podemos decir que no hay una definición universal de calidad de la carne, ya que ésta depende de diversas circunstancias tales como la ubicación en el tiempo o época, el lugar, los mercados, las personas, los sectores sociales, las pautas culturales y su utilidad o finalidad (Bavera, 2005). Por lo tanto el concepto de calidad debe ser definido para cada eslabón de la cadena, teniendo en cuenta de que el producto debe satisfacer la demanda del mercado al que se destina. De acuerdo a esto, la calidad del ganado vivo, de su res y su carne depende del grado en que posea ciertos atributos o características que lo hagan apto para satisfacer determinadas necesidades de uso (Bavera, 2005), debido a que cada uno de los factores de dicha cadena darán una interpretación acorde a sus intereses particulares.

Los factores de calidad para un criador son la fertilidad del rodeo, cantidad y peso de los terneros destetados por hembra entorada, longevidad de los vientres, número de terneros en la vida útil, aptitud reproductiva de los toros, elección de la raza y/o cruza, etc. (Mamaqui, 1996).

Para los productores ganaderos, la calidad de un animal en pie significa: velocidad de crecimiento, eficiencia de conversión y mayor productividad tanto como por superficie. Aquél animal que en iguales condiciones de edad, sexo, raza, ambiente presente una mayor relación músculo/hueso, un adecuado grado de engrasamiento, y que le permita llegar al máximo peso con el menor costo de producción, ese animal será para el invernador el de mejor calidad.

La industria frigorífica entiende como calidad el rinde óptimo para ese tipo de animal, un máximo de músculo, mínimo de hueso y un grado de terminación o engrasamiento correcto. Además son muy importantes las condiciones de manejo de los animales durante la comercialización y transporte (estrés), la faena con descanso previo, el manejo, conservación de las reses y cortes (IPCVA, s.f.).

Los consumidores entienden como calidad de la carne a sus caracteres

organolépticos, sensoriales y de palatabilidad. Aprecian la calidad de la carne, al comprarla, por su buen color, aspecto, textura, consistencia, troceo, envasado, conservación, y al comerla luego de la cocción, por su buen aroma, sabor, jugosidad y ternura.

Parte de estos caracteres están condicionados por los gustos particulares del consumidor y sus hábitos culinarios (métodos, tiempos y temperaturas de cocción, salazón, adobo), costumbres, tradiciones, religión, etc. Además, hoy en día gran parte de los consumidores, especialmente los de mayor nivel cultural y generalmente de mayor poder adquisitivo, buscan también en la carne un alimento sano, higiénico y seguro, además de nutritivo y agradable de ser consumido. La carne que posea estos atributos tendrá mejor calidad.

Los consumidores, por lo tanto, son el último eslabón de un largo proceso que comienza cuando en el campo se selecciona los reproductores a utilizar. Sin embargo, los consumidores "siempre tienen razón" y deben ser tenidos en cuenta desde el principio del proceso, ya que en definitiva son quienes rigen el mercado (Bavera, 2005).

Dikeman (1990b), en función de encuestas a nivel mundial pudo definir como carne óptima aquella con color atractivo, magra, fresca, sin exudados, que sea tierna, jugosa y sabrosa una vez que está cocinada, de bajo valor calórico y alto contenido protéico, que también esté libre de microorganismos patógenos, pesticidas, hormonas y residuos de antibióticos.

A los efectos de esta tesis nos enfocaremos en el concepto de calidad de la carne visto desde el enfoque del consumidor.

Dicho enfoque muestra que las tendencias actuales para inicios del milenio obligan a admitir tres tipos o conceptos de calidad: a) la calidad organoléptica o sensorial, b) la calidad higiénico-sanitaria o seguridad del alimento y c) La calidad nutricional, dictada mayormente por el valor nutritivo (Franco et al., 1999).

2.2.1 Calidad organoléptica o sensorial

La calidad organoléptica y sensorial es uno de los aspectos de mayor importancia. Está explicado por aquellas cualidades que el consumidor valora directamente, bien al momento de la compra, como el color, o al momento de la degustación, como la jugosidad, la ternura y el sabor (Franco et al., 1999).

Entre los atributos que más influyen en la satisfacción, destacan el carácter tierno (ternura), la jugosidad y el sabor de la carne cocida. De estos tres factores la ternura juega el papel más decisivo (Shackelford et al., 1995). Las otras sensaciones,

especialmente la jugosidad y la cantidad de tejido conjuntivo (residuo al masticar) están estrechamente vinculados a la terneza (Huerta et al., 1997).

2.2.1.1 Sabor y aroma

Muchas de las reacciones psicológicas y fisiológicas que despierta la carne derivan de su gusto y aroma (flavor). Judge et al., citados por Huerta y Rodas (2001) afirman que el sabor involucra la percepción de cuatro sensaciones básicas (salado, dulce, ácido y amargo) por las papilas gustativas de la lengua.

El aroma se detecta por numerosas sustancias volátiles que estimulan los terminales nerviosos en los pasajes nasales.

El sabor surge de las sustancias volátiles de la carne que estimulan el sentido del olfato y también las sustancias volátiles solubles que también se liberan en la boca cuando la carne es masticada. De este modo, los mensajes que alcanzan el cerebro son responsables de la sensación de sabor que se originan de dos diferentes órganos sensitivos (Purchas et al., citados por Jiménez de Aréchaga et al., 2002).

Por otra parte, Mottram, citado por Monsón (2004) define al flavor, como un componente importante tanto en la calidad sensorial de la carne como en su aceptabilidad al momento del consumo. Es la característica que junto con la terneza y el color, influye más en la aceptabilidad por parte del consumidor (Farmer, citado por Monsón, 2004).

Los componentes del sabor característicos de cada especie animal se encuentran principalmente en los tejidos grasos, mientras que los comunes a cada especie se encuentran en los tejidos musculares (Purchas, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002). Es éste uno de los componentes que marcan la diferencia entre biotipos animales sumado a la alimentación recibida (Shahidi y Rubin, citados por Melton, 1990).

2.2.1.2 Jugosidad

Cuando hablamos de jugosidad estamos mencionando a uno de los aspectos más importantes en la impresión que deja la carne al consumidor. Judge et al., citados por Huerta y Rodas (2001), mencionan que los jugos liberados por la carne son quienes aportan los componentes del sabor y que ayudan al ablandamiento y la fragmentación durante la masticación.

Sañudo (1998) marca que la jugosidad se puede dividir en dos; primero una sensación de humedad que se produce al comenzar la masticación, producto de una rápida liberación de jugos y luego una jugosidad sostenida en el tiempo producto del efecto de la grasa sobre la liberación de saliva (Mamaqui, 1996).

La jugosidad no está determinada solamente por la capacidad de retener agua (CRA) que tenga la carne sino que también lo está por la cantidad de grasa intramuscular que presente. Por lo tanto se puede dar que carnes con poca CRA presenten una jugosidad aceptable (Riley et al., 1983).

La jugosidad puede aumentar por la CRA o por el aumento en la producción de saliva provocado por los componentes de la grasas de la carne (Purchas et al., citados por Jiménez de Aréchaga et al., 2002).

Esto provoca que se cuestione sobre el efecto que tiene la raza en la jugosidad. Sobre este tema son muchos los autores que han estudiado y muy diversas sus conclusiones.

Hay autores que comparando jugosidad con animales de diferentes razas pero igual edad, alimentación y grado de terminación, aseguran no haber encontrado efecto (Knapp et al., 1989), lo mismo concluyen Boles y Swan (2002), que realizaron comparaciones con *Bos indicus* y *Bos Taurus*. A su vez, Gregory et al. (1994), lograron los mismos resultados en sus correspondientes experimentos sobre diferentes razas. En cambio Winger y Hagyard, citados por Monsón (2004), dicen haber observado diferencias entre razas. Dicha diferencia se explicó básicamente por la variación en la cantidad de grasa que presentaron los animales.

Por otro lado, Sinclar et al. (2001) afirma que la jugosidad está afectada tanto por la raza como por la crianza del animal. Dikeman (1990b), afirma que existe muy poca información para decir que la jugosidad esté afectada genéticamente, por lo que atribuyen el rol primordial en cuanto a jugosidad a la alimentación recibida por el animal en su preparación.

2.2.1.3 Color y terneza

Corresponde definir en este punto al color y la terneza ya que estos son de los factores que más estimulan al consumidor a decidir la compra. A los efectos de la tesis serán definidos más adelante dada su gran relevancia dentro de este trabajo.

2.2.2 Calidad higiénico-sanitaria

La higiene e inocuidad es uno de los aspectos que más importancia da el mercado actual. En la actualidad los gobiernos y la industria son los encargados de dichas garantías pero se está intentando integrar a toda la cadena (Huerta y Rodas, 2001). Franco et al. (2001) afirman que en este punto existen dos elementos importantes, la ausencia de microorganismos patógenos así como de residuos de hormonas y antibióticos o agroquímicos.

Hace menos de una década la industria y hasta los organismos reguladores, a nivel mundial, tenían una actitud permisiva con la presencia de bacterias y patógenos, eran una parte natural del ambiente y no podían ser controlados. Esta actitud ha cambiado radicalmente y en los países industrializados se han comenzado a establecer estándares para la reducción de patógenos y sistemas de monitoreo como los planes HACCP (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control) para evitar la contaminación por bacterias peligrosas. Particularmente, en productos crudos esto abarca escenarios desde la propia finca hasta los hogares de los consumidores (AMS, citado por Huerta y Rodas, 2001).

2.2.3 Calidad nutricional

Hace referencia a los elementos capaces de satisfacer las necesidades metabólicas del organismo (proteínas, vitaminas, minerales, lípidos, etc.). De dichos componentes las proteínas y las grasas son los cuantitativamente más importantes y los más fácilmente controlables a través de los diferentes factores de producción (Franco et al., 1999).

2.3 COLOR

El color es una de las características de mayor relevancia ya que es uno de los principales atributos por los que el consumidor juzgará el producto a la hora de efectuar la compra (Mackinney et al., Kropf, citados por Wulf y Wise 1999, Pringle 2000, Hedrick et al., citados por Page et al. 2001). En esta línea, Shackelford et al., citados por Barriada (1995), agregan que el consumidor desecha aquellos colores extremos y que aprecia los rojos brillante.

El color de la carne está dado principalmente como en cualquier superficie por la interacción de tres factores:

- El tipo de luz que recibe.

El color que percibimos está altamente influenciado por el espectro lumínico que recibe.

- La composición química de la superficie.

La absorción y la reflectancia de los rayos de luz de distintos colores, está dada por la composición química de la carne y la cantidad de agua en la superficie, este fenómeno físico es finalmente el tipo de estímulo que el ojo humano percibe.

- La interpretación del color.

El nervio óptico recoge la onda lumínica y lo manda al cerebro en donde es interpretada para dar lo que finalmente conocemos como color de las cosas. Esto implica que existen diferencias individuales en la percepción del fenómeno denominado color (Minolta, citado por Castillo, 2004).

2.3.1 Categorías

El color tiene una esencia física fundamentalmente, pero como nosotros lo conocemos es una experiencia visual que incluye una interpretación cerebral, haciendo de este fenómeno físico-sensorial, una suma de interpretaciones de lo que conocemos como apariencia de las cosas.

La decisión que tomamos sobre la apariencia nos lleva a diferenciarlos en dos categorías:

2.3.1.1 Cromáticos: atributos relacionados al color

- Tono de color: es el atributo de la sensación visual según la cual el estímulo aparece similar a uno de los colores percibidos: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, violeta o púrpura o cualquier combinación de ellos (Sañudo, 1998).
- Saturación del color: es el atributo que, fijado al tono describe al color por su similitud con un color espectral puro, cuanto más parecido sea a éste, tanto más saturado será (Sañudo, 1998).
- El Croma: es la parte de una especificación de color que no incluye claridad. Los atributos cromáticos son dos y se representan en los llamados diagramas cromáticos (Sañudo, 1998).

2.3.1.2 Geométricos: atributos asociados con la distribución de la luz

- Intensidad de reflejo, brillo y opacidad. El último de los atributos del color es el receptor de la imagen u observador, que varía de acuerdo a su sensibilidad y capacidad de observación (Minolta, citado por Castillo, 2004).

2.3.2 Pigmentación de la carne

El color preferido para la carne de res es rojo cereza brillante. La pigmentación de la carne está dada por la proporción de mioglobina. En condiciones normales, la mioglobina se puede presentar en tres formas básicas: mioglobina reducida,

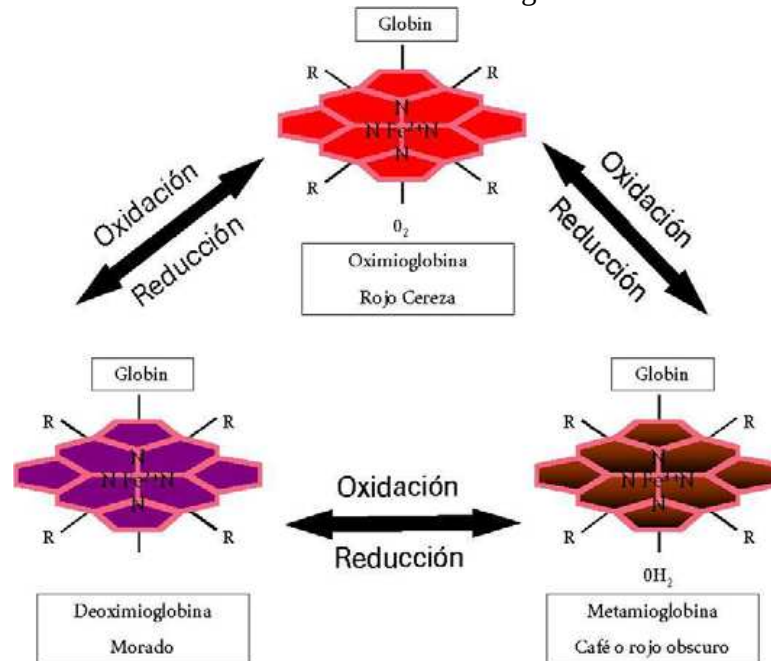
oximioglobina y metamioglobina (Lopez de Torre y Carballo, citados por Jiménez de Aréchaga et al., 2002). El color varía según la concentración y distribución de estos tres pigmentos (Lawrie, citado por Mamaqui, 1996).

Su concentración en el músculo varía entre especies y masa muscular y en general se ve modificada por varios factores tales como: edad al sacrificio, sexo, nivel de estrés al sacrificio, salud, etc., a la vez que está correlacionada con el contenido de fibras rojas en la carne (Faustman, 1990).

El color de la carne está asociado con la interconversión de las tres diferentes formas de la molécula. Cuando la carne es fresca o recién cortada la proporción de deoximioglobina es alta y esto confiere a la carne de res un color rojo purpúreo. En los siguientes treinta minutos después de ser expuesta al medio ambiente, una molécula de oxígeno (O_2) se une a la molécula de mioglobina para producir oximioglobina y conferir a la carne un característico color rojo cereza brillante, siendo esta forma la más atractiva desde el punto de vista de la apariencia debido a que se asocia a la carne fresca (Lawrie, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002). Dicho proceso es conocido como “Blooming”. En carnes con un elevado pH final no se da el “Blooming” cuando son cortadas y expuestas al aire, permaneciendo con un color oscuro (Gregory, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002).

Después de una exposición prolongada al medio ambiente, la oximioglobina se oxida a su forma de metamioglobina confiriéndole a la carne un color café-rojizo que es poco deseable. Otros efectos importantes en el color son: la oxidación de lípidos y la contaminación microbiológica, los cuales le confieren otros tonos de color (Berwal y Novakofski, citados por Castillo, 2004).

Figura 1: Procesos de transformación de la mioglobina



Fuente: Faustman (1990)

La transformación de mioglobina en oximioglobina se observa unos pocos minutos después de cortar y poner al descubierto el interior anaerobio de una porción de carne. Para Swatland, citado por Mamaqui (1996), los cambios que experimente la mioglobina *post mortem* tienen efectos importantes sobre el envasado y la venta de carne.

A elevada presión de oxígeno la mioglobina queda retenida como oximioglobina por formación de una estructura de alta resonancia y mientras el complejo Hemo permanece oxigenado no se producen cambios de color. Sin embargo, el oxígeno se une y desune continuamente al complejo Hemo, procesos que se aceleran por numerosos factores tales como las bajas presiones de oxígeno (Lopez de Torre y Carballo, citados por Jiménez de Aréchaga et al., 2002). Cuando esto ocurre, el complejo reducido se oxida a metamioglobina, siendo ésta la forma en que se encuentra en el interior de la carne.

No obstante, las variaciones de color vienen motivadas por dos tipos de factores: los zootécnicos (como la raza, la edad, el sexo, el tipo de músculo) y por otro, los factores tecnológicos (Jiménez de Aréchaga et al., 2002).

2.3.3 Factores que influyen en la variación del color

Cuadro 1. Factores que influyen en la variación del color

Factores	Variación de Factor	Efecto sobre el color	Mecanismo de acción
Raza	↑ especializados en carne	↓ Intensidad	› Fibras blancas, ↓ tenor mioglobina (Mo)
Sexo	M entero Hembra M castrado	Intensidad +++ ++ +	› fibras de Mo a = PV que machos (por ser mas precoz)
pH	↑	↑intensidad	Favorece la oxidación del Fe ⁺ , mayor actividad de las mitocondrias que compiten por el O ₂ , lo que lleva a menores formaciones de oximioglobina.
Edad y peso vivo	↑	↑ intensidad	↑ tenor de mioglobina
Tipo de músculo	Fibras rojas	↑ intensidad	› concentración de mioglobina
Dieta	-↑nivel alimentación. -Dieta pobre en Fe ⁺ y lactantes.	↓ intensidad	Dilución del color por mayor deposición de gras intramuscular. Menor tenor de mioglobina.
Color de la grasa	Razas lecheras. ↑edad ↑dietas forrajeras ↑concentración €	+ amarillos	Deposición de β- carotenos

Fuente: adaptado Franco et al. (2001)

2.3.3.1 Intrínsecos

❖ Raza

Existen diferencias en la coloración de la carne de animales distintos en cuanto a precocidad. Presentando las razas más precoces tonalidades de color más intenso que las

razas de madurez más tardía, lo que se fundamenta por una mayor concentración de pigmentos (Boccard y Bordes, citados por Monsón, 2004).

También existen diferencias entre animales de razas lecheras y carniceras. Sañudo (1998) establece que en ganado bovino se considera que la carne de las razas lecheras presentan tonos más oscuros debido a su mayor tono metabólico, a la misma edad. Pero a un mismo grado de madurez, expresado en % de peso vivo adulto, no existen diferencias raciales.

❖ pH

Según Barriada, citado por Monteiro y Peluffo (2001), el pH es una propiedad que condiciona las características organolépticas de la carne (color, terneza, jugosidad y flavor) como también las funcionales (CRA, capacidad de retención de agua), encontrando un mayor impacto sobre el color, la terneza y CRA en las carnes DFD (Oscuras Firmes y Secas, por sus siglas en inglés). Cuando encontramos valores de pH elevados a las 24 horas de la faena se corresponden con la ocurrencia de cortes oscuros o cortes DFD.

El efecto del pH está asociado al efecto físico que causa el pH sobre las principales proteínas de la carne. Cuando tenemos un pH final elevado las proteínas están por encima de su punto isoeléctrico, favoreciendo una fuerte retención de agua por la carne, provocando una reducción en la entrada de oxígeno cuando la carne es expuesta al aire. Por lo tanto una penetración de oxígeno baja, provoca una reducción de la oxidación de la mioglobina a oximioglobina, por lo que entonces la carne con pH alto presenta cortes oscuros DFD (Lawrie, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002).

❖ Edad

La edad también es uno de los factores que influyen en el color de la carne (Renerre y Valin, citados por Mamaqui, 1996), observaron un incremento en la concentración de la pigmentación muscular entre los 9 y los 16 meses de edad (en raza Limousin) quedando luego al mismo nivel de los animales adultos. Este incremento de mioglobina está relacionado al aumento de grasa intramuscular, lo que crearía mayor dificultad de oxigenación (Sañudo, 1998).

En aquellos animales que presentan el mismo estado de maduración o edad fisiológica y un mismo porcentaje de peso vivo adulto la diferencia en pigmentación entre razas es nula.

❖ Tipo de músculo

Entre músculos hay una gran variación en la cantidad y estabilidad del pigmento o de ambos a la vez. El tipo metabólico del músculo es un factor determinante del color. La formación de metamioglobina depende de varios mecanismos: la velocidad de difusión y consumo de oxígeno, autooxidación de la mioglobina y reducción enzimática. La velocidad aumenta con la intensidad del metabolismo oxidativo, por ello el tipo de músculo rojo tiene un color inestable (Sañudo, 1998).

Existe una clara correspondencia en que aquellas canales que son más oscuras, lo sean en todos sus cortes, estableciendo una jerarquía constante entre los diferentes músculos de la canal (semitendinosos más claros, diafragma más oscuro) (Sañudo, 1998).

❖ Color de la grasa

El color de la grasa es uno de los parámetros de importancia para el consumidor. Éste está influenciado por la concentración de pigmentos y la composición química de los distintos ácidos grasos que compongan el depósito de grasa (los depósitos de grasa subcutánea, intermuscular e intramuscular son los relevantes para el consumidor) (Alberti et al., 2005).

Por otro lado Dikeman (1990b), plantea que el color de la grasa varía entre blanco y amarillo, estando afectada por la raza, la alimentación y la edad del animal.

En cuanto al efecto de las dietas sobre el color de la grasa, Bratzler, citado por Monteiro y Peluffo (2001), menciona que las dietas de base forrajeras dan una tonalidad amarilla a la grasa por su alto contenido de carotenos. En cambio en dietas con alto contenido de grano la tonalidad de la grasa es blanca debido al bajo contenido de carotenos.

2.3.3.2 Extrínsecos

✓ Actividad y estrés pre-sacrificio

Una mayor actividad física en el transcurso de la vida del animal exige una oxigenación más alta y más dificultosa y por lo tanto existe una mayor cantidad de pigmentos (Sañudo, 1998).

En animales exhaustos el glucógeno puede estar en niveles muy bajos, por lo que la glucólisis *post mortem* y los valores de pH final respecto a carnes normales serán muy altos. Inicialmente se debe contar con una reserva de glucógeno alta como manera de lograr que el pH baje hasta 5.6 aproximadamente (Lindsay, citado por Mamaqui, 1996).

El color del músculo *post mortem* está asociado con el contenido energético de la dieta, contenido de glucógeno muscular *pre mortem*, descenso de pH muscular *post mortem*, y pH final (Lawrie, citado por Miller et al., 1987), los cuales son afectados por el grado de estrés fisiológico inducido *pre mortem* (Hedrick et al., Mc Veigh y Tarrant, citados por Mamaqui, 1996).

✓ Alimentación *pre mortem*

Con respecto al efecto de las diferentes dietas posibles sobre el color existen distintos postulados de diversos autores. Mancini y Hunt (2005), mencionan que en animales estabulados con dietas a base de concentrados, obtuvieron carne con mayor índice de rojo y mayor estabilidad en el color en comparación con animales a pastoreo. Sin embargo Barriada et al., citados por Mamaqui (1996), no encontró diferencias significativas en terneros con diferentes dietas. Crouse et al. (1983) estudiando dietas sobre novillos arribaron a la conclusión, de que aquellos animales que se alimentaron con pasto presentaron coloración más oscura.

Sin embargo Alberti et al., citados por Mamaqui (1996) no encontraron diferencias en el color de la carne en animales alimentados con dietas forrajeras. El mismo autor tampoco encontró diferencia a nivel muscular (*longissimus dorsi*) con dietas diferentes.

En animales lactantes o alimentados con leche, la falta de Fe⁺ afecta el color de la carne apareciendo más clara (Sañudo, 1998).

Por todo lo antes dicho podemos decir que en conclusión no existe un postulado definitivo sino que hay distintas teorías y todas ayudan a comprender dichas variables de color.

2.3.4 Medición del color

La medición del color se puede llevar adelante mediante diferentes métodos, los cuales pueden ser ordenados en dos grandes grupos: Objetivos (Químicos, Físicos) y Subjetivos (Sensoriales).

2.3.4.1 Métodos subjetivos

- Sensoriales: Se realiza a partir de un panel de consumidores entrenados los cuales a partir de una escala de colores previamente establecida van caracterizando la coloración de los diferentes cortes a evaluar (Schaake et al., citados por Monsón, 2004).

2.3.4.2 Métodos objetivos

A) Químicos

- El método Hornsey, citado por Anton (2005) es un método indirecto simple y rápido que permite determinar el conjunto de hierro de la mioglobina y la hemoglobina (hierro hemínico). Dicho método es el más extendido como determinante de pigmentos hemínicos (Anton, 2005). La hematina de la hemoglobina se extrae con 2-propanona (acetona) y agua, luego se agrega ácido clorhídrico concentrado obteniéndose el clorhidrato de cromatina.
- Cianmetamioglobina: el método convierte los componentes hemínicos en cianmioglobina por distintas cianidas. Este método presenta como gran desventaja el uso de algunos reactivos muy tóxicos.
- El método de alcalina fue desarrollado por Lawrie, citado por Anton (2005) y se basa en el uso de un detergente no iónico.
- El método Nit 409/Tx-114 (Garrido et al., citados por Anton, 2005) para la determinación de los pigmentos totales. Se utiliza nitrito sódico para oxidar los pigmentos junto con otro detergente no iónico, el Triton X-114 que incrementa la absorción de mioglobina. Es un método rápido y preciso sin la necesidad de un equipamiento muy especializado ni de sustancias tóxicas.

B) Físicos

- Refractómetros: se basa en la medición de la luz reflejada a distintas longitudes de onda (1, 2 o 3 longitudes de onda) tras la exposición a un reflectante dado. Dicho método no realiza una medición directa del color sino que ofrece datos para formulas o índices de color.
- Colorímetro: con este método se obtiene la lectura de tres parámetros: L, a, b.
L*:(luminosidad) Es el brillo directamente relacionado a la reflectancia de la luz y su valores van de 0 (negro) a 100 (blanco).
a*:(índice de rojo) Representa las tonalidades de rojo, donde los valores negativos se acercan a el color verde y los positivos a el color rojo.
b*:(índice de amarillo) Mide el grado de amarillamiento donde los valores positivos representan al amarillo y los valores negativos al azul (Castillo, 2004).

Estos parámetros están relacionados al estado físico de la carne, debido al pH final del músculo, la estructura de las fibras musculares, la cantidad y estado químico de

los pigmentos musculares y a la velocidad de instauración del *rigor mortis* (Alberti, citado por Monsón, 2004). A partir de las coordenadas L^* , a^* , b^* se calcula $\text{Croma} = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ y $\text{Tono} = \arctan(b^*/a^*)$ (Alberti et al., 2005).

2.4 TERNEZA

2.4.1 Introducción

La terneza ha sido identificada como el atributo de calidad más importante de la carne (Stiffler et al. 1984, Olsson et al. 1994). Los consumidores de los mercados exigentes consideran a la terneza como el componente individual más importante de la calidad de la carne (Fjellkner-Modig y Rudérus 1983, Teira 2004) como motivo de decisión de compra (Moeller y Courington, citados por Tatum et al., 1999). Ellos tienen capacidad para percibir diferentes niveles de terneza y, en algunos mercados, están dispuestos a pagar un precio mayor por una terneza asegurada (Teira, 2004) y existe una correlación entre el precio del corte y su terneza (Savell y Shackelford, citados por Wulf y Page, 2000).

Una carne bovina de terneza inadecuada o inconsistente es, quizá, la mayor causa de insatisfacción para el consumidor y el mejoramiento de la misma resultaría en un producto de mayor valor (Teira, 2004).

Mientras el color es importante para la decisión inicial de compra, la palatabilidad o calidad de consumo del producto determina la decisión de reiteración de compra. La palatabilidad de los productos cárnicos son generalmente descritos por el flavor (olor + sabor), jugosidad y terneza, donde muchas investigaciones sugieren que la terneza es la más importante de las características (Pringle, 2000).

Brown et al., citados por Monsón (2004) mencionan que el flavor y la terneza son considerados, por los consumidores, como los elementos más importantes en la calidad sensorial.

Por otro lado, se encuentra que los principales problemas a nivel de la industria cárnica son la variabilidad y la falta de consistencia de la terneza (Morgan et al., citados por Geesink et al., 2000). A su vez, la inconsistencia en la terneza de la carne se debe a que ésta es el resultado de la combinación de factores inherentes al animal, al manejo *pre* y *post mortem* así como de elaboración del corte de carne y por otro lado la incapacidad de identificar aquellas reses que poseen carne más dura y clasificarlas concordantemente (Koochmaraie et al., citados por Teira, 2004).

Lawrie, citado por Monsón (2004) sostiene que la sensación de terneza se debe a la facilidad con que los dientes penetran en la carne y a la facilidad con que la carne se divide en fragmentos. Weir, citado por Mamaqui (1996), Sañudo (1998) consideran a la

terneza como la facilidad de penetración, facilidad de fragmentación y cantidad de residuo que queda en la boca luego de la masticación.

La terneza puede ser definida como la propiedad sensorial de los alimentos que es detectada a través de los sentidos de la vista, el tacto y el oído, manifestándose cuando el alimento sufre una deformación (Monsón, 2004). La terneza es, por otro lado, una cualidad fundamental de la carne, pues es requerido un mínimo de terneza para que puedan ser percibidos otros atributos sensoriales de la misma (Sañudo, 1998).

La terneza está determinada por factores intrínsecos y las diferencias en terneza de la carne son relacionadas con diferencias en 1) la cantidad de tejido conectivo dentro del músculo, 2) la formación de puentes cruzados de colágeno en el componente de tejido conectivo muscular, 3) el estado contráctil de las miofibrillas en el músculo cuando los enlaces de rigor son formados, 4) la cantidad y distribución de marmoreo dentro del músculo, y 5) la magnitud de la proteólisis muscular *post mortem* que ocurre en el músculo durante el proceso de maduración (Smith, citado por Tatum et al., 1999). Bailey y Robins, citados por Mamaqui (1996) opinaban que la dureza depende principalmente de la cantidad de tejido conectivo de la carne y de la estabilidad de los puentes de unión entre las diversas moléculas de colágeno, así como del grado de acortamiento del sarcómero.

La información existente muestra que para animales con menos de 24 meses de edad, la degradación de las fibras musculares explicaría el 55% de la variación de la terneza, seguido en importancia por la contracción de las fibras musculares que explicaría un 25%, y el restante 20% por el tejido conectivo y la grasa intramuscular (Brito et al., 2002).

2.4.2 Factores intrínsecos que determinan la terneza

2.4.2.1 Degradación de las fibras musculares

La degradación de las fibras musculares ocurre durante la maduración, proceso que sufre la carne cuando es almacenada *post rigor*, resultando en el ablandamiento de la misma (Warriss, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002). Diversos autores (Monin 1991, Dransfield 1994, Koohmaraie et al. 1994, Bickerstaffe 1996, Tarrant, citado por Monteiro y Peluffo 2001), mencionan que existe un aumento en la terneza en el transcurso de la maduración de la carne y es asumido que la proteólisis es en parte responsable de dicho aumento (Koohmaraie, citado por Boehm et al., 1998).

La maduración comienza cuando el músculo entra en rigor y se liberan los iones Ca^{2+} del retículo sarcoplásmico. Cuando la concentración de ión Ca^{2+} alcanza un nivel elevado, se activa un complejo enzimático calcio-dependiente que actúa en los extremos

del sarcómero provocando debilitamiento (Penny, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002)

El sistema calpaínas está compuesto por enzimas calcio dependientes, la μ -calpaína con bajo requerimiento de Ca^{2+} , la m-calpaína con alto requerimiento de Ca^{2+} , y su inhibidor, la calpastatina (Dransfield 1994, Teira 2004). Las calpaínas son activadas por la liberación de los iones Ca^{2+} desde el retículo sarcoplásmico y tienen actividad máxima en condiciones neutrales a alcalinas. El efecto de la temperatura sobre la actividad de las calpaínas es particularmente importante, ya que en el rango de 0 a 40°C la tasa de actividad aumenta más del doble por cada incremento de 10°C (Warriss, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002).

El ablandamiento comienza cuando la μ -calpaína es activada, normalmente a pH alrededor de 6.3 (aproximadamente 6 horas post faena), y aumenta rápidamente en la medida en que más calpaína es activada. Alrededor de las 16 horas *post mortem*, la m-calpaína comienza a ser activa y causa un mayor ablandamiento (Dransfield, 1994). El mismo autor demostró que el 50 % del ablandamiento del *Longissimus dorsi* vacuno ocurre antes de las 24 horas, y es causado principalmente por la μ -calpaína.

La actividad de las calpaínas y de la calpastatina varía durante el almacenamiento *post mortem* a temperaturas de refrigeración (2 a 4°C), como se puede observar en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Cambios en la actividad del sistema calcio dependiente durante el almacenamiento *post mortem*.

	μ -calpaína	m-calpaína	calpastatina
Día 0	100%	100%	100%
Día 1	20%	83%	17-67%
Día 7	4%	63%	15-38%

Fuente: Boehm et al. (1998).

Los niveles de calpastatina varían considerablemente entre especies (Koohmaraie et al., 1991), razas (Shackelford et al. 1994b, Teira 2004), y músculos (Geesink y Koohmaraie, 1999). Existe una relación inversa entre la actividad calpastatínica y la terneza en la carne (Koohmaraie, Woodward et al., citados por Odeh, 2003).

El 90% ó más del ablandamiento proteolítico que ocurre durante los primeros 7 a 10 días de almacenamiento *post mortem* a 2-4°C, puede ser atribuido a las calpaínas (Goll et al., citados por Boehm et al., 1998).

2.4.2.2 Estado de contracción del músculo (longitud del sarcómero)

Hay estudios que demuestran que el incremento de la dureza está asociado con la disminución de la longitud del sarcómero (Davis et al., citados por Koohmaraie, 1996a) y otros que no sostienen tal relación (Shackelford et al., 1994a).

Wheeler y Koohmaraie, citados por Koohmaraie (1996a), proponen que el acortamiento del sarcómero durante el desarrollo del rigor mortis es la causa del aumento de la dureza del *Longissimus dorsi* desde 0 a 24 horas *post mortem*.

La consistencia de la carne depende también en gran medida del estado de contracción final de las miofibrillas durante el periodo de instauración del *rigor mortis*. Sink et al., citados por Mamaqui (1996), encontraron un alto coeficiente de correlación entre la longitud del sarcómero y el tiempo transcurrido hasta la aparición del *rigor mortis*. Cuanto más contracción menos tiempo.

Al momento del rigor, el músculo puede estar contraído, relajado o estirado. Esta gran variabilidad en la longitud bruta se refleja en la longitud del sarcómero. Los músculos de una canal entran en rigor en estados totalmente diferentes. Existen varios factores que expliquen esto, pero depende en gran parte de que postura adoptó durante el colgado (Locker, 1989). El reducido acortamiento del *Longissimus dorsi* y su mayor terneza al cocinarlo se observó cuando las canales se suspendían por la pelvis en lugar que por el tendón de Aquiles (Lawrie, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002).

Si los músculos son prevenidos físicamente del acortamiento luego de la faena hasta que entran en rigor, el largo de sarcómero y la terneza se mantienen constantes (Koohmaraie et al., 1996b), esto ilustra la importancia fundamental del largo de sarcómero sobre la terneza de la carne.

2.4.2.3 Tejido conjuntivo

Su función en la terneza de la carne está determinada fundamentalmente por el colágeno, que es una proteína mayoritaria dentro del tejido y que está presente en el músculo rodeando a cada fibra muscular, a cada haz de fibras y al conjunto del músculo (Mamaqui, 1996).

La importancia del colágeno depende tanto de su cantidad como de su solubilidad y organización espacial (Nakamura et al., citados por Monsón, 2004). Así cuando aumenta la cantidad de colágeno disminuye la terneza de la carne, pero para una misma cantidad de colágeno, cuando el grado de polimerización aumenta, es decir, disminuye su solubilidad se produce una reducción notoria de la terneza (Tornberg, 1996).

A su vez, la variación en el contenido de colágeno es más importante entre músculos de un mismo animal que entre individuos (Barriada, citado por Monteiro y Peluffo, 2001) y sexo (Monin y Ouali, citados por Jiménez de Aréchaga et al., 2002). En cuanto a su solubilidad la variación se debe al individuo, edad y sexo, no teniendo significancia el tipo de músculo. También expresa que la solubilidad del colágeno varía a lo largo de la vida del animal, no así el contenido total de colágeno, teniendo implicancias en la futura terneza de la carne (Barriada, citado por Monteiro y Peluffo 2001, Monin y Ouali, citados por Jiménez de Aréchaga et al. 2002)

La cantidad de colágeno soluble es de 19-24% en terneros, 7-8% en novillos de 2 años y 2-3% en las vacas viejas (Lawrie, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002). En animales viejos, varios autores (Carmichael y Lawrie, citados por Purchas 1990, Teira 2004) concluyen que el colágeno tiene una mayor contribución en la variación de la terneza, lo que se traduce en una menor solubilidad del colágeno y mayor resistencia a la masticación.

La solubilidad del colágeno es también afectada por la alimentación y la ganancia diaria (Aberle et al., citados por Boleman et al., 1996). Los animales alimentados con dietas de alta energía experimentan elevadas tasas de síntesis proteica, lo que resulta en un incremento de la proporción de colágeno soluble en la carne (Miller et al., 1987).

Takahashi (1996), afirma que la tiernización de la carne ocurre en 2 pasos: una fase rápida y una fase lenta siguiente. Los rápidos incrementos en terneza son debidos esencialmente al debilitamiento estructural de las miofibrillas y el proceso lento parecería ser causado principalmente por el debilitamiento estructural del tejido conectivo intramuscular (Liu et al. 1995, Nishimura et al. 1996).

2.4.2.4 Grasa intramuscular

La cantidad de grasa intramuscular influye en la apariencia física de la carne; subjetivamente se valora como el grado de veteado o marmoreo de la carne que condiciona la elección del comprador (Jones y Tatum 1994, Barriada, citado por Jiménez de Aréchaga et al. 2002). Koch et al., Nakajima et al., citados por Monsón (2004) sostienen que la presencia de grasa intramuscular proporcionaría a los consumidores un incremento notable en la sensación de terneza.

Entre un 3 y un 5% de lípidos intramusculares son necesarios para incidir directamente en las características organolépticas para una deseable terneza, jugosidad y sabor. Cuando la carne se calienta, los lípidos ayudan a solubilizar el colágeno, retener jugosidad y proveer un efecto lubricante durante la masticación (Dikeman, 1990b). A su vez, Lawrie, citado por Monsón (2004) señala que una mayor cantidad de grasa

intramuscular ejerce un efecto de dilución del tejido conectivo, proporcionando carnes con un mayor grado de terniza.

Varios investigadores han reportado que, una alta proporción de cortes con bajo veteado eran menos tiernos que aquellos que tenían un veteado medio a alto (Koohmaraie et al., 1994). Al respecto, Gregory et al. (1994) concluyeron que incrementos en el marmoreo están asociados con menores valores de fuerza de corte y obtuvieron una alta correlación (-0.80), trabajando con novillos de razas continentales y británicas, faenados al año de edad.

Barriada, citado por Monteiro y Peluffo (2001), señala una relación positiva de la terniza con la cantidad de grasa intramuscular, aún cuando la variación que explica éste factor no sea muy alta. Al respecto hay varios trabajos que indican que el marmoreo explica una variación que va desde 5% (Wheeler et al., 1994a), 10% (Koohmaraie et al. 1994, Nishimura et al. 1999) hasta 15-30% (Bertrand et al., citados por Pringle, 2000) de la terniza de la carne.

La grasa intramuscular varía con el sexo, edad, raza y alimentación. En cuanto al sexo, las hembras se engrasan más rápido que los machos castrados y éstos más que los enteros (Conrad et al., citados por Mamaqui, 1996). La grasa intramuscular parece incrementarse al aumentar la edad (Lawrie, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002) y es influenciada por la raza (Scarth et al., García de Siles, citados por Mamaqui, 1996). Un aumento en el contenido de energía del alimento, sobre todo con ración, logra un veteado más abundante (Monin, citado por Sañudo, 1998).

Estos factores intrínsecos que determinan la terniza son afectados por variables que ocurren a nivel productivo, *pre* y *post* faena. La literatura internacional, demuestra que la determinación de la terniza depende aproximadamente en un 40% por variables controladas a nivel de productor, mientras que el restante 60% es determinado por variables *pre* y *post* faena. (Koohmaraie et al., citados por Jiménez de Aréchaga et al., 2002).

2.4.3 Evaluación de la terniza

La terniza de carnes para consumo, al igual que otras características organolépticas de los alimentos, puede ser evaluada a través de métodos subjetivos u objetivos.

Algunos de los métodos **objetivos** son los siguientes:

- Instrumento de cizalla Warner-Bratzler (WB). Es el instrumento más usado en la medida objetiva de la dureza de la carne, mide la fuerza necesaria para cizallar y cortar una muestra cilíndrica de carne de 1 mm de espesor, en libras o

kilogramos. A mayor valor de la fuerza, mayor dureza de la carne (Szczesniak y Torgeson, citados por Cross, 1994). Los factores que afectan a la exactitud de este instrumento son: la intensidad del tratamiento de cocinado, la uniformidad de la muestra de carne, la dirección de las fibras musculares, la cantidad de tejido conectivo y grasa, la temperatura de la muestra y la velocidad de corte (Bratzler, citado por Cross, 1994). El método de WB posee una alta fiabilidad, y es utilizado de referencia en estudios comparativos entre medidas instrumentales y sensoriales (Purslow, citado por Monsón, 2004). Según Bouton et al., citados por Monsón (2004), más del 75% de la variación en ternera valorada sensorialmente puede ser explicada por el test WB. En cuanto al valor de fuerza de corte aceptable, hay valores contradictorios. Miller et al., citados por Franco et al. (2001), toman como valor aceptable 4.5 KgF. A su vez, Bratzler, citado por Monteiro y Peluffo (2001), indica que carnes que presenten valores de fuerza de corte menores a 6 KgF, se consideran como tiernas, entre 6 y 8 KgF como duras y mayores a 8 KgF muy duras. La aceptación por parte de los consumidores ocurre en cortes que presentan valores de fuerza de corte menores a 4.3 KgF y a valores menores a 3 KgF el 100% de los consumidores se encuentran satisfechos (Olson, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002, ver Cuadro 3).

Cuadro 3. Relación entre la fuerza de corte y la satisfacción del consumidor.

% de consumidores satisfechos	Fuerza de corte (KgF)
100	< 3.0
99	3.0 – 3.4
94	3.1 – 4.0
86	4.0 – 4.3
25	> 5.0

Fuente: Olson, adaptado por Jiménez de Aréchaga et al. (2002).

- Métodos de compresión. Se desarrollaron simulando la masticación, generalmente son empleados para determinar en qué medida los distintos componentes de la carne contribuyen a la expresión de la ternera, mediante el comportamiento que presentan frente a fuerzas de compresión de diversa magnitud (Honikel, citado por Monsón, 2004).
- Determinación química del colágeno. Mitchel et al., citados por Cross (1994), elaboraron un método con este propósito gelatinizando el colágeno. A su vez, Ritchey y Cover, citado por Cross (1994), demostraron que el contenido de hidroxiprolina (que representa alrededor del 13% del contenido aminoacídico de la molécula de colágeno) era una medida adecuada de la cantidad de colágeno presente.

- Medida de la longitud del sarcómero. Varios autores (Locker, Smith et al., citados por Cross, 1994) han utilizado la longitud del sarcómero como medida del acortamiento muscular y de la dureza.
- Determinación del índice de fragmentación miofibrilar. Se deriva de procedimientos que miden la fuerza de ruptura del tejido muscular (Reagan et al., Olson et al., Davis et al., citados por Cross, 1994). Refleja el grado de proteólisis que sufren las miofibrillas debido a la maduración (Monsón, 2004).

Para el caso de la evaluación **subjetiva**, estos son métodos de panel y se clasifican en dos tipos:

- ❖ Sintéticos (de consumidores). Miden las reacciones del consumidor frente a un producto particular en términos de aceptación o preferencia. Generalmente el método consiste en un panel de 100-300 miembros, que se eligen al azar de la población a estudiar y no reciben ningún tipo de entrenamiento formal previo. El objetivo de este método es determinar el éxito de un producto en el mercado (Cross, 1994). Las preferencias del consumidor son expresión de la herencia, la edad, el medio ambiente y el estado psicológico, pero son modificados por la educación, los hábitos alimenticios familiares, la nacionalidad, el sexo, la edad, la renta, la disponibilidad y precio del alimento y la frecuencia de uso (Cross, 1994).
- ❖ Analíticos (entrenados). Los paneles sensoriales analíticos se usan para medir diferencias e intensidades de atributos bajo condiciones laborales controladas. Consiste en un panel laboral, donde los integrantes del panel son entrevistados, seleccionados, entrenados y examinados. El panelista funciona como una máquina de ensayo humana, estimando su impresión objetiva de un atributo en relación a un estándar calibrado por parejas de muestras de referencia (Cross, 1994). Las pruebas descriptivas valoran las propiedades organolépticas de un producto utilizando términos seleccionados de un glosario previamente establecido. Asimismo los atributos que de forma separada contribuyen a la sensación global de la muestra son evaluados en una escala de intensidad y los resultados determinan el perfil sensorial del producto (Monsón, 2004).

Estos son un sistema ampliamente utilizado por la industria e investigadores pues entregan resultados confiables y que concuerdan muy bien con la realidad. Y, principalmente, da una idea adecuada sobre la aceptación global que el alimento tendrá cuando llegue a manos del consumidor (Teira, 2004).

2.4.4 Factores que afectan la ternera

2.4.4.1 Variables a nivel predial (factores productivos)

- Raza.

Numerosos estudios indican que la carne proveniente de ganado *Bos indicus* son menos tiernas que aquella proveniente de *Bos taurus* (Knapp et al. 1989, Wheeler et al. 1994a, Dransfield 1994, Teira 2004). Diversos autores indican que la menor ternera de la carne de *Bos indicus* sería atribuible a una menor proteólisis, resultado de una elevada actividad de la calpastatina que provoca un efecto depresivo sobre las calpaínas, responsables del ablandamiento de la carne *post mortem* (Whipple et al., 1990).

En este sentido, Franco et al. (2002), encontraron que para un mismo valor de fuerza de corte WB, éste fue logrado por genotipos británicos a los 7 días de maduración, mientras que genotipos cruce británicos-índicos, obtuvieron el mismo valor pero en 14 días de maduración. Esto concuerda con lo establecido por Ciria et al., Vieira et al., citados por Monsón (2004), donde consideran que la carne de razas rústicas requiere un tiempo más prolongado de maduración que la carne de animales de aptitud carnicera.

A la hora de comparar la ternera entre razas carniceras y lecheras, varios autores (Thonney et al. 1991, Ramsey et al., citados por Mamaqui 1996) encontraron que la carne procedente de animales de aptitud láctea resultó menos tierna que la de los animales de aptitud cárnica. Quizás esto es debido a que en los primeros el contenido de colágeno es mayor y la proporción de solubilidad es menor. Además, la precocidad de las razas, es uno de los factores que provoca diferencias en la ternera de la carne, debido principalmente a los distintos grados de engrasamiento (Thonney et al. 1991, Wheeler et al., citados por Barriada 1995) teniendo las canales de mayor engrasamiento mayor ternera (Barriada, 1995) y a la naturaleza del tejido conjuntivo (Thonney et al., 1991).

Así mismo, varios autores (Dransfield 1994, Gregory et al. 1994, Sañudo 1998), encontraron que las razas británicas son más tiernas que las continentales, debido a su mayor engrasamiento subcutáneo que previene el acortamiento por frío, así como una mayor deposición de grasa intramuscular que incrementa la jugosidad y la ternera.

En cuanto a genotipos Doble Musculados, son las que obtienen un mayor grado de ternera, debido posiblemente al mayor porcentaje de fibras blancas (Uytterhaegen et al. 1994, Shackelford et al., citados por Barriada 1995), por el mayor tamaño de sus fibras y a modificaciones internas de la estructura del colágeno, menos contenido y mayor solubilidad (Bailey et al., Bocard, Sañudo et al., Ngapo et al., citados por Monsón, 2004).

- Sexo

Machos enteros generalmente produce carne menos tierna que novillos (Seideman et al., 1982) porque 1) elevados niveles de testosterona sérica, coincidiendo con el desarrollo sexual a los 8 a 14 meses de edad, son asociados con un concomitante aumento en el contenido de colágeno intramuscular (Bocard et al., Cross et al., citados por Tatum et al., 1999) por lo que la castración debe ser lo más temprana posible antes de los 7 meses de edad (Tatum et al., 1999) y 2) la alta actividad calpastatínica en la musculatura del toro causa que sus cortes maduren más despacio que los cortes provenientes de novillos (Seideman et al., 1982). Por otro lado, Shackelford et al., citados por Barriada (1995), encuentran diferencias significativas en la terneza de machos castrados y enteros, siendo más dura la de enteros, sin que estas diferencias parezcan explicarse por el tipo de fibras ni por el contenido de colágeno muscular, total o soluble.

La terneza es menor en machos enteros, que en machos castrados, registrándose los mayores valores en las hembras, debido a que las hembras presentan en general mayores niveles de engrasamiento que los machos castrados y éstos mayor que los machos enteros (Seideman et al. 1982, Purchas, Monin, Barriada, citados por Monteiro y Peluffo 2001)

- Edad

Hay varios estudios sobre la influencia que ejerce la edad sobre la terneza de la carne, indicando que ésta disminuye conforme aumenta la edad del animal (Monin 1991, Mamaqui 1996, Lawrence et al. 2001).

Como se sabe, el tejido conjuntivo influye sobre la terneza de la carne y ésta influencia viene determinada fundamentalmente por el colágeno. Con el tiempo, el contenido de colágeno muscular aumenta hasta llegar un momento en que permanece prácticamente constante. Así el contenido en colágeno varía bastante poco con la edad de los animales (Dikeman et al., 1990a), por el contrario su estado de reticulación aumenta durante el crecimiento, lo cual confiere insolubilidad a la proteína colágeno (Robins et al., citados por Mamaqui 1996, Cross et al., citados por Monteiro y Peluffo 2001), haciéndose las fibras colágenas más robustas, y por lo tanto la carne más dura (Sañudo, 1998).

El efecto de la edad sobre el endurecimiento de la carne puede verse modificado por el engrasamiento de la canal. Se ha visto que el engrasamiento, tanto a nivel subcutáneo (Seideman et al., 1982) como intramuscular (Murray et al., citados por Barriada, 1995), disminuye la dureza de la carne.

- **Peso de faena**

Al aumentar el peso de faena aumenta el engrasamiento, pero su importancia dependerá de la raza y de su estado de desarrollo. Su efecto sobre la dureza no está claro, señalando algunos autores una menor dureza de la carne al aumentar el peso de faena (Barriada, 1995). Sents et al., citados por Sañudo (1998), trabajando con ovinos encontró que la ternera disminuyó al aumentar el peso de sacrificio.

Los cambios en calidad que ocurren con el aumento de peso son claros cuando se consideran un amplio rango de pesos, pero no en rangos estrechos donde pueden estar influyendo factores *pre* y *post* faena (Purchas, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002).

- **Alimentación**

La nutrición influye sobre la ternera de la carne en menor medida que otros factores, como la edad o el tipo genético del animal (Mamaqui, 1996).

El aumento del nivel energético conduce a una mejora de la ternera de la carne y podría estar relacionada con el estado de engrasamiento y veteado (Mamaqui, 1996).

Un alto plano nutricional y un rápido crecimiento provocan un alto índice de síntesis de colágeno. El nuevo colágeno sintetizado diluye el antiguo colágeno estable al calor haciéndolo en promedio más estable (Mc. Cormick, citado por Monteiro y Peluffo, 2001), resultando en un músculo con mayor ternera.

Igualmente un aumento de la energía aumentará el estado de engrasamiento y el peso de canal, ambos factores reducen los problemas de acortamiento por el frío por lo que son beneficiosos para la ternera (Monin, 1991).

A su vez, Boccard et al., citados por Mamaqui (1996) establecen que la restricción alimenticia se traduce en un incremento de la tasa de colágeno insoluble y por tanto del endurecimiento muscular.

Por otro lado, Sully y Morgan, citados por Barriada (1995) sostienen que ni el tipo ni el nivel de alimentación parecen tener un efecto importante sobre la ternera de la carne, en cambio, la duración del período de terminación si mejora la ternera (Shackelford et al., citados por Barriada, 1995). En este sentido, Tatum et al. (1999) establecen un periodo de alrededor de 100 días de suplementación para alcanzar máximos niveles de ternera.

2.4.4.2 Factores *pre* faena (relacionados al manejo)

Conocer el pH y su importancia para la calidad de la carne, es una herramienta que hoy en día es empleada por todo establecimiento moderno y responsable de la calidad de sus productos. El hecho de que el pH sea uno de los indicadores más importantes de la calidad de la carne (Hofmann, citado por Dikeman, 1990b), se manifiesta por las estrechas relaciones que existen entre el pH por un lado y la luminosidad del color, la fijación de agua y el contenido de ATP, glucógeno y lactato por otro (Mamaqui, 1996).

En el animal vivo el pH del músculo se aleja muy poco de la neutralidad. Después del sacrificio, debido a la imposibilidad de la sangre para transportar oxígeno hasta los tejidos, el metabolismo muscular se ve obligado a trabajar en anaerobiosis para regenerar a partir de glucógeno el ATP. Por consiguiente el pH desciende gradualmente desde el pH inicial hasta valores de 5.5-5.7 entre los 12-14 horas *post* faena, descendiendo más tarde ligeramente hasta las 24 horas *post mortem*, período en el que alcanza el pH final (Mamaqui, 1996).

Numerosas investigaciones indican que la relación entre el pH final y la dureza de la carne es curvilínea, con máximos niveles de dureza a niveles intermedios de pH final 5.8-6.2 (Bouton et al., Purchas, Jeremiah et al., Devine et al., Purchas y Aungsupakorn, Watanabe et al., citados por Purchas, 2004).

Varios autores (Dikeman 1990b, Mamaqui 1996, Hood y Tarrant, citado por Gallo 2004) mencionan que el estrés crónico *pre* faena en animales provoca consumo excesivo de glucógeno muscular, minimizando la formación de ácido láctico en el músculo *post mortem* e impidiendo con ello la caída natural del pH (Widebeck, Wiklund, citado por Carduz, 1996). Las bajas cantidades de glucógeno son responsables del elevado pH final y de la incapacidad de los tejidos, debido a que las fibras están más juntas, para tomar suficiente oxígeno para formar el pigmento rojo brillante, la oximioglobina (Pearson 1994, Widebeck, citado por Carduz 1996). La carne con esas características tendrán un color muy oscuro, serán firmes y secos después de la cocción, anomalía que en el bovino se conoce como “corte oscuro” (DFD por sus siglas en inglés) (Lawrie, citado por Mamaqui 1996, Hood y Tarrant, citado por Gallo 2004).

Este parámetro influye sobre el proceso biológico de la transformación del músculo en carne y las características organolépticas y tecnológicas de la carne. Quizás el más importante de todos ellos sea el hecho de que la flora microbiana (bacterias anaeróbicas) contaminante de la carne, crece con mucha más facilidad cuando las condiciones de pH se aproximan a la neutralidad, reduciendo la vida útil en este tipo de carne (Widebeck, Franc et al., citados por Carduz 1996, Mamaqui 1996).

Otras investigaciones indican que la alimentación y el periodo de terminación *pre* faena, incide en la ocurrencia de cortes oscuros (Murray, citado por Carduz, 1996). En este sentido, Miller et al. (1987), trabajando con toros y diferentes dietas (210 días con concentrados vs 110 días de pasturas + 180 días con concentrados) concluyen que el incremento en el contenido de glucógeno parece ser dependiente de la edad y/o del mayor periodo de alimentación. Los resultados indicaron que dietas con alta energía, disminuyó las reservas de glucógeno, causando cortes oscuros.

- Estrés

La exposición de los animales a varias condiciones adversas a la vez, tales como falta de alimento o agua, peligro, hambre, mezcla de animales de diferente procedencia, ambiente molesto, fatiga, calor, frío, luz, restricciones de espacio y otras, condicionan en los animales un estado de estrés (Forrest et al., citados por Gallo, 2004) y junto con el tipo de transporte y una posible incidencia de estrés social, influirán en los pH finales alcanzados y su velocidad de caída (Warriss, citado por Sañudo, 1998).

El efecto que tiene la privación de alimento en bovinos difiere según su duración (horas) y según vaya o no acompañada de transporte. En este sentido, Tadich et al., citados por Gallo (2004), en un experimento con novillos observaron que el transporte tiene un efecto adicional por sobre el de la privación de alimento en corrales, que refleja un mayor estrés. A su vez, Gallo y Lizondo, citados por Gallo (2004), en un experimento realizado en Chile, con novillos con distintos tiempos de reposo (3 a 24 horas), después de un transporte corto (3 horas) o largo (16 horas), concluyen que sin importar la duración del transporte, cuanto mayor fue el tiempo de reposo, mayor cantidad de cortes oscuros hubieron, relacionado directamente con una disminución de los niveles de glucógeno muscular y hepático.

La presencia de cortes oscuros debido al estrés causado por transporte y ayuno, también fue encontrado por Dutson et al. (1982), trabajando con vaquillonas. Otras investigaciones a nivel nacional (Oyharzabal y Pioli, 2005), también trabajando con vaquillonas y diferentes tiempos de transporte y ayuno, no encontraron presencia de cortes oscuros.

Tarrant, citado por Pearson (1994) registró una incidencia de la carne de vacuno de corte oscuro en un 1-5 % en novillos y vaquillonas, 6-10% en vacas y un 11-15% en toros jóvenes. En este sentido, Seideman et al. (1982), Field, citado por Crouse et al. (1983), sugieren que debido a su temperamento, los toros pueden ser más fácilmente estresados que novillos, resultando en carne más oscura debido a bajas cantidades de glucógeno. Lo mismo fue registrado por Fjelkner-Modig y Rudérus (1983), trabajando con toros de diferente procedencia, observaron cortes oscuros debidos en parte al estrés

social, ya que las instalaciones del frigorífico no tenían techo y fue posible apreciar montas entre ellos.

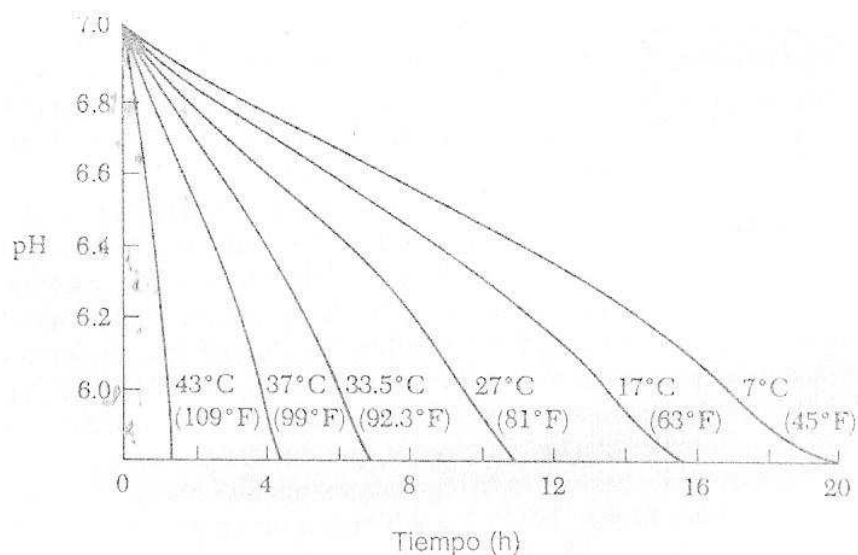
A nivel nacional, los cortes oscuros tienen una incidencia de un 26%, representan un 44% de las pérdidas de valor por diferentes defectos en los animales faenados. En este sentido, la Auditoria de Calidad de Carne Vacuna registró una pérdida de 14.48 U\$S/animal (INAC, 2003).

2.4.4.3 Factores *post* faena

- Tasa de descenso de pH y temperatura

Dos tasas variables tempranas *post mortem* (tasa de enfriado y tasa de glicólisis) interactúan para afectar la terneza de la carne, y ambas están sujetas a procesos de control (Lee 1986, Marsh et al. 1987, Geesink et al. 1995). La información existente sugiere que manejos tempranos de condiciones *post mortem* requieren consideraciones simultáneas de ambas, tasa de enfriado y tasa glicolítica, para producir efectos deseados en la terneza (Tatum et al., 1999).

Figura 2. Efecto de la temperatura ambiental sobre la velocidad de caída del pH *post mortem* en músculo *longissimus dorsi* de vacuno.



Fuente: Marsh, adaptado de Pearson (1994)

Se ha demostrado que la temperatura ejerce un importante efecto sobre la velocidad de la caída del pH *post mortem* (Bate-Smith y Bendall, Marsh, citados por Pearson, 1994). Como se muestra en la Figura 2, la velocidad de caída del pH se

relaciona estrechamente con la temperatura del músculo poco después del sacrificio, acelerándose ésta a temperaturas altas y frenándose a bajas (Marsh, citado por Pearson, 1994). Debido a que la actividad de las enzimas glicolíticas es dependiente de la temperatura, las diferentes tasas de enfriamiento pueden afectar la tasa de descenso de pH a través de la producción de ácido láctico, desaparición de Creatina Fosfato y ATP y por lo tanto la velocidad con que se instale el *rigor mortis* (Warriss, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002). Como se ha mencionado anteriormente, altas temperaturas, si bien logran carnes más tiernas en menor tiempo, traen aparejados problemas en la calidad de la carne, sobre todo a nivel de calidad microbiológica.

Muchas investigaciones han sugerido que hay una tasa óptima de descenso de pH. En este sentido, Marsh et al., citados por Kastner et al. (1993), recomiendan una tasa de glicólisis intermedia (pH a las 3 horas de 6.1) para producir carne más tierna, en comparación a tasas más rápidas o más lentas.

La diferencia en las tasas de enfriamiento de las canales que afectan las tasas de glicólisis, puede ser atribuida a diferencias en el tamaño de la canal, en la cobertura de grasa subcutánea y en la circulación del aire a través de la superficie. El espesor de grasa subcutánea es un excelente aislante debido a que su conductividad térmica es menor a la del músculo o hueso y juega un papel importante en mantener la temperatura del músculo en la fase temprana *post mortem* (Warriss, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002).

En cuanto a las condiciones de enfriamiento, la temperatura ideal para el establecimiento del rigor mortis se sitúa entre 14 y 20°C, manteniendo la canal por encima de 10-12°C durante las primeras 10-12 horas sería un método de prevenir el “acortamiento por frío” (Sañudo 1998, Felicio y Silva, citados por Teira 2004).

Disminución en la terneza ha sido asociada con el “acortamiento por frío” (Marsh et al., citados por Crouse et al., 1983) en respuesta a una rápida tasa de enfriamiento de la carcasa. Varios autores (Locker y Hagyard, citados por Olsson et al. 1994, Hedrick et al., citados por Teira 2004) ubican a la región de acortamiento por debajo de los 14-15°C antes de iniciarse el *rigor mortis*. Por otro lado, Dransfield (1994) establece que el “acortamiento por frío” ocurre en músculos enfriados por debajo de los 10°C mientras el pH está por encima de 6.2. A su vez, Chrystall, citado por Kastner et al. (1993) establece que el pH 6.0 es crítico ya que por encima de dicho valor, hay mayores chances para el “acortamiento por frío”.

Concordantemente, el detonante fundamental del “acortamiento por frío” es la exposición del músculo rojo en *pre rigor* a temperaturas frías (menos de 10°C), lo que causa la salida de iones Ca^{2+} desde la mitocondria y el retículo sarcoplásmico hacia el espacio intracelular (Buege y Marsh, citados por Pearson, 1994). Estos iones calcio inducen la interacción entre la miosina y la actina causando la contracción y el

acortamiento. La caída en el pH que generalmente ocurre tras la muerte reduce además la capacidad del retículo sarcoplásmico y la mitocondria para unir Ca^{2+} , causando la liberación grandes cantidades de iones calcio y colaborando con el acortamiento (Kanda et al., Cornforth et al., citados por Pearson 1994, Hedrick et al., citados por Teira 2004).

El problema adquiere mayor relevancia cuando se trabaja con animales de menor cobertura de grasa (toros principalmente) ya que, como se vio anteriormente, ésta actúa como medio aislante disminuyendo la velocidad de transferencia de calor (Field, citado por Crouse et al., 1983).

Por otro lado existe la ocurrencia de acortamiento por calor, que es cuando el pH desciende muy rápido y el músculo alcanza su pH final cuando la temperatura todavía es alta (Meat Standards Australia, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002).

- Colgado de la canal (Tenderstretching) y Tendercut

Tradicionalmente, las reses son colgadas, por el tendón de Aquiles. Aquí la columna vertebral está curvada y la mayoría de los músculos del cuarto trasero sufren una menor tensión sobre ellos. Como resultado, cuando estos músculos alcanzan el rigor mortis pueden contraerse, más o menos, libremente. De este modo, las fibras musculares se sobrepone resultando en una carne levemente más dura (Teira, 2004). Un método alternativo de colgado es el llamado Tenderstretching, introducido por Hostetler, Landmann, Link y Fitzhugh, citados por Sorheim y Hildrum (2002), que significa colgar a la res por el hueso pélvico o a través del ligamento sacro-ilíaco, quedando la pierna formando un ángulo de 90° respecto del cuerpo. Ello implica que muchos músculos permanecen en una posición de estiramiento y no podrán contraerse durante el *rigor mortis*.

Está comprobado un mejoramiento de la mayoría de los cortes del cuarto trasero con la excepción del lomo (*Psoas major*) y del peceto (*semitendinosus*) (Hostetler et al., Smith et al., Boston et al., Joseph y Connolly, citados por Sorheim y Hildrum 2002, Teira 2004), ya que ambos permanecen sometidos a estiramiento cuando las reses están colgadas de forma tradicional. Otros estudios (Sorheim et al., 2001), confirman la ventaja del método al obtener carne más tierna en condiciones de enfriado rápido de la canal. Otra de las ventajas es que el método dio valores de terneza, en carne no madurada, equivalente a los obtenidos con 14 días de maduración (O'Halloran et al., 1998) y 21 días de maduración (Boston et al., citados por Sorheim y Hildrum, 2002), obtenidos por el método tradicional de colgado.

El Tendercut, un nuevo método para el estiramiento de los músculos, fue introducido por Wang, Claus y Marriot, citados por Sorheim y Hildrum (2002). En este método, mientras la res está colgada por el método tradicional, el tejido adiposo, tejido

conectivo y el mismo hueso son cortados en determinadas regiones (12^a-13^a vértebra torácica y en la 4^a-5^a vértebra sacra cortando el hueso pélvico), durante el *pre rigor*, para permitir que el peso de la res debajo de los cortes produzca el estiramiento de los músculos de mayor importancia comercial. Con esta tecnología se han conseguido mejoramientos de la terneza de hasta un 34% (Wang et al., citados por Teira, 2004) y en carcasas enfriadas rápidamente hubo una disminución en la fuerza de corte (Sorheim et al., 2001).

A pesar de la efectividad, los sistemas no han sido ampliamente adoptados por la industria debido, quizá, a sus inconvenientes de costos algo mayores (disminuye la capacidad de las cámaras de frío), alteración de la forma comercial conocida de los cortes más importantes (Sorheim et al., 2001) y, principalmente, a la falta de incentivos financieros (mejores precios por carnes de mejor calidad) (Teira, 2004). Algunas de estas desventajas pueden ser compensadas por la posibilidad de mantener altas velocidades de enfriamiento sin tener efectos negativos sobre la terneza (Sorheim et al., 2001) o volviendo a colgar las medias reses por el tendón de Aquiles después de 10-11 horas *post mortem* (pH=6.0), cuando el rigor está totalmente establecido (Norman et al., Ferguson, Meat and Livestock Australia, citados por Teira, 2004).

- Efecto del calcio

La terneza de la carne mejora con la maduración *post mortem* debido en parte a la actividad del sistema proteolítico de las calpaínas (Taylor et al., citados por Duckett et al., 2001).

De Luca y Schnoes, citados por Boleman et al. (2004), reportaron que la Vitamina D₃ funciona como reguladora del calcio y es requerida para la absorción de calcio.

Aumentando la concentración de calcio en el músculo a través de una infusión (Koohmaraie et al., citados por Duckett et al., 2001) o una inyección (Wheeler et al., citados por Duckett et al., 2001) de cloruro de calcio *post mortem*, acelera el proceso de maduración y reduce el tiempo de maduración *post mortem*.

Otros autores, suplementando con Vitamina D₃ *pre faena* (Swanek et al., Montgomery et al., citados por Franco et al., 2001), administración parenteral (Franco et al., 2001), suministro de gel de calcio (Duckett et al., 2001) encontraron una disminución en la fuerza de corte (WBSF) a los 7 días de maduración. Por el contrario, Hill et al., Scanga et al., citados por Boleman et al. (2004), no encontraron diferencias en terneza.

- Cocción

El cocinado es la última etapa de la transformación de la carne antes del consumo, se traduce por importantes modificaciones de las propiedades físico-químicas de las proteínas y por tanto de su terniza (Sañudo, 1998).

El calor altera el tejido conectivo y las proteínas miofibrilares, y de este modo puede influir significativamente en la dureza de la carne, en su jugosidad y su sabor. Durante el cocinado, se producen dos cambios: las fibras musculares se hacen más duras, y el tejido conectivo se hace más blando (Cross, 1994).

Lawrie, citado por Cross (1994), resumió los efectos del calentamiento sobre las estructuras cárnicas como una combinación de ablandamiento del componente conjuntivo debido a la conversión del colágeno en gelatina, y endurecimiento del componente miofibrilar debido a la coagulación por calor de las proteínas miofibrilares.

- Estimulación eléctrica y maduración

Ambos temas serán abordados en capítulos por separado.

2.5 ESTIMULACION ELECTRICA (EE)

2.5.1 Un poco de historia

La EE *post mortem* ha recibido considerable atención como una posibilidad para mejorar la terniza muscular. El concepto del shock eléctrico para mejorar la terniza no es nuevo. Benjamín Franklin, en 1749 determinó que la EE en pavos mejoraba la terniza (Lopez y Herbert, citados por Cross, 1979). Franklin reportaba que “matando pavos eléctricamente, con el placentero efecto secundario que los hacia infrecuentemente tiernos, fue la primer aplicación práctica encontrada para la electricidad” (Cross 1979, Savell 1979, Stiffler et al. 1984).

La EE en las carcasas de carne, fue utilizada tempranamente en 1951 por Harsham y Deatharage, citados por George et al. (1980) en un intento para acelerar el inicio del *rigor mortis* y como método de tiernización de la carne.

La investigación neozelandesa (Carse, Chrystall y Hagyard, Davey et al., citados por Cross, 1979), se inició primariamente para desarrollar un sistema que pudiera prevenir el endurecimiento de las carcasas de cordero cuando son enfriadas o congeladas en un estado *pre rigor*. Carse, citado por Cross (1979), teorizó que acelerando la glicólisis *post mortem* en corderos por medio de la EE podría dar lugar a un proceso para

rápido acondicionamiento. A su vez, Gilbert y Davey, citados por Cross (1979), utilizaron la EE para acelerar el inicio del *rigor mortis* para permitir un temprano desosado de la canal. El rigor se desarrolla en unas 3-4 horas en carcasas estimuladas así de esta manera podrían ser desosadas a las 5 horas *post mortem* en comparación con las 24 horas de las carcasas control.

Desde entonces, el método ha sido utilizado por varios autores en distintas especies de animales. En este sentido, la EE ha acelerado el agotamiento del ATP y la caída de pH en Pollo (De Fremery y Pool, citados por McCollum y Henrickson, 1977), aumentó la tasa glicolítica en Rana (Karpatkin et al., citados por McCollum y Henrickson, 1977) y Conejo (Bendall, citado por McCollum y Henrickson, 1977), aumentó la terneza en corderos (Bendall, Chrystall y Hagyard, citados por McCollum y Henrickson, 1977) y mejoró la terneza y el flavor en carne vacuna (Davey et al., citados por McCollum y Henrickson, 1977).

2.5.2 Mecanismo de acción

Como se mencionó anteriormente, la EE es utilizada por la industria frigorífica por sus efectos favorables en la calidad de la carne. Cuando se aplica la EE, las fases de glicólisis y rigor se aceleran extraordinariamente, eliminando toda posibilidad de “acortamiento por el frío” pese a que se le someta a un enfriamiento rápido e intenso (Kauffman y Marsh, 1994). A su vez, Kondos y Taylor (1987), han demostrado que EE acelera el proceso glicolítico resultando en un inmediato aumento en lactato muscular (reduciendo el pH) y en una reducción de alrededor del 30% de ATP. Estos autores indican que es conocido que el *rigor mortis* está asociado a la desaparición del ATP, por lo que la EE que acelera estos cambios químicos, minimiza la duración de la fase del *rigor mortis* y permite la aplicación del enfriado temprano de la carne.

Estos dos procesos, el evitar el “acortamiento por frío” y la rápida caída del pH, son algunas de las teorías sobre el mecanismo o mecanismos por el cual la EE logra tiernizar la carne. Fibras musculares “acortadas por frío” son normalmente menos tiernas que fibras musculares que no fueron “acortadas por frío” (Savell, 1979). La segunda teoría que concierne la manera por la cual EE aumenta la terneza, involucra el rápido decaimiento del pH muscular mientras la temperatura de la carcasa es todavía elevada. Dichas circunstancias son muy favorables para que las enzimas lisosomales (que naturalmente ocurren) degraden las proteínas musculares y que causen una tiernización de la carne mas rápido, referida como maduración natural (almacenamiento de la carne bajo temperaturas de refrigeración por extensos periodos de tiempo, de 7 a 30 días). Estudios han mostrado que las enzimas lisosomales en carcasas EE son liberadas antes y actúan más rápido que aquellas enzimas lisosomales en carcasas no estimuladas eléctricamente (Savell et al., 1979). La caída en el pH, aumenta la actividad proteolítica de las calpaínas por aumento en la liberación de Ca^{2+} (Teira, 2004). Otro factor que

puede influenciar el efecto de la EE, es la composición del tipo de fibra muscular, que define el grado de liberación de calcio y su reabsorción (Simmons et al., 2008).

Fjelkner-Modig y Rudérus (1983) observaron que la EE claramente acelera la caída de pH, tanto en carne normal como media (pH a las 48 horas de 5.8 a 6.2). En este sentido, Dutson et al. (1982) indican que se requiere un rápido descenso del pH para que la EE produzca los efectos deseados y que ni el proceso de estimulación por si solo ni las contracciones producidas pueden causar mejoras en la calidad de la carne estimulada eléctricamente si no acompaña la ocurrencia de cambios en el pH muscular.

Gilbet y Davey, citados por Cross (1979), concluyen que la estimulación redujo la necesidad de la refrigeración convencional para lograr el establecimiento de la carcasa, superó el “acortamiento por frío”, el “acortamiento por descongelado” y aún permitió una tiernización adicional proveniente de la maduración.

2.5.3 Factores que condicionan la respuesta

2.5.3.1 Niveles basales de terneza

Relacionado al animal, el aumento de la terneza se produce en casi todas las reses, pero la extensión del aumento depende de la terneza inherente a cada res. En general, aquellas que son bastante tiernas no serán sensiblemente mejoradas por la EE. Por otro lado, animales muy viejos o de carne dura serán mejorados apreciablemente pero no al punto, tal vez, de ser considerados aceptables. Por tanto, parece ser una metodología más apropiada para reses de animales jóvenes que poseen una baja terminación (mínimo EGS) o son de baja terneza inherente (Hedrick et al., citados por Teira, 2004).

A su vez, Cross (1979) concluye que las reducciones en fuerza de corte para carcasas tratadas son generalmente grandes cuando las carcasas control tienen mayores requerimientos en fuerza de corte y bajas cuando las carcasas control tienen escasos requerimientos de fuerza de corte. El mismo autor indica que hay una tendencia similar en la clasificación de la terneza por parte del panel sensorial, por lo que sugiere que el uso de la EE es de gran beneficio en las carcasas que producirán carne menos tierna si no son tratadas. En las carcasas que probablemente producirán inherentemente carne más tierna, son mejoradas pero en menor medida.

2.5.3.2 Categoría animal

En cuanto a las categorías de animales, la bibliografía es muy amplia, habiendo trabajos en vacas (Hawrysh et al., 1987), vaquillonas (McCollum y Henrickson 1977, George et al. 1980), novillos jóvenes (Crouse et al. 1983, Aalhus et al. 2000) y toros

jóvenes (Fjelkner-Modig y Rudérus 1983, Riley et al. 1983, Miller et al. 1987, Olsson et al. 1994), en donde se constatan diferencias significativas en terneza utilizando EE.

2.5.3.3 Grado de terminación

El espesor de la masa muscular y la cantidad de grasa de cobertura sobre el músculo puede afectar la tasa de enfriamiento y la contracción muscular (Crouse, 1983). El espesor de grasa subcutánea está relacionada con la terneza de la carne por su acción como aislador para reducir la tasa de enfriamiento y el “acortamiento por frío” de las fibras musculares (Smith et al., Bowling et al., Dolezal et al., Tatum et al., citados por Riley et al., 1983). Estos autores indican que la EE tuvo los mayores efectos en la terneza de bifes de toros jóvenes con menos de 6.5mm de espesor de grasa subcutánea. A su vez, Boleman et al. (1996) concluyen que la EE mejoró el color, los valores de fuerza de corte así como los atributos sensoriales, pero aseguran que el espesor de grasa subcutánea y la fuerza de corte son significativamente ($P < .01$) correlacionadas (-0.36), indicando que es probable que parte de la reducción en fuerza de corte fue debido al espesor de grasa subcutánea y la posterior reducción del “acortamiento por frío”.

2.5.3.4 Tipo de EE

Para el momento y voltaje utilizado, hay distintos tipos de EE, variando según voltaje y frecuencia, pero se pueden definir de bajo voltaje (EEBV) menor a 100 V y de alto voltaje (EEAV) mayor a 100 V. La diferencia en eficacia de ambos voltajes radica en el momento *post mortem* de su aplicación.

En este sentido, varios autores (Chrystall et al. 1980, Morton y Newbold 1982), reportaron que la aplicación de EEBV debe realizarse en el degüello del animal o hasta los 15-30 minutos *post mortem*. Estos autores explican que debe haber conducción nerviosa en la carcasa para que sea efectiva la EEBV y que dicha conducción cesa a los 30 minutos *post mortem*.

Kim et al. (2007), trabajando con novillos y vaquillonas encontraron que la fuerza de corte en carcasas EEBV fue un 10% menor que las carcasas control a lo largo de un periodo de maduración de 28 días. Resultados similares obtuvieron Roeber et al. (2000), para carne madurada por 7 días, los valores de fuerza de corte para carcasas con EEBV tuvieron menores valores que para las carcasas control. A su vez, Hopkinson et al. (1985), trabajando con novillos y toros, encontraron que la EEBV produjo una marcada mejoría en la terneza para muestras no maduras. Por otro lado, Hollung et al. (2007), trabajando con toros jóvenes, si bien carcasas con EEBV tuvieron una significativa reducción de fuerza de corte desde 2 a 8 días de maduración, no tuvieron un efecto sobre el grado de tiernización durante el periodo de almacenamiento.

Estudios realizados por Kastner et al. (1993) revelaron que diferencias en aplicaciones de corrientes, voltaje y tiempo de aplicación *post mortem* para la EE, puede resultar en diferencias estadísticas en la velocidad de disminución de pH y tiempos para alcanzar pH 6.0. El reconocimiento de la diferencia de efectos es importante, porque una rápida disminución en pH sin el debido control de temperatura puede producir cambios deletéreos en rasgos de palatabilidad como ser terneza y jugosidad. Por ejemplo, bifes EE en un tratamiento con 50v, 60 Hz de frecuencia realizado a los 5 minutos *post mortem* tuvo numéricamente menores resultados en terneza y jugosidad que bifes EE en un tratamiento con 400v, 60 Hz de frecuencia realizado a los 45 minutos *post mortem*.

Por otra parte, Carse, citado por McCollum y Henrickson (1977), concluye que es el voltaje, no la frecuencia, que ejerce influencia en la velocidad de glicólisis *post mortem*.

2.5.3.5 Manejo *pre mortem*

En cuanto al manejo *pre mortem*, Sorinmade et al., citados por Cross (1979), evaluaron el efecto de la EE en la declinación del pH, terneza y actividad de enzimas lisosomales, en carcasas previamente estresadas o no estresadas. Los lados de las carcasas que fueron EE y que no fueron estresadas tuvieron la más rápida tasa de descenso de pH mientras que los lados estresados (estimulados o no estimulados) tuvieron la más baja tasa de descenso. A las 48 horas *post* estimulación, carcasas estresadas tuvieron un pH más elevado que carcasas no estresadas. El elevado pH provoca cortes oscuros (DFD), por lo que la EE no tiene efecto en mejorar el color de la carne DFD (Dutson et al., 1982).

2.5.3.6 Manejo *post mortem*

En cuanto al manejo *post mortem*, cuando la tasa de enfriado de la canal es rápida, la aceleración de la glicólisis y el desarrollo temprano del rigor resultante de la EE (alto o bajo voltaje) mejoran la terneza (Marsh et al. 1987, Savell et al., citados por Tatum et al. 1999), pero cuando las canales son enfriadas despacio, la acelerada glicólisis (resultante de estimulación de baja frecuencia o bajo voltaje) puede resultar en un apreciable endurecimiento (Marsh et al. 1987, Takahashi et al., Unruh et al., citados por Tatum et al. 1999).

A su vez, Olsson et al. (1994), trabajando con diferentes temperaturas *pre rigor*, encontraron que muestras de carne a temperaturas *pre rigor* bajas de 1°C y 4°C, el efecto de la EE recién se vio reflejado a los 15 días *post mortem* de maduración, lográndose diferencias significativas en terneza entre las tratadas y no tratadas.

Una de las características de la canal que se ve afectada por la EE es la pérdida por goteo, que se explica porque la molécula de glucógeno es muy hidrofílica (3-4 g de

H₂O/g de glucógeno), lo que contribuye a retener una cantidad considerable de agua en la estructura muscular (Warris, 1990). Strydom et al. (2005), utilizando EEAV (400 V) sobre novillos Charolais, encontraron que la pérdida por goteo a las 24 horas *post mortem*, era ligeramente elevada para las carcasas eléctricamente estimuladas. Por otro lado, Aalhus et al., citados por Kim et al. (2007), observaron que las pérdidas por goteo no fueron afectadas por la EEBV (21 V).

- Maduración

Evidencias de investigaciones sugieren que la maduración complementa el efecto tiernizador de la EE. El uso de ambas, EE y maduración mejoró la terneza de bifes de lomo en un 44%, mientras que el uso de maduración por si solo, resultó en una mejora de 26% de terneza en bifes de lomo comparado con la terneza de bifes de lomo removidos de la carcasa a los 2 días *post mortem* (Savell, 1979). Otras investigaciones revelaron que bifes de lomo de carcasas EE, maduras por 7 días fueron un 10 % más tiernas que en bifes de lomo de carcasas maduras por 21 días sin EE. En este sentido, el tiempo de maduración *post mortem* puede ser reducido si se utiliza la EE, reduciendo costos de inventario, mantenimiento, mermas y uso de energía (Stiffler et al., 1984).

A su vez, tempranamente luego del rigor, carne EE será más tierna pero la mejoría decrecerá con el tiempo de almacenamiento y la terneza final será la misma que en la carne no estimulada (Dransfield, 1994). En este sentido, George et al. (1980) obtuvieron diferencias significativas del 5% de P o menor, en terneza entre músculos control y EE desde el día 1 al 14, pero a los 21 días P aumentó a >10%. Davis et al. (1981), trabajando con novillos, obtuvo con la utilización de EE, una reducción de 5 días del tiempo de maduración necesario para lograr una terneza aceptable. En este trabajo, a los 5 días de maduración, las carcasas EE obtuvieron la misma fuerza de corte que aquellas carcasas no estimuladas maduras por 10 días. Martin et al. (1983), encontraron el efecto tiernizador de la EE a las 24 horas *post mortem* equivalente al observado luego de 6 días de maduración sin estimulación.

- Congelado

Los trabajos que se realizan son para ver el efecto que tiene la implementación de la EE en situaciones similar a las comerciales, en donde por lo general se tiene la carne congelada por varias semanas. En este sentido, Ingólfsson y Dransfield (1991) realizaron un trabajo en corderos, en la cual carcasas EE fueron algunas congeladas (-20°C) a las 6 horas *post mortem*, otras refrigeradas a 10°C para luego ser o congeladas a las 24 horas *post mortem* o refrigeradas a 2°C. Los tiempos de maduración fueron de 1, 3 y 8 días. Los resultados arrojaron que el congelado tuvo un efecto tiernizador en la carne congelada a las 24 horas pero tuvo un efecto de endurecimiento en carne congelada a las 6 horas. Estos autores indican que la carne que es congelada, detiene la actividad

proteolítica de las enzimas musculares, responsables del efecto de la mejora de la terneza (maduración).

A su vez, la carne congelada a las 24 horas fue considerablemente más tierna al descongelarse que la carne fresca no congelada. De esta manera, carne congelada a las 24 horas puede ser distribuida y vendida inmediatamente pero la carne congelada a las 6 horas deberá ser acondicionada por lo menos 2 días luego de descongelada para ser aceptablemente tierna.

2.5.4 Color

Mucha de la investigación en cuanto a la EE se ha centrado en sus efectos en terneza. La glicólisis acelerada en músculos *post mortem* puede afectar factores de calidad tales como color, textura, firmeza y uniformidad de color. Factores afectando el color de la carne tienen influencia significativa sobre la industria cárnica desde que el color de la carne es un criterio importante en la selección de carne por el consumidor. Inicialmente, el color de la carne depende en la medida de conversión de mioglobina a oximioglobina. Excluyendo factores extrínsecos tales como el ambiente de exhibición, el efecto del pH y glicólisis juegan un rol mayor en la conversión de mioglobina a oximioglobina cuando la superficie es expuesta al oxígeno (Cross, 1979). En este sentido, Savell (1979) indica que es posible una duración de 1 día más de vida útil para la venta de la carne, en cuanto al color en carcasas EE, permaneciendo más brillantes.

Varios trabajos (Stiffler et al. 1984, Savell et al., Solomon, citados por Hawrysh et al. 1987, Miller et al. 1987) indican que la EE tuvo una mejora en el color de la carne, sobre todo, un color rojo más brillante, con mayores valores de L* y Croma (Aalhus et al., 2000). La mejora en el color sugiere que la EE puede haber permitido que más oxígeno penetrara en el músculo, posiblemente debido a una mayor ruptura de fibras musculares, resultando en una estructura más abierta (Miller et al., 1987).

2.6 MADURACION

2.6.1 Fundamentación

La maduración es la última fase del proceso de transformación del músculo en carne (Monsón, 2004). Desde hace tiempo se sabe que la dureza de la carne de vacuno disminuye durante el proceso de maduración. El endurecimiento que experimenta la carne durante la aparición de *rigor mortis*, desaparece gradualmente a medida que aumenta el tiempo de proceso de maduración *post rigor* (Lawrie, citado por Mamaqui, 1996).

El músculo sufre una serie de transformaciones bioquímicas conocidas globalmente bajo el término de maduración y que afectan a la estructura de las

miofibrillas dando como resultado una mayor terniza de la carne (Bianchi et al., 2006). Algunas de las características deseables de la carne vacuna (ciertamente la disminución de la dureza y probablemente el flavor) aumentan si la canal, media res o el corte de carne son mantenidos a temperaturas justo por encima de la congelación (0-5°C) durante períodos de tiempo desde unos pocos días hasta muchas semanas (Kauffman y Marsh 1994, Pearson 1994).

2.6.2 Mecanismos

Los mecanismos por el cual ocurre esta disminución de la dureza durante la maduración no se comprende completamente todavía (Bird et al., citados por Pearson, 1994), pero parece ser debida a mecanismos enzimáticos y físico-químicos (Monsón, 2004).

Dentro de los mecanismos enzimáticos, se encuentran las calpaínas, que son un grupo de proteasas formado principalmente por dos enzimas llamadas μ -calpaína o calpaína I y m-calpaína o calpaína II (Roncalés et al., citados por Monsón, 2004). Se sitúan en el sarcoplasma, siendo activadas por concentraciones de Ca^{2+} y a pH generalmente entre 7 y 7.5 (Boehm et al., 1998). Tras la muerte del animal, en el músculo hay suficiente Ca^{2+} como para activar toda la μ -calpaína y solo el 30% de la m-calpaína (Dransfield, citado por Monsón, 2004) siendo ésta una de las causas que ha llevado a considerar a la μ -calpaína como la máxima responsable de los procesos de tiernización.

Otras enzimas endógenas del músculo, son las catepsinas y se encuentran en los lisosomas de las células. Las catepsinas son capaces de degradar la miosina, la actina, el complejo troponina T (Penny y Dransfield, citados por Monsón, 2004) y las proteínas que forman el disco Z (Dutson y Lawrie, citados por Monsón, 2004). El pH óptimo para la catepsina es de 5.2; cuando el pH es de 5.6 la actividad es del 50% y a pH 6.0 la actividad es solo del 20% (Monsón, 2004). Aunque la acción de las enzimas lisosomales parecería provocar una gran alteración de la estructura miofibrilar, es la acción conjunta con las calpaínas la que actúa en los procesos de maduración de la carne (Taylor et al., Valin y Ouali, citados por Monsón, 2004).

Principalmente los mecanismos físico-químicos relacionados con la maduración son el pH y la concentración de glucógeno en el músculo. En las primeras horas tras el sacrificio, se produce un incremento general de la dureza debido al acortamiento de los sarcómeros (Wheeler y Koohmaraie, 1994b), provocado por la liberación de Ca^{2+} en el espacio miofibrilar cuando aún la concentración de ATP es suficiente para permitir la contracción (Honikel et al., citados por Monsón, 2004). Davey et al., citados por Dransfield et al. (1994), fueron los primeros en demostrar que el grado de maduración decrece con incrementos en acortamiento muscular o reducción en el largo de sarcómero. Cuando los músculos se acortan en un 40%, correspondiendo a la máxima

dureza (Marsh y Leet, citados por Dransfield, 1994), la maduración no ocurre. Por lo tanto, la maduración no ocurre seguido de un severo “acortamiento por frío”, resultando en una carne dura sin importar cuanto tiempo los músculos son almacenados (Dransfield, 1994).

2.6.3 Tiernización: duración y temperatura dependiente

La tiernización de la carne, es decir el ablandamiento, se produce en dos fases (Takahashi, 1996), una primera y rápida, debida fundamentalmente al debilitamiento de las miofibrillas, y una segunda etapa más lenta, debida al debilitamiento de la estructura conectiva, en la que se ven afectados tanto el número como la fuerza de los puentes cruzados entre proteínas (Liu et al. 1995, Nishimura et al. 1996).

La intensidad del ablandamiento depende tanto de la duración como de la temperatura de almacenamiento (Lee y Ashmore, citados por Monsón, 2004), por lo que es a este nivel donde se puede actuar para controlar el proceso de maduración. A temperatura constante, en un rango de 0-40°C, el grado de maduración aumenta 2.5 puntos por cada 10°C de aumento de temperatura (Davey y Gilbert, Dransfield, citados por Dransfield, 1994). Esto significa que, carne que toma 10 días para madurar a 0°C, toma 4 días a 10°C y solo 1.5 días a 20°C (Dransfield, 1994).

A su vez, Nishimura et al. (1998), sugieren que el periodo de maduración para maximizar sus beneficios sobre la terneza de la carne vacuna debe ser de 10 a 14 días, bajo temperaturas de refrigeración, siendo en la primera semana donde los resultados son más evidentes (Campo et al. 2000, Oliete et al. 2006, Campo, Adelino, citados por Franco et al. 2008a). En este sentido, Campo et al. (1999), trabajando con diferentes tiempos de maduración (1, 3, 7, 10, 14 y 21 días), demuestran que, si bien a medida que aumenta el tiempo de maduración se logra una mejora en la terneza de la carne, las muestras de carne maduras por 7 días lograron valores de terneza similares a los obtenidos con 21 días de maduración, no encontrándose diferencias significativas, por lo que periodos prolongados de maduración no son necesarios.

Empleando el método de Warner-Bratzler, Olsson et al. (1994), observaron que a medida que el proceso de maduración avanzaba de 2 a 8 y 15 días, los valores de corte encontrados disminuían. En este sentido, Jeremiah y Gibson, citados por Monsón (2004) sostienen que los valores de fuerza de corte (WBSF) disminuyen progresivamente a medida que la maduración avanza ($r^2 = 0.70$ $P < 0.05$).

Por otra parte, Eilers et al. (1996), encontraron que la maduración del *Longissimus dorsi* por 12 días o más, aumenta la frecuencia de cortes con terneza “aceptable” (fuerza de corte < 3.9 KgF) y disminuye la variación en los valores de fuerza de corte.

La terniza de la carne aumenta con el período de maduración, en este sentido toda la bibliografía relacionada es coincidente en que independientemente de la raza, sexo, peso, alimentación, etc., a medida que el tiempo de maduración avanza, la terniza de la carne mejora. La acción enzimática, que produce degradación miofibrilar a través de la maduración, es el factor más importante afectando la tiernización de la carne bajo procedimientos tecnológicos normales (Roncalés et al., citados por Campo et al., 1999).

2.6.4 Influencia sobre el color

La maduración tiene influencia sobre otra característica de calidad de la carne, como ser el color. El mantener la carne por períodos más o menos largos a temperaturas bajas, afecta a los diferentes estados químicos del pigmento de la mioglobina (Carduz, 1996). La temperatura afecta el grado de oxidación de la mioglobina, acelerando las reacciones de oxido-reducción (Sañudo, Negueruela et al., citados por Carduz, 1996). Para Lawrie, citado por Carduz (1996), a temperaturas bajas, la formación de metamioglobina es más lenta debido tanto a la acción directa de la temperatura como a su acción indirecta al reducir la actividad de las enzimas que intervienen en la utilización del oxígeno. Por otro lado, Warriss y Brown, citados por Bruce et al. (2004), indican que la Luminosidad (L^*), el índice de rojo (a^*) y el índice de amarillo (b^*) de la carne tienden a aumentar con la maduración porque las proteínas musculares son degradadas y su CRA, disminuye, aumentando de esta manera la reflectancia.

En cuanto a los valores de medición de color, la maduración está correlacionada con valores de sistema CIE de L^* , a^* y b^* , siendo la mayor correlación con L^* , indicando que la maduración es más una función de la relación entre claro/oscuro (Page et al., 2001). Otros investigadores también han reportado que L^* tuvo más alta correlación hacia la maduración (Oliete et al., citados por Oliete et al., 2006) de bifes de carcasas que aquella con a^* o b^* (Wulf y Wise 1999, Orcutt et al., citados por Page et al. 2001). El tono y la saturación también incrementan con el tiempo de maduración (Oliete et al., 2006).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS ANIMALES

El trabajo fue realizado sobre un lote de novillos con destino a frigorífico de un predio invernador el cual implementa una invernada 100% pastoril, con animales de razas británicas. Se utilizaron 32 novillos de raza Hereford, 8 dientes, pertenecientes al mismo rodeo y manejados en las mismas condiciones previo a la faena.

Previo a la faena, en el mismo establecimiento los animales se identificaron individualmente con caravanas y se estratificaron por estado corporal y peso vivo para ser asignados al azar a dos tratamientos durante el proceso de faena: 1) canales con estimulación eléctrica (EE), 2) canales control (C).

En cuanto a la pesada y la identificación de los animales, se realizó en el mismo predio de forma individual con una balanza electrónica móvil.

Los animales fueron transportados hasta el Frigorífico “Tacuarembó”, Grupo Marfrig, ubicado en la intersección de las rutas 5 y 26, permaneciendo 14 horas de ayuno y con acceso al agua hasta el momento de la faena.

3.2 DETERMINACIONES EN PLAYA DE FAENA

Inmediatamente previo a la faena se determinó el peso vivo individual.

La estimulación eléctrica de las canales del lote con EE (n=16), se realizó dentro de los 5 minutos posteriores a la insensibilización, inmediatamente luego del degüello y durante el desangrado. La EE fue de bajo voltaje (80 V) con una frecuencia de pulsos de 15 Hz y durante un tiempo de 30 segundos/animal.

El estimulador cuenta con una pinza que es colocada en el hocico del animal siendo esta por donde se trasmite el impulso eléctrico.



Posterior a dicho paso continua el eviscerados y la separación de las dos medias canales, las cuales son lavadas y pesadas, determinándose en esta oportunidad el peso de la canal caliente (media izquierda y media derecha), comúnmente llamado segunda balanza.

En la instancia entre el lavado y pesado se procedió a identificar según orden de ingreso a la faena a cada individuo, etiquetando la media res izquierda (n= 32).

3.3 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA CANAL

Luego de 36 horas *post mortem*, se retiraron las canales de la cámara de frío para realizar los cortes y mediciones correspondientes. Es en este momento, antes del desosado, se pesa la canal fría y se registran los valores de pH final por medio de un pH-metro HANNA con electrodo de penetración sobre la superficie del músculo *Longissimus dorsi* a la altura de la 10ª costilla, accediendo al músculo en forma perpendicular y en dirección caudo-craneal.

Posteriormente en el desosado se realizaron las mediciones de color y espesor de grasa subcutánea a la altura de la 10ª costilla con una regla milimetrada.

En el cuadro 4 que se presenta a continuación se muestran las estadísticas descriptivas de los animales evaluados en el trabajo.

Cuadro 4. Peso vivo, peso canal caliente, rendimiento de la canal, espesor de grasa subcutánea del músculo *Longissimus dorsi*.

	n	Media	Desvío Standard
Peso faena (kg)	32	540	46
Peso canal caliente (kg)	32	281	26,3
Rendimiento canal (%)	32	52	1,2
Espesor de grasa MLD (mm)	32	9,8	3,1

Para medir el color de la carne se utilizó la técnica de reflectancia, llevada a cabo 45 minutos luego de realizado el corte buscando dar una buena oxigenación a la muestra ("Blooming"). Se utilizó un colorímetro portátil Minolta CR 300, registrándose por triplicado sobre la superficie del músculo las coordenadas L* (luminosidad o claridad) que integra valores comprendidos desde 0 = negro a 100 = blanco; a* (índice de rojo) con valores negativos = verde, positivos = rojo; b* (índice de amarillo) valores negativos = azul y positivos = amarillos.

El tono y croma se calcularon mediante las siguientes expresiones: Tono = $\arctan(b^*/a^*)$, Croma = $\sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ (Alberti et al., 2005).

3.4 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE CARNE

En el desosado se extrajeron seis bifes de cada media canal izquierda (n= 192) de 2,5 cm de espesor de la porción comprendida entre la 10ª costilla y 2ª vértebra lumbar.

Dichos bifes representan los tres tiempos de maduración y los dos análisis a realizarse (instrumental y sensorial). Estas muestras se envasaron al vacío y fueron enviadas a temperatura de refrigeración al Laboratorio de Calidad de Carne de la Estación Experimental “Mario A. Cassinoni”, de la Facultad de Agronomía (Paysandú, Uruguay). Parte de las muestras se congelaron inmediatamente a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1 día de maduración), en tanto que las demás muestras fueron mantenidas en cámara de refrigeración a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta alcanzar los 3, y 7 días de maduración, para luego ser congeladas a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta su posterior análisis.

El análisis textural se realizó descongelando las muestras (n = 96), provenientes de los 3 tiempos de maduración correspondientes, en agua a temperatura ambiente, para luego ser cocinadas en un baño maría termostatzado hasta alcanzar una temperatura interna de 70°C . De cada muestra cocinada, se extrajeron de 7 a 10 sub-muestras de 1.27cm de diámetro, con un sacabocado, paralelo a la orientación de las fibras musculares, evitando tejido conectivo y grasa. Dichas sub-muestras fueron sometidas al corte con la célula cizalla de Warner-Bratzler, de forma transversal a las fibras.

Para el análisis sensorial se realizó el descongelado y la cocción en grill de doble plancha hasta una temperatura interna de 70° controlado con termocuplas en el centro térmico de la muestra. Luego de cocinadas las muestras (n=96), estas fueron fraccionadas, de acuerdo al número de consumidores del panel, de forma prismática y de un tamaño uniforme (10 a 30 gramos), sirviéndose envueltas en papel de aluminio, calientes y codificadas con números aleatorios de 3 cifras (Guerrero, 2005). La escala utilizada fue del tipo discontinua y estructurada con una amplitud de 10 puntos, siendo 1: carne muy dura, muy desabrida o muy desagradable; 10: carne muy tierna, muy sabrosa o muy agradable, para los atributos: terneza, sabor y aceptabilidad, respectivamente. Las muestras se presentaban en cabinas individuales bajo iluminación roja para enmascarar diferencias en el color de la carne. El panel estuvo conformado por 140 consumidores que trabajaron en 14 sesiones (10 consumidores/ sesión) de 1 h de duración. En cada sesión, balanceada por edad (edad promedio: $40 \pm 12,2$ años), se trabajó con personas de ambos sexos (50 mujeres y 90 hombres), y con los siguientes hábitos de consumo y grado de preferencia de carne vacuna: 60% consumían carne vacuna 4 o más veces al mes y 90% manifestó que le apetecía mucho. Cada consumidor probó 2 muestras de cada uno de los 5 tratamientos evaluados, presentándose éstas en

dos platos consecutivos y alterando el orden de presentación de las muestras entre platos y entre consumidores, resultando en un diseño en bloques completo (todos los tratamientos en el mismo plato) y balanceado (cada combinación de pares de tratamientos se evaluó el mismo número de veces. De esta forma, los consumidores evaluaron un total de 140 muestras en 28 platos de 5 muestras cada uno.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el caso del análisis textural, el diseño experimental fue parcelas divididas al azar. Con dos factores; 1) el estímulo, con dos niveles (sin y con estimulación), 2) Los tiempos de maduración, con 3 niveles (1, 3 y 7 días). La parcela grande fue la media res del novillo y la parcela chica el bife de *Longissimus dorsi*.

Para estudiar el efecto de los tiempos de maduración y la estimulación sobre la fuerza de corte, se ajustó un modelo lineal general con la siguiente forma:

$$Y_{ijk} = \mu + \text{Est } i + E(a)_{ik} + \text{TM } j + (\text{Est} \times \text{TM})_{ij} + E(b)_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} : Variable aleatoria Fuerza de corte

μ : media general

Est i : efecto del i -ésimo tratamiento de estimulación ($i=1, 2$)

$E(a)_{ik}$: error experimental "a" (entre animales)

TM j : efecto del j -ésimo tratamiento de tiempo de maduración ($j=1, 2, 3$)

(Est $\times$ TM) ij : interacción entre estimulación y tiempo de maduración

$E(b)_{ijk}$: error experimental "b" (entre medias reses)

La textura se analizó mediante análisis de varianza donde se evaluó el efecto bloque (animal) y el efecto del tiempo de maduración. Para la estimación de los efectos se utilizó el método de mínimos cuadrados provisto por el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS versión 9.1.3 (SAS Institute, 2005).

Para el análisis sensorial, se ajustó un modelo lineal generalizado asumiendo que la variable de respuesta (terneza, calidad de sabor y aceptabilidad) es una variable subjetiva con distribución multinomial ordinal. El modelo estadístico tuvo la siguiente forma general:

$$\text{Ln}(p_{ijklm.n} / (1 - p_{ijklm.n})) = \beta_0 + \tau_i + \alpha_j + (\tau\alpha)_{ij} + \eta_k + \gamma_l + v_m(\gamma_l)$$

Donde

$\text{Ln}(p_{ijklm.n} / (1 - p_{ijklm.n}))$ es la función logit acumulativa de las probabilidades de selección de cada n -ésimo punto de la escala de las variables de respuesta

β_0 es un intercepto

τ_i es el efecto del i-ésimo tiempo maduración

α_j es el efecto del j-ésimo tratamiento de electroestimulación

$(\tau\alpha)_{ij}$ es la interacción entre tiempo de maduración y electro estimulación

η_k es el efecto del k-ésimo orden de consumo

γ_l es el efecto de la l-ésima sesión

$u_m(\gamma_l)$ es el efecto del m-ésimo consumidor dentro de cada sesión

Se usó el procedimiento glimmix del paquete estadístico SAS versión 9.1.3 (SAS Institute, 2005). Las distribuciones de los tiempos de maduración, tratamiento de electroestimulación y combinación de ambas, fueron comparadas usando contrastes simples.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL

4.1.1 Peso de Canal

Cuando se utilizan alternativas tecnológicas durante el proceso de faena, es importante cuantificar las pérdidas de peso de canal que puedan ocurrir en las primeras 24 horas como consecuencia de su aplicación. Las pérdidas de peso de canal por efecto de la estimulación eléctrica (EE) no fueron significativas (4.9 vs 5.2 Kg, $P > 0.10$), para las canales controles y estimuladas respectivamente. Estos valores concuerdan con George et al. (1980), donde trabajando con vaquillonas y aplicando EEAV, no tuvieron diferencias significativas en la pérdida por goteo. Cabe aclarar que en pocos trabajos donde estudiaron la aplicación de EE, hacen referencia a las pérdidas de peso de canal.

La tendencia a una mayor pérdida de peso en las canales estimuladas, se explica porque la molécula de glucógeno es muy hidrofílica (3-4 g de H_2O/g de glucógeno), lo que contribuye a retener una cantidad considerable de agua en la estructura muscular (Warris, 1990). La rápida y mayor degradación de glucógeno por la EE hace que el glucógeno residual sea menor en las canales estimuladas y – por ende – menor cantidad de agua, con la consiguiente pérdida de peso, conocida como pérdida por goteo, siendo ésta una de las principales pérdidas de peso de la canal.

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CARNE

4.2.1 pH y color

Cuando se aplica la EE, las fases de glicólisis y rigor se aceleran extraordinariamente, eliminando toda posibilidad de “acortamiento por el frío” pese a que se le someta a un enfriamiento rápido e intenso (Kauffman y Marsh, 1994). A su vez, Kondos y Taylor (1987), han demostrado que la EE acelera el proceso glicolítico resultando en un inmediato aumento en el lactato muscular, reduciendo el pH. En el presente trabajo, se obtuvo mediante la estimulación eléctrica de bajo voltaje (EEBV), un menor valor en el pH a las 24 horas ($P < 0.01$).

Cuadro 5. pH y parámetros de color del músculo *Longissimus dorsi* a las 36 horas *post mortem* según los tratamientos evaluados (C= Control; EE= Estimulación eléctrica)

	pH 24	L*	a*	b*	Tono	Croma
C	5,59± 0,01a	38,5± 0,30 a	13,5± 0,46 a	11,1± 0,23a	39,6 ±0,54 a	17,5 ±0,48a
EE	5,46 ±0,01b	39,2 ±0,31 a	16,9±0,47 b	12,6± 0,24 b	36,8 ±0,56 b	21,1 ±0,49b

L* = luminosidad, a* = índice de rojo, b* = índice de amarillo. (a, b): Medias seguidas por distinta letra en la misma columna, difieren estadísticamente por el test de Tukey ($P \leq 0,10$).

Sin embargo, hay varios trabajos (Fjelkner-Modig y Rudérus 1983, Hawrysh et al. 1987, Kondos y Taylor 1987, Olsson et al. 1994, Aalhus et al. 2000, Hollung et al. 2007, Kim et al. 2007), que reportan que por la aplicación de la EEBV se encontró un marcado descenso del pH en las primeras horas *post mortem* (2, 4, 6, 10 horas), pero sin modificar los valores de pH final a las 24 horas *post mortem*, por lo que se lograría una mayor velocidad de enfriado de la canal, evitando el “acortamiento por frío”. A efectos del presente trabajo, no se pudo registrar temperaturas ni pH menores a 24 horas, por disposiciones de la Industria en relación a los tiempos de maduración.

La medición de color que se realizó, arrojó como resultados que existen diferencias significativas entre los distintos parámetros de color. Mostrando valores superiores, ya sea para índice de rojo -a*- (16.5 vs 13.9), índice de amarillo -b*- (12.6 vs 11.1), Croma (21.1 vs 17.5), e inferiores para Tono (36.8 vs 39.6), haciendo referencia a la EE y Controles (C) respectivamente. Se puede apreciar también una tendencia a un aumento en los valores de Luminosidad (L*) ($P= 0.10$).

Cuanto mayor es el descenso del pH, se produce una mayor desnaturalización de proteínas, causado por el aumento de la actividad proteolítica al incrementarse la liberación de Ca^{2+} (Teira, 2004). Esto, junto con la ruptura física de fibras musculares, provoca una estructura más “abierto”, permitiendo la liberación de agua ligada y la penetración de más oxígeno en el músculo (Miller et al., 1987), obteniéndose de esta manera carne más roja, al oxigenarse la mioglobina (mejorando el índice a* y el b*) y carne más luminosa, al reflejar el agua libre (L*). De esta manera se obtiene carne con más color y menor tono. A su vez, Page et al. (2001) encontraron que los valores de L*, a* y b* se correlacionaron negativamente con el pH muscular a las 24 horas *post mortem*, demostrando que a medida que el pH aumenta, los valores de los parámetros de color disminuyen. Los valores de a* y b* tuvieron una mayor correlación (-0.58 y -0.56 respectivamente) con el pH muscular que aquellos valores de L* (-0.40). A su vez, Wulf y Wise (1999), obtuvieron mayor correlación todavía para a* (-0.79) y b* (-0.78) frente a L* (-0.57) con el pH muscular. Los resultados del presente trabajo tienen una

tendencia similar, ya que las diferencias significativas fueron detectadas para a^* y b^* y no para L^* .

En cuanto al color, debemos destacar que se trata de un aspecto muy importante para el consumidor a la hora de tomar la opción de compra. Cabe destacar que muchas de las compras no son planeadas y que se deben al impulso que provoca el buen aspecto del producto en el consumidor. Valores superiores de índice de a^* , b^* , L^* y C^* , indican una carne con tonalidades más cercanas a las deseadas por el consumidor (rojo cereza brillante). Carnes con mayor a^* son más rojas, mayor L^* son más claras y mayor b^* , más amarillas con respecto al azul (Page et al., 2001). Esto marca la importancia de la técnica en estudio debido al alto impacto que genera sobre el consumidor, presentando carnes más rojas, brillantes y más claras. A su vez, Savell (1978) reportó que utilizando EE se puede prolongar en 1 día más, la vida útil de la carne. El Croma ha sido descrito como un buen indicador que caracteriza el cambio de color, porque desciende a medida que aparece el color amarronado (Lizaso, citado por Franco et al., 2008b).

En lo que respecta a Tono y Croma, sus valores derivan de una ecuación que utiliza los valores de a^* y b^* . En el presente trabajo, el Tono (tonalidad de gris en la carne), para los tratamientos con EE, tienen menor valor que para el Control, indicando una carne “menos gris” y se debe fundamentalmente a que la diferencia en magnitud del valor de índice de rojo a^* para ambos tratamientos (16.9 vs 13.5), es mayor que la diferencia en magnitud del índice de amarillo b^* para ambos tratamientos (12.6 vs 11.1), por lo que a la hora de calcular el Tono = $\arctan(b^*/a^*)$, al tener el denominador con mayor magnitud, el resultado es menor.

Lo mismo sucede con el Croma (intensidad del color) solo que ahora no hay una división sino una suma de ambos parámetros elevados al cuadrado, para luego realizar la raíz cuadrada: $Croma = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ por lo que para el tratamiento de EE, si ambos parámetros mejoran (son mayores), el resultado va a ser mayor.

Numerosos estudios, con diversos voltajes obtuvieron mejoras en el color. Así, Aalhus et al. (2000), aplicando EEBV (21 V, 60Hz, 20 segundos) trabajando con novillos, obtuvieron mayores valores de L^* y Croma. También Roeber et al. (2000), aplicando EEBV (100 V, 60Hz, 22 y 32 segundos), trabajando con novillos y vaquillonas, obtuvieron una mejora en los valores de L^* , a^* y b^* . Por otro lado, Miller et al. (1987), aplicando EEAV (550 V, 60Hz, 34 segundos), trabajando con toros obtuvieron mayores valores de L^* .

A modo de síntesis, la estimulación eléctrica *post mortem* en la carne, logra una disminución significativa en el pH a las 24 horas *post mortem*, debido al agotamiento de las reservas de energía (ATP), producto de una acelerada glicólisis anaeróbica. Al agotarse la energía, no se puede mantener el músculo en relajación, estableciéndose el rigor mortis. A su vez, ésta disminución en el pH no solo favorece la actividad de

enzimas lisosomales (catepsinas), sino que ocasiona una mayor liberación del calcio en el espacio miofibrilar, favoreciendo la actividad de enzimas proteolíticas calcio dependientes (calpaínas), logrando de esta manera una mayor desnaturalización de proteínas. Ésta mayor desnaturalización de proteínas provoca una estructura más abierta de las fibras musculares, permitiendo la liberación de agua ligada y una mayor penetración de oxígeno al músculo, traduciéndose en una carne más roja y amarilla, con mayores valores de a^* y b^* .

4.2.2 Análisis de textura

En el cuadro 6 a continuación, se muestra la estadística descriptiva de la fuerza de corte para el análisis de textura.

Cuadro 6. Valores de fuerza de corte (WBSF) para los tratamientos y períodos de maduración analizados. Media y desvío estándar

Tiempo maduración	Estimulación eléctrica		Promedio
	Control	Tratado (EE)	
1 día	4,1 ± 0,25	3,4 ± 0,26	3,7 ± 0,18 a
3 días	4,3 ± 0,25	3,9 0 ±,26	4,1 ± 0,18 a
7 días	3,4 ± 0,25	2,8 ± 0,26	3,1 ± 0,18 b
Promedio	4,0 ± 0,22 A	3,4 ± 0,22 B	

a, b): Medias seguidas por distinta letra en diferente fila, difieren estadísticamente por el test de Tukey ($P \leq 0,10$).

(A, B): Medias seguidas por distinta letra en diferente columna, difieren estadísticamente por el test de Tukey ($P \leq 0,10$).

No hubo efecto de la interacción entre EE y tiempo de maduración, por lo que se va a analizar como efectos aislados.

Como se puede observar en el Cuadro 6, para los períodos de maduración evaluados, la carne con 7 días de maduración, obtuvo valores de WBSF inferiores en comparación con 1 y 3 días de maduración. Esto se debe principalmente a que, según Takahashi (1996), la tiernización de la carne, es decir el ablandamiento, se produce en dos fases, una primera y rápida, debida fundamentalmente al debilitamiento de las miofibrillas, y una segunda etapa más lenta, debida al debilitamiento de la estructura conectiva, en la que se ven afectados tanto el número como la fuerza de los puentes cruzados entre proteínas (Liu et al. 1995, Nishimura et al. 1996).

Para el caso de los tratamientos, se obtuvo una significativa disminución en la fuerza de corte, mediante la aplicación de EEBV. Estos resultados concuerdan con los

trabajos de Hopkinson et al. (1985), Roeber et al. (2000), quienes trabajando con EEBV en canales de novillos, con un tiempo de maduración de 7 días, lograron menores valores de fuerza de corte en la carne en relación a los controles (5.4 vs 6.35 y 3.75 vs 4.37 KgF respectivamente). Por otro lado, la carne madurada durante 7 días obtuvo valores de WBSF, similares a aquella con 1 día de maduración y con EE. De la misma forma y coincidentemente con estos resultados, Hopkinson et al. (1985), no obtuvo diferencias significativas en los valores de fuerza de corte para muestras de carne con 1 día de maduración (6.41 KgF), utilizando EEBV (75 V, 60Hz, 45 segundos), en relación a muestras de carne sin estimulación con 7 días de maduración (6.35 KgF). A su vez, cuando se utilizó estimulación eléctrica de alto voltaje, Martin et al. (1983), obtuvo valores comparables de fuerza de corte en carne con EE y 24 horas de maduración con muestras de 6 días de maduración sin EE.

En trabajos donde se analizó el efecto de la EE en períodos más prolongados de maduración, observaron interacción entre el efecto de la EE y los tiempos de maduración, señalando que la EE mejoraba la terneza sensorial y disminuía la fuerza de corte, a tasas decrecientes, a medida que aumentaba el tiempo de maduración de 7 a 28 días (Wheeler et al., 1990). La evidencia revisada al respecto, sugeriría que la ausencia de interacción en este trabajo en particular, podría estar explicada debido a que los tiempos de maduración evaluados en este trabajo fueron inferiores a 7 días.

Otros trabajos (Davis et al. 1981, Dikeman et al. 1990a), lograron similares resultados, reduciendo la fuerza de corte mediante EE con periodos cortos de maduración (menores a 8 días), pero utilizando EEAV.

Por otra parte, de los trabajos revisados que analizaron la utilización de EEAV a lo largo de la maduración, sobre diferentes categorías de ganado, encontraron diferencias significativas, mediante el uso de EE con tiempos de maduración cortos y medianos (7 y 14 días), no así en prolongados (mayor a 14 días). En este sentido, George et al. (1980), encontró trabajando con vaquillonas, que a los 21 días de maduración no manifestaron diferencias significativas en WBSF entre los tratados con EE y sin EE. Wheeler et al. (1990), trabajando sobre novillos, encontraron que pasados los 14 días de maduración, la fuerza de corte de la carne estimulada no mejoró con respecto a la no estimulada. En este sentido, Strydom et al. (2005), trabajando con toros, no encontraron ventajas en los valores de textura de la carne mediante el uso de EE, luego de 14 días de maduración.

Lo antes mencionado, no hace más que justificar que el efecto de la EE se logra con periodos cortos de maduración, demostrando que con periodos más prolongados el efecto de la EE se diluye, siendo éste uno de los objetivos específicos del presente estudio.

Stiffler et al. (1984), mencionan que las enzimas lisosomales, en carcasas eléctricamente estimuladas, son liberadas tempranamente y tienen más tiempo de acción

en relación a la carne de carcasas no estimuladas. George et al. (1980), por medio de una micrografía de luz teñida con hemotoxilina de hierro de Heidenhain, bajo luz polarizada, obtuvo a la hora y media de estimulación, bandas largas e irregulares de proteínas desnaturalizadas a lo largo de las fibras. El rápido descenso del pH mientras la temperatura de la carcasa es todavía elevada, favorece el ambiente en que dichas enzimas realizan la proteólisis.

Otros autores (Cross 1979, Miller et al. 1987), sugieren que la utilización de alto voltaje puede ser suficiente para causar una cantidad substancial de fractura de fibras. Según Savell (1978), micrografías de luz y electrón, de carne proveniente de carcasas eléctricamente estimuladas y no estimuladas, revelan que ha ocurrido daño estructural en las fibras musculares de las muestras con EE, bajo formas de bandas de contracción. El desorden de los filamentos de las proteínas, en las bandas de contracción de las fibras musculares con EE sugiere que el daño estructural puede resultar en tiernización. Este efecto se ha constatado con la utilización de EEAV, por lo que en el presente trabajo, dicho efecto no estaría explicando la mejora en la fuerza de corte debido a que este daño estructural aun no ha sido confirmado con la estimulación eléctrica de bajo voltaje.

A su vez Marsh, Takahashi et al., citados por Simmons et al. (2008), demostraron que la EE con una frecuencia de 60 Hz produce daño miofibrilar en el tejido muscular, descrito como áreas de supercontracción y áreas asociadas de estiramiento miofibrilar. La evidencia sugiere que una leve disminución del pH producto de una estimulación con frecuencia de 60 Hz produce mayor tiernización que la lograda por un mayor descenso del pH utilizando 2 Hz de frecuencia. Al no constatarse daño miofibrilar mediante la aplicación de baja frecuencia, concluyen que el mecanismo clave de la tiernización inducida por la EE es vía daño miofibrilar directo más que el efecto de la disminución del pH. En el presente trabajo, si bien la EE es de bajo voltaje, la frecuencia es de 15 Hz, por lo que la mejora en la fuerza de corte tampoco se explicaría por frecuencia. Por lo antes mencionado, el efecto de la EE sobre la mejora de la terneza en el presente trabajo, se debe principalmente a la aceleración de los procesos enzimáticos para la proteólisis muscular, explicado por un menor pH final y probablemente a la no ocurrencia de acortamiento por frío.

Cabe destacar que los valores de fuerza de corte promedios, tanto del Control como de los Estimulados, se encuentran en el rango catalogados como “aceptables” con calores de WBSF de 4.5 (Miller et al., citados por Franco et al., 2001), “tiernos” valores de WBSF < 6 (Bratzler, citado por Monteiro y Peluffo, 2001) y “entre el 94 y 100% de consumidores satisfechos” con valores menores a 3 WBSF (Olson, citado por Jiménez de Aréchaga et al., 2002).

En terminos generales, podemos decir que los valores iniciales de fuerza de corte para ambos tratamientos fueron bajos, inclusive con 1 día de maduración. La diferencia entre tratamientos, si bien es estadísticamente significativa ($P \leq 0.10$), la magnitud no es

tan relevante, por lo que podría estar explicado por el efecto aislante de la grasa subcutánea de 9.8 mm promedio (Cuadro 6), ya que los animales se encontraban muy bien terminados a la hora de la faena. El espesor de grasa subcutánea está relacionado con la terneza de la carne por su acción aislante, disminuyendo la tasa de enfriamiento y evitando el “acortamiento por frío” de las fibras musculares. En este sentido, Riley et al. (1983), establecen como valor límite un espesor de grasa subcutánea menor a 6.5mm sobre el *longissimus dorsi* a la altura de la 12ª costilla, para lograr el efecto beneficioso de la EE. A su vez, Boleman et al. (1996), concluyen que el espesor de grasa subcutánea y la fuerza de corte están significativamente ($P < 0.01$) correlacionadas (- 0.36).

A modo de síntesis, el efecto de la estimulación eléctrica sobre la terneza de la carne, en el presente trabajo, no se debe por la ruptura física de las fibras musculares, ya que se utilizó bajo voltaje y baja frecuencia. El efecto sobre la terneza se debe al aumento de la proteólisis muscular (debido al complejo de enzimas catepsinas y calpaínas) producto de la disminución del pH a las 36 horas *post mortem*, así como también a la reducción del “acortamiento por frío”.

El efecto de la maduración se debe a que cuanto mayor es el tiempo de maduración, permitiría una mayor proteólisis muscular, como mecanismo principal que explicaría los cambios de textura conforme aumentan los tiempos de conservación.

4.2.3 Análisis sensorial

4.2.3.1 Terneza

En el cuadro 7 a continuación, se muestra la estadística descriptiva de los valores de terneza asignados por el panel de consumidores.

Cuadro 7. Valores de terneza asignados por el panel de consumidores para los tratamientos evaluados.

Tiempo maduración	Estimulación eléctrica		Promedio
	Control	Tratado (EE)	
1 día	5,67	5,77	5,72 a
3 días	6,06	6,59	6,33 b
7 días	6,76	7,09	6,93 c
Promedio	6,17 A	6,5 B	

(a, b): Medias seguidas por distinta letra en diferente fila, difieren estadísticamente por el test de Tukey ($P \leq 0,05$).

(A, B): Medias seguidas por distinta letra en diferente columna, difieren estadísticamente por el test de Tukey ($P \leq 0,05$).

A diferencia del análisis instrumental, el panel de consumidores encontró diferencias significativas en la terneza de la carne madurada a los 3 días respecto a 1 día de maduración, mostrando una mayor sensibilidad de esta prueba, frente a la valoración instrumental realizada por la cizalla de Warner-Bratzler. Conforme aumenta el periodo de maduración, mejoran los valores de terneza.

El consumidor durante el acto de la masticación experimenta un sin número de sensaciones, entre ellas resistencia del producto a las fuerzas aplicadas o ejercidas (Monsón, 2004). No obstante, existe una gran complejidad, no sólo de las variables sensoriales sino también de las diversas fuerzas que interactúan en el acto de la masticación (fuerzas y direcciones multivariantes) que hacen que sea escasamente reproducible en forma mecánica (Pearson, citado por Monsón, 2004). Las medidas instrumentales y las sensoriales son dos sistemas de medidas complementarios y no sustitutivos (Szczesniak, citado por Monsón, 2004).

En este sentido, hay varios trabajos que indican una alta correlación para la terneza entre el panel sensorial y el instrumental WBSF, pero según sea la escala utilizada por el panel, ésta alta correlación puede ser negativa o positiva. Platter et al. (2003) encontraron una correlación moderadamente alta y positiva ($r = 0.63$ $P \leq 0.05$), ya que en este caso los consumidores evaluaron la terneza de las muestras de carne con una escala de gusta / no gusta desde 1 (extremadamente gusta) a 9 (extremadamente no gusta). A su vez, Otremba et al., Wheeler et al., citados por Platter et al. (2003), reportaron una correlación entre valores de WBSF y los valores de terneza del panel de $r = -0.68$ y -0.85 respectivamente, indicando que cuanto mayor es el valor de WBSF, menor es la puntuación de terneza por parte del panel. Por otra parte, Wheeler et al., citados por Shackelford et al. (1997), encontraron que las puntuaciones de terneza por el panel de consumidores tenían una alta repetibilidad ($R = 0.79$ a 0.90) frente a los valores de WBSF. En el presente trabajo, si bien el panel sensorial obtuvo la misma tendencia que el instrumental, no se pudo calcular una correlación debido a la baja cantidad de muestras, siendo un muestreo no representativo para obtener una correlación significativa.

En el presente trabajo, la carne con EE fue catalogada como más tierna, frente a la de los animales control. Estos valores concuerdan con los obtenidos por Davis et al. (1981), Wheeler et al. (1990), Strydom et al. (2005), donde lograron mayores valores en terneza mediante la aplicación de EE (4.8 vs 4.3; 5.9 vs 4.8; 5.5 vs 4.8 respectivamente). El músculo sufre una serie de transformaciones bioquímicas conocidas globalmente bajo el término de maduración y que afectan a la estructura de las miofibrillas dando como resultado una mayor terneza de la carne (Bianchi et al., 2006).

Está generalmente aceptado que las características de las fibras, el contenido de glucógeno muscular, el contenido y solubilidad del colágeno, la actividad de las proteasas y sus inhibidores durante la maduración son los parámetros fisiológicos más

importantes que determinan la ternura de la carne. Tal como fue discutido anteriormente, la maduración aporta significativamente a la mejora de la ternura de la carne. Esto se debe básicamente a la acción de las calpaínas un grupo de proteasas formado principalmente por dos enzimas, μ -calpaínas las cuales actúan básicamente con bajos requerimientos de Ca^{+} y pH cercano a 7 y las m-calpaínas las cuales presentan altos requerimiento de Ca^{+} . La literatura revisada ha sugerido que la μ -calpaína cumpliría su función proteolítica en los primeros estadios de la maduración, y que la m-calpaína en los procesos de tiernización en periodos más largos; esto atribuido a que durante la maduración se ha observado un descenso en la concentración de μ -calpainas, mientras que de m-calpainas permanece constante (Monsón, 2004).

También responsable de la maduración es el grupo enzimático lisosomal de las catepsinas el cual presenta un pH de actividad óptimo de 5,2 (pH 5,6 actividad del 50%, pH de 6 actividad de 20%) (Monsón, 2004). Aunque la acción de la enzimas lisosomales parecería provocar una gran alteración de la estructura miofibrilar, es la acción conjunta con las calpaínas la que actúa en los procesos de maduración de la carne (Valin y Ouali, Taylor et al., citados por Monsón, 2004).

El significado físico de los parámetros mecánicos de la carne se ve modificado a lo largo de la maduración y así cuando la carne está madurada, por un largo periodo, las fibras musculares ejercen muy poca resistencia al efecto de la cizalla, siendo finalmente el tejido conjuntivo el que opone resistencia a la deformación. En este sentido Nishimura et al. (1995), han demostrado que durante la maduración se produce cierto grado de proteólisis en el tejido conjuntivo. A su vez, para Takahashi (1996) la tiernización de la carne, es decir el ablandamiento, se produce en dos fases, una primera y rápida debida fundamentalmente al debilitamiento de las miofibrillas y una segunda etapa más lenta, debida al debilitamiento de la estructura conectiva. Para O'Connor et al. (1997), el mayor porcentaje de ablandamiento *post mortem* de la carne se produce durante los primeros 7 días. Esto concuerda con los resultados del presente trabajo donde a medida que transcurren los días de maduración, la ternura de la carne se ve mejorada.

4.2.3.2 Sabor y aceptabilidad

En el cuadro 8 a continuación, se muestra la estadística descriptiva para los valores de calidad de sabor asignados por el panel de consumidores.

Cuadro 8. Valores de calidad de sabor asignados por el panel de consumidores para los tratamientos evaluados.

Tiempo maduración	Estimulación eléctrica		Promedio
	Control	Tratado (EE)	
1 día	6,44	6,35	6,39 a
3 días	6,69	6,98	6,83 b
7 días	6,93	7,00	7,01 b
Promedio	6,69 A	6,81 A	

(a, b): Medias seguidas por distinta letra en diferente fila, difieren estadísticamente por el test de Tukey ($P \leq 0,10$).

(A, B): Medias seguidas por distinta letra en diferente columna, difieren estadísticamente por el test de Tukey ($P \leq 0,10$).

Los resultados arrojan que para el parámetro de sabor, no hubo diferencias significativas mediante la utilización de la EE. En cambio a partir de los 3 días de maduración, se observan diferencias significativas en el sabor de la carne. Esto indica que la EE *per se* no influye en el sabor de la carne, en cambio si lo hace la maduración.

El tiempo de maduración es un componente fundamental en el desarrollo de los precursores del sabor de la carne (Ouali, citado por Franco et al., 2008a). La maduración provoca una alteración en la estructura muscular, resultando en la formación de componentes precursores del aroma y del flavor. La liberación de péptidos y aminoácidos proviene de la degradación de la matriz protéica (Bailey, citado por Monsón, 2004). Estos precursores intervendrán en las reacciones de Maillard (reacciones químicas que se producen entre las proteínas y los azúcares reductores que se dan al calentar la carne tratándose básicamente de una especie de caramelización del alimento). En los experimentos de Campo, Adelino, citados por Franco et al. (2008a), los atributos de terneza, jugosidad, olor (intensidad global, olor a hígado y calidad del olor) y sabor (intensidad global de sabor, sabor ácido, sabor hígado, calidad de sabor), aumentaron conforme lo hizo la maduración, sugiriendo la necesidad de un período de maduración para mejorar la terneza y el desarrollo de los sabores característicos en la carne bovina.

Por otra parte, otros autores (Nishimura et al., Ahmed et al., citados por Monsón, 2004) indican que el sabor de la carne de bovino no se ve mejorado durante la maduración (períodos de 3, 7 y 14 días). Para el caso del presente trabajo, se constataron diferencias significativas hasta los 3 días de maduración, por lo que mayores periodos de maduración no lograron mejoras en el sabor.

En el cuadro 9 a continuación, se muestra la estadística descriptiva de los valores de aceptabilidad asignados por el panel de consumidores.

Cuadro 9. Valores de aceptabilidad asignados por el panel de consumidores para los tratamientos evaluados.

Tiempo maduración	Estimulación eléctrica		Promedio
	Control	Tratado (EE)	
1 día	6,22	6,36	6,29 a
3 días	6,55	6,95	6,75 b
7 días	7,17	7,21	7,19 c
Promedio	6,66 A	6,85 A	

(a, b): Medias seguidas por distinta letra en diferente fila, difieren estadísticamente por el test de Tukey ($P \leq 0.10$).

(A, B): Medias seguidas por distinta letra en diferente columna, difieren estadísticamente por el test de Tukey ($P \leq 0.10$).

El mismo comportamiento ocurre en la Aceptabilidad, donde no hubo diferencias significativas mediante la aplicación de EE. En cuanto a la maduración, conforme aumentan los días, las diferencias en los valores de Aceptabilidad son significativas, explicado en parte por la mejora tanto de la terneza como del sabor a medida que transcurren los días de maduración.

Las evaluaciones subjetivas son de suma importancia, ya que en la literatura revisada, la mayoría de las evaluaciones incluyen terneza, jugosidad, flavor, cantidad de tejido conectivo y fibrilar, aceptabilidad general, por lo que es más subjetivo y detallado en encontrar diferencias que la cizalla WB no encuentra. A su vez, la Aceptabilidad general es un parámetro muy especial ya que depende de una amplia gama de factores interrelacionados, que expresan las preferencias del consumidor, siendo dichos factores tales como la educación, los hábitos alimenticios familiares, la nacionalidad, el sexo, la edad, la renta, la disponibilidad y precio del alimento y la frecuencia de uso.

A modo de síntesis, los resultados obtenidos con el análisis sensorial, confirman la misma tendencia encontrada en el análisis instrumental, con un efecto más importante del tiempo de maduración ($P < 0.001$), frente a la EE ($P < 0.05$), sin evidenciarse efectos de interacción entre los tratamientos.

De los tres parámetros sensoriales evaluados, la utilización de EE mejoró la terneza de la carne, sin mostrar efectos significativos ($P > 0.10$) en calidad de sabor o aceptabilidad general de la carne. En cambio para la maduración, el panel de consumidores detectó diferencias significativas en cada uno de los tiempos de

maduración para los parámetros de Terneza y Aceptabilidad, indicando que a mayor maduración, mejoran las calificaciones. Para el caso de la calidad del Sabor, periodos mayores a 3 días de maduración no lograron mejores calificaciones. La mayor sensibilidad del panel de consumidores, frente a la valoración instrumental realizada por la cizalla de Warner-Bratzler, concuerda con lo señalado por Bianchi (2007), trabajando con ovinos.

5. CONCLUSIONES

La información obtenida en el presente trabajo demuestra que la aplicación de EEBV a canales de novillos de razas Británicas:

- No afectó la merma de peso de canal (diferencia entre peso canal caliente y fría).
- Los valores de pH final fueron significativamente menores.
- Mejoró el color de la carne, ya que fueron significativamente superiores los parámetros de a^* , b^* y Croma y significativamente inferior en el Tono en comparación con los mismos parámetros de las canales control.
- Mejoró significativamente los valores de terneza instrumental y las notas de terneza por parte del panel sensorial de consumidores.
- Sin embargo, no se evidenció efecto significativo sobre los parámetros de calidad de Sabor y Aceptabilidad general de la carne, evaluados por el panel de consumidores.

En relación a los tiempos de maduración analizados:

- La carne madurada por 7 días obtuvo un significativo menor valor de fuerza de corte que las muestras de carne maduras por 1 y 3 días.
- Con la utilización de la EEBV, se obtuvo valores de fuerza de corte, para la carne madurada por 1 día, similares a los obtenidos por la carne sin estimulación con 7 días de maduración.
- Conforme aumenta el tiempo de maduración, mejora significativamente la terneza de la carne.
- A diferencia del análisis textural, el panel de consumidores encontró diferencias significativas en terneza para carne madurada a los 3 días con respecto a la madurada por 1 día, mostrando una mayor sensibilidad de esta prueba frente a la valoración instrumental realizada por la cizalla Warner-Bratzler.
- Conforme aumenta el tiempo de maduración, el panel de consumidores encuentra la carne significativamente más sabrosa y logra una mayor aceptabilidad también, ya que tanto la terneza como el sabor mejoran a medida que transcurre la maduración.

5.1 COMENTARIOS FINALES

Si bien no hubo interacción entre Estimulación Eléctrica y Tiempo de Maduración, hay un dato que es interesante remarcar, y es que con la utilización de EEBV, se obtuvo valores de fuerza de corte, para carne madurada por 1 día, similares a los obtenidos por la carne sin estimulación con 7 días de maduración. Para que este dato sea certero, se debería haber hecho más mediciones y con un mayor número de animales para su significancia.

En cuanto a la aplicación práctica de la EEBV, ésta aparece como una técnica extremadamente viable y fácil de incorporar para la industria dado que se trata técnica muy práctica, poco riesgosa para el operario y poco costosa para la industria. En nuestro trabajo se utilizó la EEBV, debido a que no solo se encontraba instalada en la planta frigorífica, sino que era utilizada por ésta (principalmente para disminuir el pH de las carcasas), por lo que la industria está familiarizada con dicha técnica, facilitando su posible implementación e incorporación a la cadena de producción. De todos modos, si hubiera habido un equipo de EEAV, los resultados a obtener serían los mismos, quizás con mayor efecto de la EE, ya que la tendencia según la bibliografía es que haya mayor efecto con EEAV, pero con una tecnología con mayores requerimientos y con una incorporación más dificultosa en la cadena de producción.

En cuanto a la aplicación práctica para categorías animales, en nuestro trabajo se logró un impacto en la terneza por medio de la aplicación de EEBV, en carcasas de novillos muy pesados (540 kg) y muy bien terminados (9.8 mm EGS), por lo que es esperable que esta técnica tenga mayor impacto en carcasas más livianas y menos terminadas (ya que el EGS funciona como aislante, logrando una menor tasa de enfriado de la carcasa, evitando el “acortamiento por frío”), que es lo que la mayoría de nuestras industrias reciben.

6. RESUMEN

El color y la terneza aparecen como las características más relevantes al evaluar las exigencias de los mercados consumidores. El color condiciona la decisión de compra mientras que la terneza es el parámetro que mas influye en la reiteración de compra por parte del consumidor. La variabilidad en la terneza de nuestras carnes se debe principalmente al efecto de los factores *pre mortem*, sumándose a esto además que la industria no busca métodos *pos mortem* que la homogenicen. La estimulación eléctrica (EE) aparece como un técnica de bajo costo, con posibilidad de obtener respuesta tanto en color como en la mejora de la terneza de la carne, en función del manejo *post mortem* que realiza la industria. El propósito de este trabajo es evaluar el efecto de la estimulación eléctrica de bajo voltaje (EEBV) sobre las características sensoriales (terneza, sabor y aceptabilidad) e instrumentales (fuerza de corte, color y pH) de la carne, en novillos en pastoreo, con tiempos cortos de maduración (1, 3 y 7 días). Se utilizaron 32 novillos de razas británicas carniceras pertenecientes a un mismo rodeo. Estos fueron estratificados en dos grupos según estado corporal, dentición y peso vivo, de manera de lograr dos grupos lo mas homogéneos posibles. Al momento de la faena, la mitad de los novillos recibió una EEBV (80V con una frecuencia de 15Hz por 30 segundos), luego del degüello, mientras la otra mitad se comportó como el grupo Control. Luego de 36 horas *post mortem* se retiran las canales de la cámara de frío, para realizar las mediciones de peso de canal frío, pH final, color y espesor de grasa subcutánea sobre el músculo *longissimus dorsi* a la altura de la 10ª costilla. En el desosado, se extrajeron 6 muestras de 2.5cm de espesor de la porción costal del *longissimus dorsi*, de la canal izquierda a cada una de las 32 reses, las cuales se destinaron a los análisis de textura y panel sensorial para los tres tiempos de maduración mencionados. Para el caso del análisis textural, el diseño experimental fue parcelas divididas al azar. Con dos factores; 1) el estímulo, con dos niveles (sin y con estimulación), 2) Los tiempos de maduración, con 3 niveles (1, 3 y 7 días). Para el análisis sensorial, se ajustó un modelo lineal generalizado asumiendo que la variable de respuesta (terneza, calidad de sabor y aceptabilidad) fue una variable subjetiva con distribución multinomial ordinal. Los resultados mostraron que la aplicación de EEBV no afectó las mermas de peso canal (4.9 vs 5.2 Kg, $P > 0.10$), para las canales C y EE respectivamente. En las características de la carne, con la utilización de la EEBV se obtuvo un menor pH a las 24 horas *post mortem* (5.46 vs 5.59, $P \leq 0.10$). Para el color, los resultados arrojaron que el uso de la EEBV obtuvo mayores valores ($P \leq 0.10$) de los parámetros a^* , b^* y croma, así como también un menor valor ($P \leq 0.10$) en el tono. Esto indica una carne más roja, con mayor intensidad de color y con menor tonalidad de gris. En el análisis instrumental de terneza de la carne no hubo interacción entre maduración y EEBV. En cuanto al efecto de los tratamientos la carne de carcasas estimuladas obtuvo menores valores ($P \leq 0.10$) de fuerza de corte (4.0 vs 3.4 WBSF). En relación a los tiempos de maduración, la carne madurada por 7 días obtuvo menores valores ($P \leq 0.10$) en la fuerza de corte frente a los restantes periodos de maduración. Al igual que en el análisis instrumental, para cada uno de los parámetros analizados por el panel de

consumidores, no hubo interacción entre el tiempo de maduración y la EEBV. Los resultados de esta prueba indican que las muestras con EE fueron catalogadas como más tiernas (3.4 vs 4.0, $P \leq 0,10$). A diferencia del análisis instrumental, el panel de consumidores encontró diferencias significativas en la terneza madurada a los 3 días respecto a 1 día de maduración. Para los parámetros de sabor y aceptabilidad, no se reflejó una mejora mediante la aplicación de EEBV ($P > 0,10$). En cambio, conforme aumenta el tiempo de maduración, el panel de consumidores encuentra la carne más sabrosa (6.39 vs 7.01, $P \leq 0,10$, para 1 y 7 días respectivamente) y logra una mayor aceptabilidad (6.29, 6.75 y 7.19, $P \leq 0,10$, para 1, 3 y 7 días respectivamente), ya que tanto la terneza como el sabor mejoran a medida que transcurre la maduración. En función de los resultados obtenidos, la aplicación de EEBV aparece como una técnica promisorio, de bajo costo, práctica y de fácil y rápida adaptación a la forma de trabajo de la industria nacional, que mejora la terneza y el color de la carne vacuna.

Palabras claves: Bovino; Maduración; Estimulación eléctrica; Calidad de carne; Panel de consumidores.

7. SUMMARY

Meat colour and tenderness are the most important characteristics when assessing the demands of consumer markets. The colour determines the purchase decision while tenderness is the parameter that most influence in repeating purchase by consumers. The variability in tenderness of our meat is owed mainly by the effects of *pre mortem* factors, adding to this that the industry does not search for post mortem methods to homogenize it. Electrical stimulation (ES) appears like a low cost technique, with possibility of obtaining response in colour as well as in improving the tenderness of meat, depending on the *post mortem* handling carried out by the industry. The purpose of this work is to evaluate the effect of low-voltage electrical stimulation (LVES) in sensory (tenderness, taste and acceptability) and instrumental characteristics (Shear force, colour and pH) of meat, over grazing steers, with short aging time (1, 3 and 7 days). 32 British cross steers, belonging to the same establishment, were used. These were classified in two groups according to their corporal condition, age and pre slaughter liveweight, in order to obtain two groups as most homogeneous as possible. At slaughter, half of the steers received a LVES (80V, 15 Hz frequency for 30 seconds), after bleeding, while the other half behaved as the control group. After 36 hours *post mortem*, the sides of the carcasses were removed from the chilling chamber, for cold carcass weight, ultimate pH and subcutaneous fat depth (10th rib) measurements. During deboning, 6 samples (2.5cm thick) were removed from the costal portion of *longissimus dorsi*, from the left side of each one of the 32 carcasses, which went to the textural analysis and sensory panel for the three ageing periods mentioned. For the textural analysis, a random divided plot design was used, with two factors: the stimulus, with two levels (without and with stimulation), and ageing times, with three levels (1, 3 and 7 days). A lineal generalized model was adjusted for the sensory analysis, assuming that the response variable was a subjective ordinal variable with a multinomial distribution. The results showed that the use of LVES did not affect carcass weight loss (4.9 vs 5.2 kg, $P > 0.10$), for control and ES carcass respectively. In meat characteristics, by using LVES, a minor 24 hours *post mortem* pH value was obtained (5.46 vs 5.59, $P \leq 0.10$). For colour, results indicate that the use of LVES obtained higher values ($P \leq 0.10$) in a^* , b^* and Chroma parameters, as well as a lower value ($P \leq 0.10$) in Hue. This indicates a more redder meat, with major colour intensity and less grey tonality. In the instrumental analysis for meat tenderness, there was no interaction between ageing and LVES. In the effects of the treatments, meat from stimulated carcasses obtained lower ($P \leq 0.10$) shear force values (4.0 vs 3.4 WBSF). In relation to the ageing time, meat aged for 7 days obtained lower ($P \leq 0.10$) shear force values in comparison to the other ageing times. Same as in the instrumental analysis, for every each one of the parameters analyzed by the consumers panel, there was no interaction between ageing time and LVES. Results of this test indicates that samples with ES were catalogued as more tender (3.4 vs 4.0, $P \leq 0.10$). Unlike the instrumental analysis, the consumers panel found significant differences in tenderness aged for 3 days compared with 1 day of ageing. For taste and acceptability parameters, an improvement was not reflected by using LVES ($P > 0.10$).

In contrast, as ageing time increases, consumers panel found meat more tastiest (6.39 vs 7.01, $P \leq 0,10$, for 1 and 7 days respectively) and achieves a major acceptability (6.29, 6.75 and 7.19, $P \leq 0,10$, for 1, 3 and 7 days respectively), since both tenderness and taste improves as ageing increases. In regards of the results obtained, the application of LVES appears as a promising low-cost technique, practical, easy and quick adaptation to the working scheme of the industry, which enhances the colour and tenderness of beef.

Key words: Bovine; Ageing; Electrical stimulation; Meat quality; Consumers panel.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. AALHUS, J.L.; LARSEN, I.L.; DUBESKI, P.L.; JEREMIAH, L.E. 2000. Improved beef tenderness using a modified on-line carcass suspension method with, or without low voltage electrical stimulation. *Canadian Journal of Animal Science*. 80: 51-58.
2. ALBERTI, P.; PANEA, B.; RIPOLL, G.; SAÑUDO, C.; OLLETA, J.L.; HEGUERUELA, I.; CAMPO, M.M.; SERRA, X. 2005. Medición del color. In: Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Montevideo, INIA. pp. 216-225 (Monografías INIA. Serie Ganadera no. 3).
3. ANTON, C. 2005. Revisión bibliográfica de color. (en línea). Córdoba, Universidad de Córdoba. 43 p. Consultado abr. 2009. Disponible en http://www.uco.es/organiza/departamentos/prodanimal/economia/aula/img/pictorex/07_09_40_4_REVCOLOR.pdf.
4. BARRIADA, M. 1995. Variables que determinan la calidad de la canal y de la carne en vacuno. *Bovis*. 66: 95-112.
5. BAVERA, G.A. 2005. Calidad de carne. (en línea). Córdoba, Universidad Nacional de Río Cuarto. 4 p. Consultado abr. 2009. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/carne_y_subproductos/03-calidad_de_la_carne.pdf.
6. BENDALL, J.R.; SWATLAND, H.J. 1988. A review of the relationships of pH with physical aspects of pork quality. *Meat Science*. 24: 85-126.
7. BIANCHI, G.; BENTANCUR, O.; SAÑUDO, C. 2006. La maduración de la carne de cordero como una herramienta para mejorar su terneza y calidad sensorial. *Revista Argentina de Producción Animal*. 26: 39-55.
8. _____. 2007. Identificación y cuantificación de factores que afectan la calidad de carne ovina. In: Alternativas tecnológicas para la producción de carne ovina de calidad en sistemas pastoriles. Montevideo, Hemisferio Sur. cap.7, pp. 227-283.
9. BICKERSTAFFE, R. 1996. Proteases and meat quality. *The Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*. 56: 153-162.

10. BOEHM, M.L.; KENDALL, T.L.; THOMPSON, V.F.; GOLL, D.E. 1998. Changes in the calpains and calpastatin during postmortem storage of bovine muscle. *Journal of Animal Science*. 76: 2415-2434.
11. BOLEMAN, S.J.; MILLER, R.K.; BUYCK, M.J.; CROSS, H.R.; SAVELL, J.W. 1996. Influence of realimentation of mature cows on maturity, color, collagen solubility, and sensory characteristics. *Journal of Animal Science*. 74: 2187-2194.
12. _____.; McKENNA, D.R.; RAMSEY, W.S.; PEEL, R.K.; SAVELL, J.W. 2004. Influence of feeding vitamin D₃ and aging on the tenderness of four lamb muscles. *Meat Science*. 67: 185-190.
13. BOLES, J.A.; SWAN, J.E. 2002. Processing and sensory characteristics of cooked roast beef; effects of breed, age, gender and storage conditions. *Meat Science*. 62: 419-427.
14. BRITO, G.; MONTOSI, F.; SAN JULIÁN, R.; DE MATTOS, D.; FIGURINA, G.; COZZOLINO, D. 2002. La terneza; un atributo indispensable de la calidad de la carne. *Anuario Hereford de Uruguay 2002*: 93-98.
15. CAMPO, M.M.; SAÑUDO, C.; PANEA, B.; ALBERTI, P.; SANTOLARIA, P. 1999. Breed type and ageing time effects on sensory characteristics of beef strip loin steaks. *Meat Science*. 51: 383-390.
16. _____.; SANTOLARIA, P.; SAÑUDO, C., LEPETIT, J.; OLLETA, J.L.; PANEA, B.; ALBERTI, P. 2000. Assessment of breed type and ageing time effects on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Science*. 55: 371-378.
17. CARDUZ, A. 1996. Análisis de factores que afectan el pH de la carne en condiciones comerciales. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 72 p.
18. CASTILLO, I. 2004. Mejoramiento de la vida de anaquel de la carne. (en línea). s.l., DSM Nutricional Products. s.p. Consultado abr. 2009. Disponible en http://ammvneb.net/XXVII%20CNB/memorias/Platicas_Magistrales/Magistral_13_Mejoramiento_de_la_vida.doc
19. CROSS, H.R. 1979. Effects of electrical stimulation on meat tissue and muscle properties; a review. *Journal of Food Science*. 44 (2): 509-523.

20. _____. 1994. Características organolépticas de la carne; Parte 1- Factores sensoriales y evaluación. *In* Price, J. F.; Schweigert, B. S. eds. Ciencia de la carne y productos cárnicos. Zaragoza, Acribia. pp. 279-297.
21. CROUSE, J.D.; SEIDEMAN, S.C.; CROSS, H.R. 1983. The effects of carcass electrical stimulation and cooler temperature on the quality and palatability of bull and steer beef. *Journal of Animal Science*. 56 (1): 81-90.
22. CHRYSTALL, B.B.; DEVINE, C.E.; DAVEY, C.L. 1980. Studies in electrical stimulation; postmortem decline in nervous response in lambs. *Meat Science*. 4: 69-78.
23. DAVIS, G.W.; COLE, A.B.; BACKUS, W.R.; MELTON, S.L. 1981. Effect of electrical stimulation on carcass quality and meat palatability of beef from forage- and grain-finished steers. *Journal of Animal Science*. 53: 651-657.
24. DIKEMAN, M.; DAYTON, A.D.; HUNT, M.C. 1990a. Conventional versus accelerated beef production with carcass electrical stimulation. *Journal of Animal Science*. 61: 573-583.
25. _____. 1990b. Genetic effects on the quality of meat from cattle. *In*: World Congress on Genetics Applied to Livestock (4th, 1990, Edimburgo). Proceedings. s.n.t. pp. 521-530.
26. DRANSFIELD, E. 1994. Optimisation of tenderisation, aging and tenderness. *Meat Science*. 36: 105-121.
27. DUCKETT, S.K.; ANDRAE, J.G.; PRITCHARD, G.T.; SKOW, T.A.; CUVALA, S.L., THORNGATE, J.H.; SANCHEZ, W.K. 2001. Effects of pre-slaughter administration of oral calcium gel to beef cattle on tenderness. *Canadian Journal of Animal Science*. 81: 33-38.
28. DUTSON, T.R.; SAVELL, J.W.; SMITH, G.C. 1982. Research note; electrical stimulation of ante-mortem stressed beef. *Meat Science*. 6: 159-162.
29. EILERS, J.D.; TATUM, J.D.; MORGAN, J.B.; SMITH, G.C. 1996. Modification of early postmortem muscle pH and use of postmortem aging to improve beef tenderness. *Journal of Animal Science*. 74: 790-798.
30. FAUSTMAN, C. 1990. The biochemical basis for discoloration in fresh meat; a review. *Journal of Muscle Foods*. 1: 217-243.

31. FISCHER, C.; HAMM, R. 1980. Biochemical studies on fast glycolysing bovine muscle. *Meat Science*. 4: 41-49.
32. FJELKNER-MODIG, S.; RUDÉRUS, H. 1983. The influence of exhaustion and electrical stimulation on the meat quality of young bulls. *Meat Science*. 8: 185-220.
33. FRANCO, J.; FEED, O.; GIMENO, D. 2001. Importancia de los factores productivos y tecnológicos en la calidad de canal y de la carne vacuna. *In* Jornadas Uruguayas de Buiatría (29as., 2001, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, CMVP. pp. 21-29.
34. _____.; _____.; AGUILAR, I.; GIMENO, D.; NAVAJAS, E. 2002. Calidad de la carne; pH y terneza. *In*: Seminario de Actualización Técnica Cruzamientos para Bovinos de Carne (2002, Tacuarembó). Cruzamientos en bovinos de carne. Montevideo, INIA. pp. 63-67 (Actividades de Difusión no. 295).
35. _____.; _____.; GARIBOTTO, G.; BALLEASTEROS, F.; FORICHI, E.; BENTANCUR, O.; BIANCHI, G. 2008a. Efecto de la maduración sobre la textura y calidad sensorial de la carne de vaquillonas Hereford. *Revista Argentina de Producción Animal*. 28 (1): 1-6.
36. _____.; _____.; BIANCHI, G.; GARIBOTTO, G.; BALLESTEROS, F.; NAN, F.; PERCOVICH, M.; PIRIZ, M.; BENTANCUR, O. 2008b. Parámetros de calidad de carne en cinco músculos de novillos Holando durante la maduración post-mortem. II. Evolución del color durante su almacenamiento. *Agrociencia*. 12 (1): 69-73.
37. GALLO, C. 2004. Bienestar animal y calidad de carne durante los manejos previos al faenamiento en bovinos. *In* Jornadas Uruguayas de Buiatría (32as, 2004, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, CMVP. pp. 140-150.
38. GEESINK, G.H.; KOOLMEES, P.A.; VAN LAACK, H.L.J.M.; SMULDERS, F.J.M. 1995. Determinants of tenderisation in beef longissimus dorsi and triceps brachii muscles. *Meat Science*. 41: 1-17.
39. _____.; KOOHMARAIE, M. 1999. Effect of calpastatin on degradation of myofibrillar proteins by μ -calpain under postmortem conditions. *Journal of Animal Science*. 77: 2685-2692.

40. _____.; ILIAN, M.A.; MORTON, J.D.; BICKERSTAFFE, R. 2000. Involvement of calpains in postmortem tenderisation; a review of recent research. The Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production. 60: 99-102.
41. GEORGE, A.R.; BENDALL, J.R.; JONES, C.D. 1980. The tenderising effect of electrical stimulation of beef carcasses. Meat Science. 4: 51-68.
42. GREGORY, K.E.; CUNDIFF, L.V.; KOCH, R.M.; DIKEMAN, M.E.; KOOHMARAIE, M. 1994. Breed effects, retained heterosis, and estimates of genetic and phenotypic parameters for carcass and meat traits of beef cattle. Journal of Animal Science. 72: 1174-1183.
43. GUERRERO, L. 2005. Análisis sensorial. In: Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Montevideo, INIA. pp. 397-422 (Monografías INIA. Serie ganadera no. 3).
44. HAWRYSH, Z.J.; SHAND, P.J.; WOLFE, F.H.; PRICE, M.A. 1987. Studies of extra low voltage electrical stimulation of mature beef carcasses. Meat Science. 21: 121-135.
45. HOLLUNG, K.; VEISETH, E.; FROYSTEIN, T.; AASS, L.; LANGSRUD, O.; HILDRUM, K.I. 2007. Variation in the response of post-mortem glycolysis in beef muscles by low-voltage electrical stimulation and conditioning temperature. Meat Science. 77: 372-383.
46. HOPKINSON, S.F.; RINGKOB, T.P.; BAILEY, C.M. 1985. Cutability and the effect of electrical stimulation and aging on tenderness of beef from young intact males and castrates. Journal of Animal Science. 60: 675-681.
47. HUERTA-LEIDENZ, N.; JEREZ-TIMAURE, N. 1996. Descubrimiento del valor comercial de la carne en Venezuela. In: Huerta-Leidenz, N.; Belk, K. E. eds. El ganado Brahman en el umbral del siglo XXI. Maracaibo, Astro Data. cap. 7, pp. 347-373.
48. _____.; ATENCIO-VALLADARES, O.; RODAS-GONZALEZ, A.; JEREZ-TIMAURE, N.; BRACHO, B. 1997. Características de canales de novillos y novillas acebuados producidos a pastoreo y su relación con atributos de la calidad de la carne. Archivo Latinoamericano de Producción Animal. 5(1): 565-567.
49. _____.; RODAS, A. 2001. Aspectos de la calidad de carne para inicios del nuevo milenio. (en línea). Maracaibo, Universidad del Zulia. Facultad de Agronomía.

- 18 p. Consultado abr. 2009. Disponible en <http://www.avpa.ula.ve/docuPDFs/xcongreso/aspectoscalidadcarne.pdf>
50. HUFFMAN, K.L.; MILLER, M.F.; HOOVER, L.C.; WU, C.K.; BRITTIN, H.C.; RAMSEY, C.B. 1996. Effect of beef tenderness on consumer satisfaction with steaks consumed in the home and restaurant. *Journal of Animal Science*. 74: 993-1008.
 51. INGÓLFSSON, R.; DRANSFIELD, E. 1991. The effect of low-voltage stimulation and freezing on tenderisation, enzyme activities, drip losses and cooking losses of lamb. (en línea). *Icelandic Agricultural Science*. 5: 63-80. Consultado abr. 2009. Disponible en [http://www.landbunadur.is/landbunadur/wgsamvef.nsf/5ed2a07393fec5fa002569b300397c5a/1bb5b464e8cab4b900256e1600467113/\\$FILE/gr-bu5-ri.PDF](http://www.landbunadur.is/landbunadur/wgsamvef.nsf/5ed2a07393fec5fa002569b300397c5a/1bb5b464e8cab4b900256e1600467113/$FILE/gr-bu5-ri.PDF)
 52. INSTITUTO NACIONAL DE CARNES; I.N.I.A.; C.S.U. 2003. Auditoria de calidad de la carne vacuna; un compromiso de mejora continua de la calidad de la carne vacuna del Uruguay. Montevideo. 23 p.
 53. _____. 2008. Estadística mensual faena-exportación; diciembre 2008. (en línea). Montevideo. 66 p. Consultado abr. 2009. Disponible en http://www.inac.gub.uy/servlet/com.binnov.portal.servlet.GetHttpFile/INAC_12_2008.pdf?typefile
 54. INSTITUTO DE PROMOCIONES DE CARNE VACUNA ARGENTINA (IPCVA). s.f. Calidad de la carne. (en línea). In: Curso de Producción Bovina de Carne (12º., s.f., Río Cuarto). Textos. s.l. s.p. Consultado abr. 2009. Disponible en www.ipcva.com.ar/vertext.php?id=74&palabra=calidad%20de%20la%20carne
 55. JIANG, S. 1998. Contribution of muscle proteinases to meat tenderization. *Journal of Food Science*. 22 (3): 193-201.
 56. JIMENEZ DE ARÉCHAGA, C.; PRAVIA, M.I.; XAVIER, M. 2002. Caracterización de la terneza en el proceso de producción de carne vacuna en el Uruguay y su predicción utilizando las principales variables pos mortem; pH, temperatura y color. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 134 p.
 57. JONES, B.K.; TATUM, J.D. 1994. Predictors of beef tenderness among carcasses produced under commercial conditions. *Journal of Animal Science*. 72: 1492-1501.

58. KASTNER, C.L.; SCHWENKE, J.R.; KENNEY, P.B.; CAMPBELL, R.E.; KENDALL, J.A.; MILLIKEN, G.A. 1993. Comparisons of the effect of electrical stimulation methods on postmortem pH decline in beef muscle. *Meat Science*. 35: 183-190.
59. KAUFFMAN, R.G.; MARSH, B.B. 1994. Características de calidad del músculo como alimento. *In* Price, J. F.; Schweigert, B. S. eds. *Ciencia de la carne y productos cárnicos*. Zaragoza, Acribia. pp. 317-336.
60. KIM, Y.S.; LEE, C.N.; DUPONTE, M.W.; FUKUMOTO, G.K. 2007. Improving tenderness of forage-finished beef using a low-voltage electrical stimulator. *Food Safety and Technology*. 22: 1-6.
61. KNAPP, R.H.; TERRY, C.A.; SAVELL, J.W.; CROSS, H.R.; MIES, W.L.; EDWARDS, J.W. 1989. Characterization of cattle types to meet specific beef targets. *Journal of Animal Science*. 67: 2294-2308.
62. KOCH, R.M.; CROUSE, J.D.; DIKEMAN, M.E.; CUNDIFF, L.V.; GREGORY, K.E. 1988. Effects of marbling on sensory panel tenderness in *Bos taurus* and *Bos Indicus* crosses. *Journal of Animal Science*. 66 (suppl. 1): 305.
63. KONDOS, A.C.; TAYLOR, D.G. 1987. Effect of electrical stimulation and temperature on biochemical changes in beef muscle. *Meat Science*. 19: 207-216.
64. KOOHMARAIE, M.; WHIPPLE, G.; KRETCHMAR, D.H.; CROUSE, J.D.; MERSMANN, H.J. 1991. Postmortem proteolysis in longissimus muscle from beef, lamb and pork carcasses. *Journal of Animal Science*. 69: 617-624.
65. _____.; WHEELER, T.; SHACKELFORD, S. 1994. Beef tenderness: regulation and prediction. *In*: *Beef Vanguard International Congress (94th, 1994, Buenos Aires)*. Proceedings. s.l., USDA-ARS. pp. 81-96.
66. _____. 1996a. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization process of meat. *Meat Science*. 43: 193-201.
67. _____.; DOUMIT, M.E.; WHEELER, T.L. 1996b. Meat toughening does not occur when rigor shortening is prevented. *Journal of Animal Science*. 74: 2935-2942.
68. LAWRENCE, T.E.; WHATLEY, J.D.; MONTGOMERY, T.H.; PERINO, L.J.; DIKEMAN, M.E. 2001. Influence of dental carcass maturity classification on

- carcass traits and tenderness of longissimus steaks from commercially fed cattle. *Journal of Animal Science*. 79: 2092-2096.
69. LEE, Y.B. 1986. Early postmortem measurements and conditioning in assesing and enhancing meat quality. *Journal of Animal Science*. 63: 622-632.
 70. LIU, A.; NISHIMURA, T.; TAKAHASHI, K. 1995. Structural weakening of intramuscular connective tissue during postmortem aging of chicken semitendinous muscle. *Meat Science*. 39: 135-142.
 71. LOCKER, R.H. 1989. Muscle into meat. *In*: Purchas, B.W. Butler-Hogg, A.S. eds. *Meat production and processing*. Hamilton, NZ, New Zealand Society of Animal Production. pp. 173-183 (Ocassional Publication no. 11).
 72. McCOLLUM, P.D.; HENRICKSON, R.L. 1977. The effect of electrical stimulation on the rate of post-mortem glycolysis in some bovine muscles. *Journal of Food Quality*. 1: 15-22.
 73. MAMAQUI, E. N. 1996. Influencia de la raza de terneros y del tipo de pienso en los parámetros productivos y en calidad de la carne. Master of Science. Zaragoza, España. CIHEAM. Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza. 241 p.
 74. MANCINI, R.A.; HUNT, M.C. 2005. Current research in meat color. *Meat Science*. 71: 100-121.
 75. MARSH, B.B.; RINGKOB, T.P.; RUSSELL, R.L., SWARTZ, D.R.; PAGEL, L.A. 1987. Effects of early postmortem glycolytic rate on beef tenderness. *Meat Science* 21: 241-248.
 76. MARTIN, A.H.; MURRAY, A.C.; JEREMIAH, L.E.; DUTSON, P.J. 1983. Electrical stimulation and carcass aging effects on beef carcass in relation to postmortem glycolytic rates. *Journal of Animal Science*. 57 (6): 1456-1462.
 77. MELTON, S.L. 1990. Effects of feeds on flavor of red meat; a review. *Journal of Animal Science*. 68: 4421-4434.
 78. MILLER, M.F.; CROSS, H.R.; BUYCK, M.J.; CROUSE, J.D. 1987. Bovine Longissimus dorsi muscle glycogen and color response as affected by dietary regimen and postmortem electrical stimulation in young bulls. *Meat Science*. 19: 253-263.
 79. MONIN, G. 1991. Factores biológicos de la calidad de la carne bovina. *INRA Producción Animal*. 4 (2): 35-47.

80. MONSÓN, F. 2004. Calidad de la carne en cuatro razas de vacuno a lo largo de la maduración. Tesis Doctoral. Zaragoza, España. Universidad de Zaragoza. Facultad de Veterinaria. 249 p.
81. MONTEIRO, M.; PELUFFO, M. 2001. Terneza de la carne en novillos y vaquillonas provenientes de cruzamientos entre padres razas continentales y madres de razas británicas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 66 p.
82. MORTON, H.C.; NEWBOLD, R.P. 1982. Pathways of high and low voltage electrical stimulation in sheep carcasses. *Meat Science*. 7: 285-297.
83. NISHIMURA, T.; HATTORI, A.; TAKAHASHI, K. 1996. Relationship between degradation of proteoglycans and weakening of the intramuscular connective tissue during postmortem aging of beef. *Meat Science*. 42: 251-260.
84. _____.; LIU, A.; HATTORI, A.; TAKAHASHI, K. 1998. Changes in mechanical strength of intramuscular connective tissue during postmortem aging of beef. *Journal of Animal Science*. 76: 528-532.
85. _____.; HATTORI, A.; TAKAHASHI, K. 1999. Structural changes in intramuscular connective tissue during the fattening of Japanese Black cattle; effect of marbling on beef tenderization. *Journal of Animal Science*. 77: 93-104.
86. O'CONNOR, S.F.; TATUM, J.D.; WULF, D.M.; GREEN, R.D.; SMITH, G.C. 1997. Genetic effects on beef tenderness in bos indicus composite and bos taurus cattle. *Journal of Animal Science*. 76: 282-532.
87. ODEH, F.M.T. 2003. Quantitative inheritance of calpastatin activity as an assesment measure for meat tenderness in brahman steers; a dissertation. (en línea). Louisiana, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. pp. 1-89. Consultado ene. 2009. Disponible en http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-0701103-171552/unrestricted/Odeh_dis.pdf
88. O'HALLORAN, J.M.; FERGUSON, D.M.; PERRY, D.; EGAN, A.F. 1998. Mechanism of tenderness improvement in tenderstretched beef carcasses. *In*: International Congress of Meat Science and Technology (44th, 1998, Barcelona). Proceedings. s.n.t. pp. 712-713.

89. OLIETE, B.; MORENO, T.; CARBALLO, J.A.; MONSERRAT, L.; SANCHEZ, L. 2006. Estudio de la calidad de la carne de ternera de raza Rubia Gallega a lo largo de la maduración al vacío. *Archivos de Zootecnia*. 55 (209): 3-14.
90. OLSSON, U.; HERTZMAN, C.; TORNBERG, E. 1994. The influence of low temperature, type of muscle and electrical stimulation on the course of rigor mortis, ageing and tenderness of beef muscles. *Meat Science*. 37: 115-131.
91. OYHARZABAL, C.; PIOLI, D. 2005. Efecto de la duración del transporte y tiempo de espera sobre la calidad de la canal y carne sobre vaquillonas en pastoreo. Tesis Dr. Vet. Montevideo, Uruguay. Facultad de Veterinaria. 63 p.
92. PAGE, J.K.; WULF, D.M.; SCHWOTZER, T.R. 2001. A survey of beef muscle color and pH. *Journal of Animal Science*. 79: 678-687.
93. PEARSON, A.M. 1994. La función muscular y los cambios postmortem. *In*: Price, J. F.; Schweigert, B. S. eds. *Ciencia de la carne y productos cárnicos*. Zaragoza, Acribia. pp. 139-173.
94. PLATTER, W.J.; TATUM, J.D.; BELK, K.E.; CHAPMAN, P.L.; SCANGA, J.A.; SMITH, G.C. 2003. Relationships of consumer sensory ratings, marbling score, and shear force value to consumer acceptance of beef strip loin steaks. *Journal of Animal Science*. 81: 2741-2750.
95. PRINGLE, D. 2000. Avances en la determinación de la calidad de la carne. *In*: Congreso de Producción y Comercialización de Carne (1º., 2000, Montevideo). Del campo al plato. Montevideo, s.e. pp. 1-8.
96. PURCHAS, R.W. 1990. An assessment of the role of pH differences in determining the relative tenderness of meat from bulls and steers. *Meat Science*. 27: 129-140.
97. _____. 2004. Tenderness of beef m. longissimus lumborum at normal and intermediate ultimate pH before and after a period of aging. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 47: 299-305.
98. RILEY, R.R.; SAVELL, J.W.; MURPHEY, C.E.; SMITH, G.C.; STIFFLER, D.M.; CROSS, H.R. 1983. Effects of electrical stimulation, subcutaneous fat thickness and masculinity traits on palatability of beef from young bull carcasses. *Journal of Animal Science*. 56: 584-591.
99. ROEBER, D.L.; CANNELL, R.C.; BELK, K.E.; TATUM, J.D.; SMITH, G.C. 2000. Effects of a unique application of electrical stimulation on tenderness, color,

- and quality attributes of the beef longissimus muscle. *Journal of Animal Science*. 78: 1504-1509.
100. SAÑUDO, C. 1998. Lamb meat quality. In: International Congress on Meat Science and Technology (44th., 1998, Barcelona). Proceedings. s.n.t. pp: 20-47.
 101. SAS Institute. 2005. SAS/STAT user's guide; version 9.1.3. Carey, N.C. s.p.
 102. SAVELL, J.W. 1978. Update; industry acceptance of electrical stimulation. *Reciprocal Meat Conference Proceedings*. 32: 113-117.
 103. SEIDEMAN, S.C.; CROSS, H.R.; OLTJEN, R.R.; SCHANBACHER, B.D. 1982. Utilization of the intact male for red meat production; a review. *Journal of Animal Science*. 55: 826-840.
 104. SHACKELFORD, S.D KOOHMARAIE, M.; SAVELL, J.W. 1994a. Evaluation of *Longissimus dorsi* muscle pH at three hours *pos mortem* as a predictor of beef tenderness. *Meat Science*. 37: 195-204.
 105. _____.; _____.; CUNDIFF, L.V.; GREGORY, K.E.; ROHRER, G.A.; SAVELL, J.W. 1994b. Heritabilities and phenotypic and genetic correlations for bovine post-rigor calpastatin activity, intramuscular fat content, Warner-Bratzler shear force, retail product yield, and growth rate. *Journal of Animal Science*. 72: 857-863.
 106. _____.; WHEELER, T.L.; KOOHMARAIE, M. 1995. Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *Journal of Animal Science*. 73: 3333-3340.
 107. _____.; _____.; _____. 1997. Repeatability of tenderness measurements in beef round muscles. *Journal of Animal Science*. 75: 2411-2416.
 108. SIMMONS, N.S.; DALY, C.C.; CUMMINGS, T.L; MORGAN, S.K.; JOHNSON, N.V.; LOMBARD, A. 2008. Reassessing the principles of electrical stimulation. *Meat Science*. 80 (1): 110-122.
 109. SINCLAR, K.D.; LOBELY, G.E.; KYLE, D.J.; PORTER, A.D.; MATTEWA, K.R.; WARKUP, C.C.; MALTIN, C.A. 2001. Factors influencing beef eating quality 1. Effects of nutritional regimen and genotype on organoleptic properties and instrumental texture. *Journal of Animal Science*. 72: 269-277.

110. SORHEIM, O.; IDLAND, J.; HALVORSEN, E.C.; FROYSTEIN, T.; LEA, P.; HILDRUM, K.I. 2001. Influence of beef carcass stretching and chilling rate on tenderness of *m. longissimus dorsi*. Meat Science. 57: 79-85.
111. _____.; HILDRUM, K.I. 2002. Muscle stretching techniques for improving meat tenderness. Trends in Food Science and Technology. 13: 127-135.
112. STIFFLER, D.M.; SAVELL, J.W.; SMITH, G.C.; DUTSON, T.R.; CARPENTER, Z.L. 1984. Electrical stimulation; purpose, application and results. (en línea). Texas, Texas Agricultural Extension Service. 9 p. Consultado ene. 2009. Disponible en <http://meat.tamu.edu/pdf/es.pdf>
113. STRYDOM, P.E.; FRYLINCK, L.; SMITH, M.F. 2005. Should electrical stimulation be applied when cold shortening is not a risk? Meat Science. 70: 733-742.
114. TAKAHASHI, K. 1996. Structural weakening of skeletal muscle tissue Turing post-mortem aging of meat; the non-enzymatic mechanism of meat tenderization. Meat Science. 43: 67-80.
115. TATUM, J.D.; BELK, K.E.; GEORGE, M.H.; SMITH, G.C. 1999. Identification of quality management practices to reduce the incidence of retail beef tenderness problems; development and evaluation of a prototype quality system to produce tender beef. Journal of Animal Science. 77: 2112-2118.
116. TAYLOR, R.G.; GEESINK, G.H.; THOMPSON, V.F.; KOOHMARAIE, M.; GOLL, D.E. 1995. Is Z-disk degradation responsible for postmortem tenderization? Journal of Animal Science. 73: 1351-1367.
117. TEIRA, G. 2004. Actualidad y perspectivas de un componente principal de la calidad de carnes bovinas; la terneza. Ciencia, Docencia y Tecnología. 28 (15): 215-244.
118. THONNEY, M.L.; PERRY, T.C.; ARMBRUSTER, G.; BEERMANN, D.H.; FOX, D.G. 1991. Comparison of steaks from Holstein and Simmental x Angus steers. Journal of Animal Science. 69: 4866-4870.
119. TORNBERG, E. 1996. Biophysical aspects of meat tenderness. Meat Science. 43: 175-191.
120. UYTTERHAEGEN, L.; CLAEYS, E.; DEMEYER, D.; LIPPENS, M.; FIEMS, L.O.; BOUCQUE, C.Y.; VAN DE VOORDE, G.; BASTIAENS, A. 1994.

Effects of double-muscling on carcass quality, beef tenderness and myofibrillar protein degradation in Belgian Blue White Bulls. *Meat Science*. 38: 255-267.

121. WARRIS, P.D., DESTIN, S.C., BROEN, J.N., WILKINS, L.T. 1984. The time required for recovery from maximum steers in young bulls and the prevention of dark-cutting beef. *Meat Science*. 10: 53-68.
122. _____. 1990. The handling of cattle and its effects on carcass and meat quality. *Applied Behaviour Science*. 28: 171-186.
123. WHEELER, T.L.; CUNDIFF, L.; KOCH, R. 1994a. Effect of marbling degree on beef palatability in *Bos Taurus* and *Bos Indicus* cattle. *Journal of Animal Science*. 72: 3145-3151.
124. _____.; KOOHMARAIE, M. 1994b. Prerigor and postrigor changes in tenderness of ovine Longissimus muscle. *Journal of Animal Science*. 72: 1232-1238.
125. WHIPPLE, G.; KOOHMARAIE, M.; DIKEMAN, M.E.; CROUSE, J.D. 1990. Predicting beef-longissimus tenderness from various biochemical and histological muscle traits. *Journal of Animal Science*. 68 (9): 4193-4199.
126. WULF, D.M.; WISE, J.W. 1999. Measuring muscle color on beef carcasses using the L* a* b* color space. *Journal of Animal Science*. 77: 2418-2427.
127. _____.; PAGE, J.K. 2000. Using measurements of muscle color, pH, and electrical impedance to augment the current USDA beef quality grading standards and improve the accuracy and precision of sorting carcasses into palatability groups. *Journal of Animal Science*. 78: 2595-2607.