

**EFFECTO DE LA MADURACIÓN SOBRE LA CALIDAD DE LA CARNE EN  
NOVILLOS BRANGUS**

**JULIANA PAPAEO MAZZUCCO**

Trabajo de tesis para ser presentado como requisito para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS-UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA**

**ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGROPECUARIA BALCARCE-INSTITUTO NACIONAL DE**

**TECNOLOGÍA AGROPECUARIA**

**Balcarce, Argentina  
Septiembre de 2008**

# **EFFECTO DE LA MADURACIÓN SOBRE LA CALIDAD DE LA CARNE EN NOVILLOS BRANGUS**

**JULIANA PAPAEO MAZZUCCO**

Aprobada por:

.....  
Ing. Agr. Edgardo L. Villarreal, Dr.  
Director

.....  
Ing. Agr. Lilia M. Melucci, M. Sc.  
Comité Asesor

.....  
Ing. en Prod. Agrop. Carlos A. Mezzadra, M. Sc.  
Comité Asesor

.....  
Ing. Agr. Alejandro Schor, M. Sc.  
Comité Asesor

**EFFECTO DE LA MADURACIÓN SOBRE LA CALIDAD DE LA CARNE EN  
NOVILLOS BRANGUS**

**JULIANA PAPAEO MAZZUCCO**

Aprobada por

.....  
Ing. Agr. María Cristina Miquel, Ph. D.  
Corrector Externo

## **AGRADECIMIENTOS**

A Edgardo, Carlos y Lilita por su dedicación y paciencia y por darme la oportunidad de trabajar con ellos.

A todos los amigos y compañeros del Chinchorro, con quienes compartí buenos momentos y siempre estuvieron para darme una mano.

A Alejandro Schor por las correcciones y por brindarme su apoyo en el laboratorio.

A toda la gente que colaboró para que el trabajo pudiera realizarse.

A mi novio, mi mamá y mi hermano por su cariño y aguante en todo este tiempo y siempre...

A todos muchas gracias!

## INDICE

|   |      |
|---|------|
| <b>Agradecimientos</b>  | iv   |
| <b>Índice</b>   | v    |
| <b>Índice de cuadros</b>  | viii |
| <b>Índice de figuras</b>  | ix   |
| <b>Resumen</b>  | x    |
| <b>Abstract</b>   | xi   |
| <b>1. Introducción</b>  | 1    |
| <b>2. Revisión bibliográfica</b>  | 5    |
| 2.1. Naturaleza del tejido muscular   | 5    |
| 2.1.1. Tipos de músculos y de fibras musculares                               | 5    |
| 2.1.2. Estructura del músculo   | 7    |
| 2.2. Transformación del músculo en carne                                      | 10   |
| 2.3. Maduración de la carne   | 12   |
| 2.4. Concepto de calidad  | 15   |
| 2.5. Atributos que definen la calidad de la carne y factores que los influyen | 16   |
| 2.5.1. Color  | 16   |
| 2.5.1.1. Generalidades  | 16   |
| 2.5.1.2. Factores que influyen en el color                                    | 19   |
| 2.5.1.2.1. Factores <i>ante-mortem</i>  | 19   |
| 2.5.1.2.2. Factores <i>post-mortem</i>  | 21   |
| 2.5.1.3. Métodos de determinación   | 23   |
| 2.5.2. Textura-terneza  | 28   |
| 2.5.2.1. Generalidades  | 28   |
| 2.5.2.2. Factores que influyen en la terneza                                  | 30   |
| 2.5.2.2.1. Factores <i>ante-mortem</i>  | 30   |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.5.2.2.2. Factores <i>post-mortem</i>                                 | 35        |
| 2.5.2.3. Métodos de determinación                                      | 39        |
| 2.5.3. Capacidad de retención de agua                                  | 41        |
| 2.5.3.1. Generalidades   | 41        |
| 2.5.3.2. Factores que influyen en la capacidad de retención de<br>agua | 43        |
| 2.5.3.2.1. Factores <i>ante-mortem</i>                                 | 43        |
| 2.5.3.2.2. Factores <i>post-mortem</i>                                 | 45        |
| 2.5.3.3. Métodos de determinación                                      | 48        |
| 2.5.4. Jugosidad   | 50        |
| 2.5.4.1. Generalidades   | 50        |
| 2.5.4.2. Factores que influyen en la jugosidad                         | 51        |
| 2.5.4.2.1. Factores <i>ante-mortem</i>                                 | 51        |
| 2.5.4.2.2. Factores <i>post-mortem</i>                                 | 51        |
| 2.5.4.3. Métodos de determinación                                      | 52        |
| <b>3. Materiales y métodos</b>   | <b>53</b> |
| 3.1. Origen y manejo de los animales                                   | 53        |
| 3.2. Faena y obtención de las muestras de carne                        | 55        |
| 3.3. Determinaciones de calidad de la carne                            | 56        |
| 3.3.1. Determinaciones físicas   | 56        |
| 3.3.1.1. pH final  | 56        |
| 3.3.1.2. Resistencia al corte (como medida de la ternura)              | 57        |
| 3.3.1.3. Color   | 57        |
| 3.3.1.4. Pérdidas por descongelación                                   | 58        |
| 3.3.1.5. Pérdidas por cocción  | 58        |
| 3.3.2. Determinación química   | 59        |

|   |     |
|---|-----|
| 3.3.2.1. Materia seca   | 59  |
| 3.3.2.2. Extracto etéreo  | 59  |
| 3.4. Análisis estadístico de la información                         | 60  |
| <b>4. Resultados</b>  | 65  |
| 4.1. Evolución del pH y la temperatura <i>post-mortem</i> de la res | 65  |
| 4.2. Determinaciones de calidad de la carne                         | 69  |
| 4.2.1. Determinaciones físicas                                      | 69  |
| 4.2.1.1. pH final   | 69  |
| 4.2.1.2. Resistencia al corte                                       | 70  |
| 4.2.1.3. Color  | 74  |
| 4.2.1.4. Pérdidas por descongelación                                | 75  |
| 4.2.1.5. Pérdidas por cocción                                       | 77  |
| 4.2.2. Determinación química  | 78  |
| 4.3. Correlación parcial entre los atributos de calidad de carne    | 79  |
| 4.4. Efecto de padre  | 80  |
| <b>5. Discusión</b>   | 82  |
| 5.1. Evolución del pH y la temperatura <i>post-mortem</i>           | 82  |
| 5.2. Determinaciones de calidad de carne                            | 83  |
| 5.2.1. Determinaciones físicas                                      | 83  |
| 5.2.2. Determinación química  | 92  |
| 5.3. Efecto de padre  | 93  |
| <b>6. Conclusiones</b>  | 96  |
| <b>7. Bibliografía</b>  | 97  |
| <b>8. Apéndice</b>  | 109 |

**INDICE DE CUADROS**

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Heredabilidades para ternera instrumental (Warner Braztler) y sensorial   | 31 |
| <b>Cuadro 2.</b> Número de hijos por padre y establecimiento   | 53 |
| <b>Cuadro 3.</b> Estimaciones de mínimos cuadrados y error estándar de pH para la interacción entre fecha de faena y hora de medición  | 66 |
| <b>Cuadro 4.</b> Estimaciones de mínimos cuadrados y error estándar de temperatura para la interacción entre fecha de faena y hora de medición   | 68 |
| <b>Cuadro 5.</b> Caracterización de los atributos de calidad de carne  | 69 |
| <b>Cuadro 6.</b> Estimaciones de mínimos cuadrados $\pm$ error estándar de los atributos de calidad de carne evaluados según efectos principales   | 71 |
| <b>Cuadro 7.</b> Estimaciones de mínimos cuadrados $\pm$ error estándar para la interacción entre fecha de faena y tratamiento de maduración sobre pHu, resistencia al corte, b* y pérdidas por descongelación y cocción | 72 |
| <b>Cuadro 8.</b> Estimaciones de mínimos cuadrados $\pm$ error estándar del extracto etéreo de la carne  | 78 |
| <b>Cuadro 9.</b> Coeficientes de correlación parcial entre los atributos de calidad de carne   | 79 |
| <b>Cuadro 10.</b> Coeficientes de correlación parcial entre el extracto etéreo y la resistencia al corte de la totalidad de muestras evaluadas y según el tratamiento de maduración                                      | 80 |
| <b>Cuadro 11.</b> Efecto de padre sobre los atributos de calidad de carne  | 81 |

**INDICE DE FIGURAS**

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Estructura del músculo   | 7  |
| <b>Figura 2.</b> Estructura de la miofibrilla   | 9  |
| <b>Figura 3.</b> Resistencia al corte en <i>Longissimus thoracis et lumborum</i> de ovino a diferentes horas <i>post-mortem</i> | 12 |
| <b>Figura 4.</b> Efecto del pH en la cantidad de agua inmovilizada de la carne  | 44 |
| <b>Figura 5.</b> Descenso promedio de pH de la res. Del total de animales (a) y por fecha de faena (b)                          | 65 |
| <b>Figura 6.</b> Descenso promedio de temperatura de la res. Del total de animales (a) y por fecha de faena (b)                 | 67 |
| <b>Figura 7.</b> Efecto de interacción entre fecha de faena y tratamiento de maduración sobre el pH final.                      | 70 |
| <b>Figura 8.</b> Efecto de interacción entre fecha de faena y tratamiento de maduración sobre resistencia al corte.             | 73 |
| <b>Figura 9.</b> Efecto de interacción entre fecha de faena y tratamiento de maduración sobre b*.                               | 75 |
| <b>Figura 10.</b> Efecto de interacción entre fecha de faena y tratamiento de maduración sobre las pérdidas por descongelación. | 76 |
| <b>Figura 11.</b> Efecto de interacción entre fecha de faena y tratamiento de maduración sobre las pérdidas por cocción.        | 77 |

## RESUMEN

Se utilizaron 193 terneros de destete de raza Brangus, provistos por seis cabañas pertenecientes a la Asociación Argentina de Brangus, engordados sobre pasturas permanentes en el oeste de la provincia de Buenos Aires y faenados a lo largo de 6 fechas (F) al alcanzar 6 mm de espesor de grasa dorsal ecográfico, resultando en un promedio de peso vivo de 457 kg. En la res se registró la evolución del pH y temperatura durante las primeras 24 horas *post-mortem*. Se extrajeron tres bifes (costillas 11<sup>a</sup> a 13<sup>a</sup>) de cada media res izquierda, los que se envasaron al vacío y asignaron al azar a tres tratamientos de maduración *post-mortem* (T) a 2-5 °C: 1, 7 y 14 días. En laboratorio se determinó el pH final (pHu), la resistencia al corte (Rc), las coordenadas de color L\*a\*b\* y las pérdidas por descongelación (Pd) y cocción (Pc). Las coordenadas L\* y a\* mejoraron con la maduración. Se detectó interacción entre F y T para pHu, Pd, Pc, Rc y b\*. Para las primeras tres características la interacción se produjo por cambios en el ordenamiento en las medias de T entre fechas. En cambio, para Rc y b\* la interacción se dio por cambios en la magnitud de la diferencia entre medias de T. Se observó que los valores de Rc disminuyeron y los de b\* aumentaron con la maduración. La técnica de descongelación afectó a Rc, b\*, Pd y Pc. Se detectó efecto fenotípico de padre sobre Rc y L\*. Se concluye que, para la muestra de la raza Brangus estudiada, la maduración mejora el color, la terneza y la jugosidad, siendo 14 días de almacenamiento la duración más favorable. Por otra parte, los resultados sugieren que podría haber un componente genético dentro de la variación fenotípica en Rc y L\*, lo que debe ser estudiado.

Palabras clave: Brangus, carne bovina, atributos de calidad, maduración

## ABSTRACT

One hundred and ninety-three weaning Brangus calves coming from six pedigree breeding herds belonging to the Argentine Brangus Association were used. Calves were fattened on pastures in a commercial farm located in the west of Buenos Aires province and slaughtered along six dates (D) with a mean live-weight of 457 kg, when they reached 6mm of ultrasound back-fat thickness. Carcass pH and temperature were measured between 1h and 24h *post-mortem*. Three steaks corresponding to the left half-carcass 11<sup>th</sup> to 13<sup>th</sup> rib were obtained, vacuum packed and randomly assigned to three treatments (T) of *post-mortem* ageing length at 2-5°C: 1, 7 and 14d. At the meat laboratory the following measurements were recorded: pH ultimate (pH<sub>u</sub>), Warner-Bratzler shear force (WB), L\*, a\* and b\* colour parameters and thawing (T<sub>i</sub>) and cooking (C<sub>i</sub>) losses of meat. Increasing ageing length significantly improved L\* and a\*. A significant D\*T interaction was detected for pH<sub>u</sub>, T<sub>i</sub>, C<sub>i</sub>, b\* and WB. For the first three variables the interaction was explained by treatment means ranking differently in the different slaughter dates, whereas for b\* and WB means ranking didn't change, increasing and diminishing, respectively, with increasing ageing length. An important effect of thawing technique on WB, b\*, T<sub>i</sub> and C<sub>i</sub> was observed. The inclusion of the sire of steer random effect in the model of analyses revealed significance for WB and L\*. It is concluded that in the Brangus breed sample studied, ageing is useful to improve meat colour, juiciness and tenderness, with 14d-length being best among the treatments studied. Results also suggest that a genetic component may exist within the phenotypic variation of meat tenderness and brightness, which must be further studied.

Key-words: Brangus, beef, quality traits, ageing

## 1. INTRODUCCIÓN

La transformación *post-mortem* del músculo en carne y sobre todo el fenómeno de tiernización, es el resultado de un conjunto de cambios estructurales y bioquímicos que tienen lugar en la célula muscular. La naturaleza y alcance de estos cambios, y por lo tanto de la calidad de la carne, están muy influenciados por la especie animal y por las características fisiológicas y bioquímicas del músculo, así como por las condiciones de manejo *pre* y *post-mortem* (Lawrie, 1998).

La calidad de la carne se puede caracterizar mediante la palatabilidad, el color, el valor nutricional y la inocuidad (Koochmaraie and Geesink, 2006).

La palatabilidad es apreciada a través de la terniza, jugosidad y flavor. De estos atributos, la terniza es considerada el criterio de calidad más importante (Miller *et al.*, 2001). En este sentido, Boleman *et al.* (1997) indicaron que los consumidores pagarían un mayor precio por carne de la cual conocieran el grado de terniza. La jugosidad se relaciona con la capacidad de retención de agua, que es la capacidad que posee la carne de retener el agua del tejido presente en su estructura bajo influencias externas tales como compresión, centrifugación, triturado, calentamiento (Foegeding, Lanier and Hultin, 2000; Huff-Lonergan y Lonergan, 2005). Se relaciona con la textura ya que reduce la fuerza mecánica durante la masticación debido a la liberación de fluidos de la carne (Ruiz de Huidobro *et al.*, 2004). El flavor se percibe en el momento del consumo, desarrollándose ya antes de la introducción del alimento en la boca, durante la masticación, durante y después de la deglución (Patterson, 1975). Los precursores del aroma y sabor de la carne se originan a partir de los compuestos volátiles que se desprenden durante la cocción, como consecuencia de reacciones entre los compuestos no volátiles de la carne (lípidos, carbohidratos, aminoácidos, péptidos, azúcares reductores, vitaminas y nucleótidos).

El color es el primer criterio que el consumidor utiliza para juzgar la calidad y aceptabilidad de la carne. Una carne demasiado oscura o clara a menudo causa el rechazo por parte de los consumidores (Ruiz de Huidobro *et al.*, 2004).

El valor nutricional de la carne bovina está determinado por el valor biológico de sus proteínas, el aporte de vitaminas y minerales (ej. vitaminas del grupo B y hierro, respectivamente) y ha cobrado mucha importancia el aporte de lípidos, más específicamente el tipo de ácidos grasos depositados en la carne y su relación con la salubridad y valor nutracéutico.

La inocuidad hace referencia a que la carne no debe constituir un riesgo para la salud, debe estar libre de agentes bacterianos y de residuos tales como plaguicidas, hormonas o antibióticos.

En lo que respecta al componente genético, requiere especial atención la utilización de razas cebuínas en sistemas de producción de carne. Estas razas de origen índico y, en menor medida sus cruzas con razas de origen europeo, producen carne menos tierna que las razas europeas (Koch, Dikeman and Crouse, 1982; Wheeler *et al.*, 1990b; Thompson, 2002). Varios autores, entre ellos Crouse *et al.* (1989), Gallinger *et al.* (1993), Shackelford, Wheeler and Koohmaraie (1995), Pringle *et al.* (1997) y González *et al.* (2003) determinaron que los valores de fuerza de corte aumentaban a medida que se incrementaba el porcentaje de sangre índica en la craza. Esto justificaría que en la formación de razas compuestas, que pretende aprovechar la heterosis y complementariedad, la proporción de sangre índica se mantenga a niveles relativamente bajos. Tal es el caso de la raza Brangus que en la Argentina ha

presentado un gran crecimiento poblacional en las dos últimas décadas, ya que conjuga la calidad carnicera del Angus con la rusticidad del Brahman.

Hay evidencias que demuestran que el efecto negativo del componente índico sobre la calidad de la carne puede contrarrestarse mediante el empleo de diversas técnicas *post-mortem* tales como la maduración, la utilización de estimulación eléctrica, la inyección de sales de calcio, etc. (Stolowski *et al.*, 2006; White *et al.*, 2006; Thompson, 2002; Riley *et al.*, 2005).

Valores estimados de heredabilidad para características de res y de algunos atributos de calidad de carne (entre ellas terneza) indican que la selección en razas *B. indicus* podría ser más efectiva que en razas de *B. taurus* (Shackelford *et al.*, 1994; Burrow *et al.*, 2001, Riley *et al.*, 2002).

Uno de los problemas que presentan las carnes argentinas es la inconsistencia en su terneza, ya que son producidas a partir de una variada gama de biotipos y bajo diferentes condiciones agroecológicas. Debido a que los consumidores consideran a la terneza como factor determinante de la calidad de la carne, es importante reducir su variabilidad. Por eso es importante conocer en qué medida la calidad de la carne es susceptible de ser mejorada, tanto mediante el manejo *pre* y *post-mortem*, como por medio de la selección genética.

Teniendo en cuenta estos aspectos, el presente trabajo tuvo como objetivos generales mejorar la calidad de la carne de un biotipo potencialmente limitado, y generar información para ser utilizada en el desarrollo de metodologías que permitan asegurar cierto nivel de calidad del producto final; y como objetivos específicos: determinar si existen efectos del tiempo de maduración *post-mortem* y de padre sobre

la ternera, color, capacidad de retención de agua y pH de la carne, en la raza Brangus.

Las hipótesis planteadas en este trabajo fueron:

- ✓ La maduración *post-mortem*, a temperaturas de refrigeración, mejora los atributos de calidad de la carne
- ✓ Los atributos de calidad de la carne, dentro de la raza Brangus, presentan variabilidad debida a padres

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Naturaleza del tejido muscular

#### 2.1.1. Tipos de músculos y de fibras musculares

Los músculos pueden clasificarse de diferentes formas. Una es teniendo en cuenta el color (rojos y blancos) y otra se basa en la velocidad de contracción y capacidad respiratoria.

Los músculos rojos se caracterizan por poseer un elevado contenido de mioglobina (Mb) y mitocondrias, un sistema vascular muy desarrollado y un aporte de oxígeno muy alto, por lo que están adaptados a un metabolismo oxidativo. Los músculos blancos, por el contrario, tienen bajo contenido de Mb, relativamente pocas mitocondrias, un sistema vascular poco desarrollado y están involucrados en actividades violentas de corta duración con metabolismo anaerobio (Foegeding *et al.*, 2000). La actividad glucolítica de los músculos rojos es limitada, en cambio en los músculos blancos la capacidad glucolítica es mayor.

Los músculos clasificados como de contracción rápida responden rápidamente a la estimulación, se asemejan a los músculos blancos y pueden ser oxidativos o glucolíticos. Los músculos de contracción lenta responden lentamente a la estimulación, tienen capacidad respiratoria oxidativa y presentan características fisiológicas de músculos rojos (Varnam and Sutherland, 1998).

Las fibras musculares se pueden clasificar, al igual que los músculos, de acuerdo a su color y sus propiedades metabólicas y contráctiles (Klont, Brocks and Eikelenboom, 1998):

- ✓ por medio del color en rojas, intermedias y blancas, difiriendo básicamente por su contenido en Mb y en mitocondrias (metabolismo oxidativo)

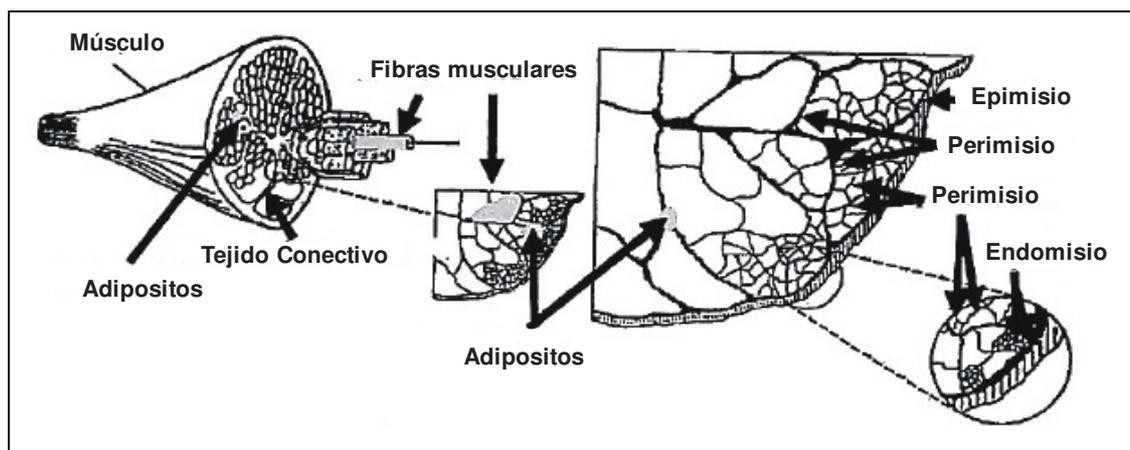
- ✓ por clasificación histoquímica basada en la sensibilidad a la actividad de la adenosín-trifosfatasa (ATPasa) en I, IIA, IIB (fibras lentas, rápidas oxidativas y rápidas glucolíticas, respectivamente)
- ✓ por combinación de la tinción para la ATPasa con el estudio de otros enzimas oxidativos y glucolíticos se las puede clasificar en  $\beta$ R (ATPasa ácido-estable y oxidativa),  $\alpha$ R (ácido-lábil y oxidativa) y  $\alpha$ W (ATPasa ácido-lábil y glucolítica)
- ✓ por combinación de la tinción histoquímica para la enzima oxidativa NADH tetrazolium reductasa y ATPasa en oxidativos de contracción lenta (SO), oxidativos-glucolíticos de contracción rápida (FOG) y glucolíticos de contracción rápida (FG)

Unos años después se adiciona otro tipo de fibra denominado IIX, que posee estabilidad acídica similar a la tipo IIB y capacidad aeróbica intermedia entre la IIB y IIA. Por lo tanto, los diferentes sistemas de clasificación se convirtieron en casi incompatibles, por ejemplo, la clasificación la SO corresponde a la tipo I, pero la FOG o FG no coincide exactamente con los tipos IIA o IIB (Klont *et al.*, 1998).

Las fibras rojas son fibras lentas que abundan en los músculos rojos, son de diámetro pequeño y contienen gran cantidad de Mb y numerosas mitocondrias, que se disponen en filas entre las miofibrillas y en acúmulos por debajo del sarcolema. Las fibras blancas (localizadas predominantemente en los músculos blancos), son de diámetro mayor, poseen menor cantidad de Mb y un número menor de mitocondrias que se disponen, preferentemente, entre las miofibrillas al nivel de la banda I (Lawrie, 1998).

### 2.1.2. Estructura del músculo

Envolviendo todo el músculo esquelético existe una densa lámina de tejido conectivo, llamada epimisio. Desde la superficie interna de éste, parte del tejido conectivo penetra en el interior del músculo, separando los grupos de fibras en haces. La vaina de tejido conectivo que rodea los grupos de fibras se denomina perimisio y de ésta parten finas láminas de tejido conectivo que rodean a cada fibra muscular. Esta última capa o vaina se denomina endomisio (Foegeding *et al.*, 2000). En la Figura 1 se muestra una representación de la estructura muscular esquelética.



**Figura 1.** Estructura del músculo. (Adaptado de Geay *et al.*, 2001).

Las fibras musculares se caracterizan por la presencia de estriaciones transversales periódicas, y están principalmente compuestas por miofibrillas situadas muy próximas entre sí.

Las miofibrillas son estructuras cilíndricas largas (1 a 3  $\mu\text{m}$  de diámetro) que corren paralelas al eje longitudinal de la célula, y están formados por filamentos finos y filamentos gruesos, dispuestos en tal forma que inducen la apariencia de bandas

claras y oscuras que se repiten a lo largo de cada miofibrilla, determinando la organización de los sarcómeros (Figura 2).

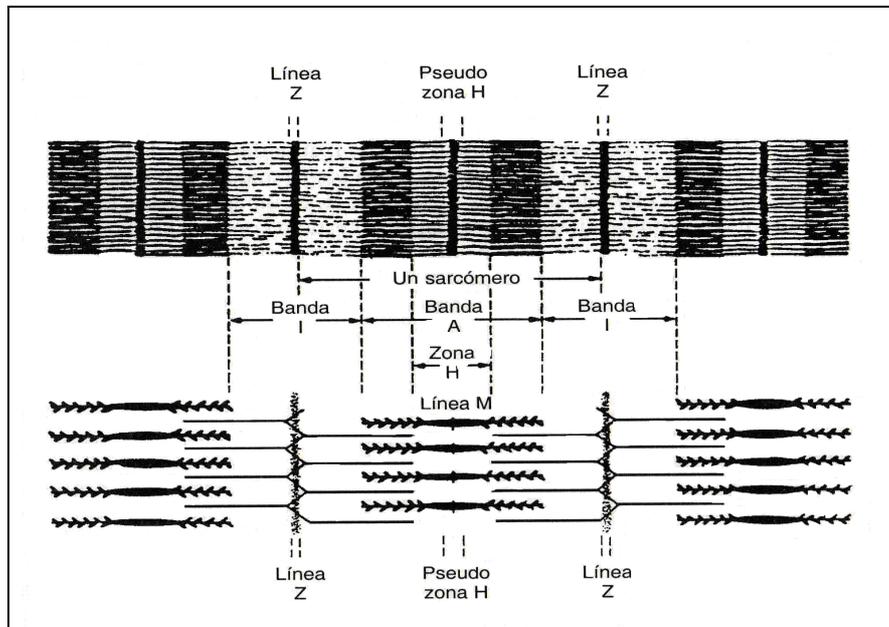
Los filamentos finos están formados principalmente por una proteína llamada actina, la cual se encuentra asociada a otras proteínas como la nebulina, tropomiosina y troponinas (T, C e I). Los filamentos gruesos están formados principalmente por la proteína miosina, que se une a otra proteína denominada titina para conectarse con el disco Z (Forrest *et al.*, 1979).

Las bandas oscuras por ser anisótropas se denominan “bandas A”. Las bandas que aparecen más claras son isótropas y, por tanto, se denominan “bandas I”. En el centro de cada banda I existe una línea oscura denominada “línea Z” o disco Z, y en la parte central de la banda A existe una zona clara que se denomina “zona H”. Frecuentemente, en el centro de la zona H existe la “línea M” más oscura (Foegeding *et al.*, 2000). También en la banda clara y próximo al disco Z, aparece una zona más densa que se denomina línea  $N_2$  (Taylor *et al.*, 1995).

La unidad contráctil de la miofibrilla se denomina sarcómero y se define como el material localizado entre dos discos Z adyacentes, a los que incluye. La banda A comprende filamentos gruesos y filamentos delgados, en tanto que la banda I está compuesta por filamentos delgados. Los filamentos delgados se prolongan hacia ambos lados del disco Z y se solapan con los filamentos gruesos en partes de la banda A, y la zona H es el área dónde no se produce el solapamiento (Figura 2).

Durante el proceso de contracción, los filamentos finos de los sarcómeros adyacentes son empujados hacia el centro de la banda A, lo que produce el acortamiento del sarcómero. Como consecuencia de este proceso, se obstruye la

banda H y disminuye la longitud de la banda I, sin que se modifique la longitud de la banda A.



**Figura 2.** Estructura de la miofibrilla. (Adaptado de Foegeding *et al.*, 2000).

La energía necesaria para la contracción deriva de la hidrólisis del ATP (adenosin-tri-fosfato) catalizada por la ATPasa de las cabezas de miosina. El proceso se inicia con la liberación de iones calcio del retículo sarcoplasmático en respuesta a un estímulo nervioso. Los iones calcio se unen a los filamentos delgados (más precisamente a la troponina C) activando un mecanismo que permite a las cabezas de miosina de los filamentos gruesos unirse a los filamentos delgados. El músculo se acorta por interacciones cíclicas sucesivas de las cabezas de miosina, que llevan a un aumento del solapamiento de los filamentos gruesos y delgados. La relajación se produce por la eliminación del calcio y las miofibrillas pierden su capacidad para hidrolizar ATP (Varnam and Sutherland, 1998).

También existen en el citoesqueleto otras proteínas denominadas costámeras, como son la  $\alpha$ -actinina, talina, vinculina,  $\beta$ -espectrina y distrofina que junto con los filamentos intermediarios (desmina y vimentina) permiten la unión de las miofibrillas al sarcolema a través de sitios llamados placas de transmembrana (Taylor *et al.*, 1995).

Las costámeras, la línea  $N_2$  y los filamentos intermediarios presentan cambios después de la muerte del animal debido a procesos de proteólisis *post-mortem*, provocando fragmentación de las miofibrillas, que es la principal causa del aumento de la ternura de la carne.

## **2.2. Transformación del músculo en carne**

La carne es el resultado de una serie de transformaciones y de reacciones bioquímicas que tienen lugar en el músculo tras la muerte del animal.

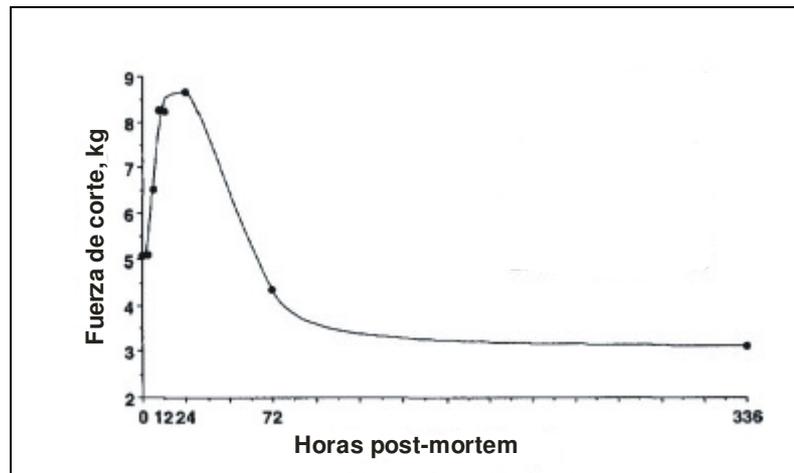
Cuando el animal muere, cesa la circulación sanguínea y por tanto el aporte de oxígeno. Esto hace que se bloquee la síntesis de ATP con lo cual el músculo se ve obligado a adquirir energía por vía anaerobia a partir del glucógeno de reserva, dando lugar a la producción de lactato por reducción del piruvato (Lawrie, 1998). La actividad glucolítica cesa bien debido a la desaparición de las reservas de glucógeno o, con más frecuencia, debido al descenso del pH que acompaña a la glucólisis desde aproximadamente 7,0-7,2 hasta aproximadamente 5,4-5,5 (Lawrie, 1998; Varnam and Sutherland, 1998; Foegeding *et al.*, 2000; Geay *et al.*, 2001).

Los músculos cuyo pH desciende bruscamente en las primeras horas *post-mortem* son de color pálido y tienen baja capacidad de retención de agua, por lo que su superficie al corte tiene un aspecto acuoso, y se los conoce con el nombre de músculos “pálidos, suaves y exudativos” (PSE: pale, soft and exudative). Los músculos

que conservan un pH alto durante su conversión en carne son de color más oscuro y la superficie del corte es muy seca debido a que el agua, naturalmente presente en el músculo, está ligada fuertemente a las proteínas, y se los conoce como músculos “oscuros, firmes y secos” (DFD: dark, firm and dry) (Forrest *et al.*, 1979).

Otra consecuencia de la sangría es que deja de circular sangre por el músculo con lo que se pierde un mecanismo importante de control de la temperatura. El tamaño del músculo y su ubicación en la res, la cantidad de grasa que lo recubre, la temperatura del frigorífico y la duración del proceso de matanza influyen la temperatura final y la velocidad de disipación del calor de la res (Forrest *et al.*, 1979).

Durante el periodo *post-mortem* el músculo pasa de un estado de reposo inicial a un estado de rigidez cadavérica o *rigor mortis*. Esto ocurre cuando los niveles de ATP ya no son suficientes para permitir la separación de las proteínas actina y miosina, que forman un complejo inextensible llamado actomiosina. La instauración del *rigor mortis* esta acompañada de cambios físicos como pérdida de elasticidad y extensibilidad, acortamiento y aumento de la tensión. El tiempo necesario para que se presente esta etapa en las condiciones normales de procesado es < 0,5 horas para los pollos, < 1 hora para pavos, 0,25-3 horas para el cerdo y 6-12 horas para la carne de vacuno (Foegeding *et al.*, 2000), y su duración es de 24 horas *post-mortem*, momento a partir del cual tiende a estabilizarse el pH y comienza la etapa de maduración o acondicionamiento (Figura 3).



**Figura 3.** Resistencia al corte en *Longissimus thoracis et lumborum* de ovino a diferentes horas *post-mortem* (Koothmarahie and Gessink, 2006)

Es importante el manejo del animal antes del sacrificio, debido a que un animal que sufra maltrato antes de la matanza es muy probable que pase por un periodo de estrés, iniciando como consecuencia la producción in vivo de ácido láctico (por degradación del glucógeno) que posteriormente afectará la calidad de la carne; y un animal que no experimenta un ayuno de 24 horas antes de la matanza es probable que al ser sacrificado posea mucha energía en el músculo en forma de glucógeno produciendo mayor cantidad de ácido láctico y finalmente una acidez muy alta (Chacón, 2004)

### 2.3. Maduración de la carne

La maduración puede definirse como los cambios naturales que ocurren en los tejidos musculares durante la conservación de la carne a temperaturas de refrigeración, generalmente entre 2 y 5 °C, aunque la temperatura mínima puede llegar a -1 °C. En este período se mejoran los atributos de la carne, produciéndose un ablandamiento, un ligero incremento de la capacidad de retención de agua y el desarrollo de aromas característicos.

Es considerada como un proceso complejo. Sin embargo, existen evidencias que establecen que los cambios se producen por acción de sistemas enzimáticos endógenos, que se relacionan con la ruptura de las proteínas miofibrilares responsables de la estructura muscular (Locker, 1989; Koochmariaie, 1992, 1996; Taylor *et al.*, 1995; Lawrie, 1998). Los principales sistemas enzimáticos ligados a la degradación de las proteínas miofibrilares son: el complejo calpaínas/calpastatina y las catepsinas lisosomales.

Las calpaínas son proteasas activadas por calcio con actividad óptima a pH neutro. En el músculo esquelético, el sistema de las calpaínas involucra al menos a tres proteasas,  $\mu$ -calpaína ( $\mu$ -CAPN ó calpaína I), m-calpaína (m-CAPN ó calpaína II) y la calpaína músculo esquelético específica calpaína III o p94. Para alcanzar el 50% de su actividad máxima la  $\mu$  y m-calpaína requieren 3-50  $\mu$ M de calcio y 400-800  $\mu$ M (0,4-0.8 mM), respectivamente (Goll *et al.*, 2003). La calpastatina es el inhibidor endógeno específico de la  $\mu$  y m-calpaína.

Las catepsinas (B, D, H y L) de los lisosomas representan una serie de enzimas proteolíticas con pH óptimo por debajo de 6. La catepsina H no puede degradar las proteínas miofibrilares nativas y, aunque la catepsina D puede degradar las proteínas miofibrilares por debajo de un pH de 5, su acción es menor en las condiciones normales de pH final *post-mortem* de 5,5. Por otro lado, ambas catepsinas B y L pueden degradar estas proteínas, pero la catepsina L es probablemente la proteinasa lisosomal más importante. Degrada la troponina T e I, y la conectina, nebulina,  $\alpha$  actinina, tropomiosina, actina y levemente la cadena pesada de miosina. Su acción a pH 5,5 es más rápida que a pH 6, pero más baja que a pH 5 (Lawrie, 1998).

Los cambios observados a nivel de la ultraestructura de las miofibrillas durante el almacenamiento de la carne abarcan la degradación de las costámeras que comienza a las 24 horas y se completa a las 72 horas *post-mortem*, y la separación de miofibrillas adyacentes por degradación de los filamentos intermediarios de desmina. Pero no se ha observado degradación de actinina, actina y miosina, aún después de 14 a 18 días de almacenamiento, ya que dichas proteínas son resistentes a la proteólisis por calpaínas (Taylor *et al.*, 1995).

Taylor *et al.*, (1995), sugieren que las calpaínas podrían ser las primeras responsables de la proteólisis en el músculo durante los primeros 3-4 días *post-mortem*, mientras que la contribución de las catepsinas sería principalmente a partir de los 6 días *post-mortem*, cuando el pH muscular es bajo. Koohmaraie (1996) sugiere que se requiere de más evidencias para considerar a las catepsinas como explicativas de la tiernización *post-mortem*.

En el caso del colágeno, se produce una pequeña proteólisis de los puentes cruzados (“cross-links”) de las moléculas del mismo, posiblemente por acción de enzimas lisosomales (Lawrie, 1998) y metaloproteinasas (Nishimura *et al.*, 1998). Nishimura *et al.* (1998) encontraron que en el músculo *Semitendinosus* de bovino almacenado a 4 °C comienzan a detectarse alteraciones del tejido conectivo intramuscular a partir de los 14 días *post-mortem*, por lo que concluyen que para obtener carne de mayor calidad se debería realizar la maduración de la misma por más de dos semanas a temperaturas de refrigeración.

## 2.4. Concepto de calidad

El término de calidad de un alimento es difícil de definir precisa y objetivamente, debido a la diversidad de factores que están involucrados en ella, pero en general se dice que la calidad es la adecuación del producto al uso que se le vaya a dar.

El enfoque de calidad en carnes y productos cárnicos se puede decir que ha cambiado de ser exclusivamente cuantitativa (calidad de la res) a incluir mayoritariamente parámetros cualitativos (calidad de la carne propiamente dicha) (Ruiz de Huidobro *et al.*, 2004).

La *calidad higiénica* es lo primero que debe tener la carne, libre de agentes bacterianos y de residuos tales como plaguicidas, hormonas o antibióticos que constituyan un riesgo para el consumidor. La *calidad nutricional* hace referencia al valor nutritivo de la carne ya que aporta proteínas, lípidos, vitaminas y minerales. La *calidad tecnológica* se relaciona con las propiedades de la carne que determinan su aptitud para la transformación y conservación. La *calidad simbólica*, relacionada con prohibiciones religiosas, imágenes ligadas a campañas publicitarias, etc., y la *calidad de presentación*, que hace referencia a las modificaciones de los cortes tradicionales, a nuevos productos con nuevas presentaciones (preparación, envasado), etc., que pueden modificar la intención de compra (Ruiz de Huidobro *et al.*, 2004).

Cada día existe un mayor interés por parte de todos los sectores implicados en la producción y comercialización de la carne en esforzarse por satisfacer esa calidad que el consumidor tanto demanda.

## **2.5. Atributos que definen la calidad de la carne y factores que los influyen**

Entre los principales atributos o parámetros que definen la calidad de la carne se encuentra el color, la palatabilidad (terneza, jugosidad y flavor), la capacidad de retención de agua, el valor nutricional y la inocuidad (Koochmaraie and Geesink, 2006). La importancia de estos atributos varía según sea el producto final (por ejemplo, carne cruda, hamburguesa o embutido), como también el perfil del consumidor.

### **2.5.1. Color**

#### **2.5.1.1. Generalidades**

El color se define como la sensación resultante de estimular la retina por las ondas luminosas comprendidas en la región visible del espectro. Es el primer criterio que el consumidor utiliza para juzgar la calidad y aceptabilidad de la carne (Wulf and Wise, 1999). Una carne demasiado oscura o clara a menudo causa el rechazo por parte de los consumidores (Ruiz de Huidobro *et al.*, 2004), y el color rojo brillante se ha convertido en sinónimo de carne fresca (Walters, 1975; Muir, Deaker and Brown, 1998; Walsh and Kerry, 2002)

Los atributos relacionados con el color son la luminosidad o claridad, el tono y la saturación o croma de un color (Pérez Alvarez, Fernández López y Rosmini, 1998; Albertí *et al.*, 2005). La luminosidad o claridad, es función del estado físico de la superficie de la carne. Las variaciones en la claridad van del blanco ( $L^*=100$ ) al negro ( $L^*=0$ ). Según el CIE (Commission International de l'Eclairage, 1986) la claridad sería la luminosidad del estímulo juzgada en relación a otro estímulo que aparece como blanco o transparente. El tono (hue en inglés), es definido por el estado químico del pigmento de la carne fresca (Mb, oximioglobina ( $MbO_2$ ) o metamioglobina (MetMb)). Para la CIE (1986) sería el atributo de la sensación visual según el cual el estímulo

aparece similar a uno de los colores percibidos rojo, amarillo, verde o azul o a ciertas proporciones de dos de ellos. La saturación o croma (chroma en inglés), viene definida por la cantidad de Mb. Da la sensación de colores vivos o apagados. Para la CIE (1986) sería el colorido del estímulo juzgado en proporción a la luminosidad de otro estímulo que aparece como blanco (Albertí *et al.*, 2005).

El color de la carne fresca es una combinación de la desnaturalización de las proteínas miofibrilares, producto de la tasa y extensión de la acidificación *post-mortem* que trae aparejado cambios en la estructura de la carne, y de la concentración y estado químico de la Mb (Varnam and Sutherland, 1998; Lawrie, 1998; Foegeding *et al.*, 2000; Geay *et al.*, 2001; Aaslyng, 2002). Esta última es una proteína globular formada por una sola cadena polipeptídica. La porción proteica de la molécula se denomina globina. El componente cromóforo responsable de la absorción de la luz y del color es una porfirina denominada hemo. Dentro del anillo de porfirina, existe un átomo de hierro formando un complejo con cuatro átomos de nitrógeno tetrapirrólicos. La porfirina hemo está situada en un hueco hidrófobo de la proteína globina y unida a un residuo de histidina. El hierro localizado centralmente posee seis puntos de coordinación, cuatro de los cuales están ocupados por átomos de nitrógeno del anillo tetrapirrólico. El quinto punto de coordinación está unido al residuo de histidina, quedando el sexto punto disponible para formar complejos con átomos electronegativos (Foegeding *et al.*, 2000).

La función de la Mb es captar el oxígeno transportado por la hemoglobina y almacenarlo en los tejidos, poniéndolo a disposición del metabolismo. Puede hallarse en tres estados: Mb reducida o deoximioglobina (hierro ferroso:  $Fe^{2+}$ ), de color rojo púrpura; la Mb oxigenada u  $MbO_2$  (hierro ferroso:  $Fe^{2+}$ ), de color rojo brillante y Mb oxidada o MetMb (hierro férrico:  $Fe^{3+}$ ), de color pardo.

En la MbO<sub>2</sub> el sexto punto de coordinación está ocupado por el oxígeno molecular; en la MetMb está ocupado por el agua (Pérez Alvarez *et al.*, 1998; Foegeding *et al.*, 2000).

La Mb tiene gran afinidad por el oxígeno y la formación de MbO<sub>2</sub> (blooming) es rápida en la superficie de la carne donde la tensión superficial de oxígeno es alta. La formación de MbO<sub>2</sub> está favorecida por condiciones que aumentan la solubilidad del oxígeno (por ejemplo la baja temperatura) y disminuyen la actividad enzimática (por ejemplo baja temperatura y bajo pH) (Varnam and Sutherland, 1998; von Elbe and Schwartz, 2000). La pérdida de actividad enzimática durante almacenamiento prolongado al vacío también favorece la formación de MbO<sub>2</sub> (Varnam and Sutherland, 1998).

La MetMb generalmente está presente en una zona de baja concentración de oxígeno entre el interior anaerobio de la carne y la zona oxigenada de la superficie. Su formación depende de varios factores, entre los que se incluye la velocidad de autooxidación de la Mb, la presión parcial de oxígeno, la temperatura, el pH, la efectividad de uno o más sistemas enzimáticos reductores, y en algunos casos, el crecimiento microbiano (Mancini and Hunt, 2005). La temperatura influye mucho en la velocidad de oxidación, es máxima sobre los -12 °C y disminuye con la temperatura; en la zona de -5 °C a -15 °C es de 4 a 6 veces más rápida que a -18 °C (Daudin, 1991).

Otro factor importante en el color de la carne es la reflexión de la luz. La carne PSE tiene un volumen miofibrilar bajo y presenta alta capacidad de reflexión de la luz. La luz no puede penetrar una distancia significativa en la carne sin ser reflejada. Esto significa que hay relativamente pequeña absorción por la Mb y la carne parece pálida.

La carne DFD tiene una capacidad de reflexión muy limitada, permitiendo a la luz incidente penetrar una mayor distancia; se produce una absorción considerable por la Mb y la carne parece oscura (Varnam and Sutherland, 1998).

Entre las condiciones ambientales que afectan al color de la carne y a la estabilidad de los pigmentos se encuentran la luz, la temperatura, la humedad relativa, el pH, la presencia de bacterias específicas y factores bioquímicos como el nivel de vitamina E ( $\alpha$ -tocoferol), la velocidad de consumo de oxígeno previa al sacrificio y la actividad de la MetMb reductasa (von Elbe and Schwartz, 2000). Otros pigmentos, como citocromos, catalasa y flavinas existen en el músculo e influyen en el color de la carne pero en menor medida (Miller, 2002)

### **2.5.1.2. Factores que influyen en el color**

#### **2.5.1.2.1. Factores *ante-mortem***

Entre estos se encuentran la especie, el sexo, la edad, el tipo de músculo y la alimentación

El contenido de Mb de un músculo dado varía en función de la especie animal (Lawrie, 1998). Los bovinos, corderos y cerdos poseen músculos de color rojo más oscuro que los músculos de las aves y peces. La carne de vacuno contiene 4-10 mg de Mb/g de tejido húmedo, mientras que, la de cerdo y ternera no contienen más de 3 mg/g de tejido húmedo (Varnam and Sutherland, 1998). La carne de aves y peces presentan contenidos de 0,1-1,5 mg/g aproximadamente (Miller, 2002).

Wulf *et al.* (1997) encontraron valores superiores de coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  en la carne de machos castrados que en la de hembras (24,0 versus 22,7 para  $a^*$  y 11,6 versus 10,8 para  $b^*$ , respectivamente), pero no existiendo diferencia en la coordenada

L\* (37,1 versus 36,6). Esto concuerda en parte con lo encontrado por Ruiz de Huidobro *et al.* (2003), que observaron diferencias significativas entre toros y vaquillonas en la coordenada b\* a los tres y seis días de maduración, pero ambos sexos presentaron iguales valores de de L\* y a\*.

Al aumentar la edad del animal, aumenta la cantidad de Mb y por lo tanto la carne toma un tinte más oscuro (Lawrie, 1998; Onega Pagador, 2003) Por otro lado, con la edad, aumenta el estado de engrasamiento del animal lo cual dificulta la transferencia de oxígeno hasta la fibra muscular y es necesario mayor cantidad de Mb para garantizar el aporte de oxígeno adecuado (Lawrie, 1998).

Dentro de un mismo animal, existen grandes variaciones en el color de los músculos debido a que éstos presentan diferencias en el contenido de pigmentos. Esto se debe a dos factores fundamentales: la distribución de los tipos de fibras, y la actividad que realizan los distintos músculos, siendo más oscuros los músculos que intervienen más activamente en la locomoción ya que necesitan mayor oxigenación y por lo tanto mayor contenido de Mb (Klont *et al.*, 1998).

La bibliografía encontrada del efecto de la alimentación sobre el color de la carne es variable, aunque esto puede deberse a factores tales como pH del músculo *post-mortem*, contenido de grasa subcutánea, cantidad y tipo de pigmentos, diferencias en actividad física, etc. (Muir *et al.*, 1998). Villarreal *et al.* (2005a) evaluaron el efecto de la alimentación a corral con dos dietas de diferente densidad energética sobre dos biotipos de la misma raza (Aberdeen Angus) pero de tamaño corporal contrastante y sólo detectaron diferencias significativas en a\* para el efecto de la dieta. En cambio, Depetris *et al.* (2005) no encontraron diferencias significativas en las coordenadas L\*a\*b\* de vaquillonas alimentadas con dos tipos de pasturas (gramíneas y

leguminosas) y diferentes tiempos de suplementación previo a la faena (14, 28 y 42 días).

#### **2.5.1.2.2. Factores *post-mortem***

Entre estos se encuentran la velocidad de caída de pH, la maduración, la estimulación eléctrica, y la cocción.

Una rápida caída de pH *post-mortem* resulta en una carne pálida mientras que un pH final elevado resulta en un color rojo oscuro (Aaslyng, 2002). El pH controla el estado físico de las miofibrillas y, por tanto, la difusión de la luz en el músculo: a un pH elevado las fibras de la carne DFD difunden menos la luz que aquellas con pH normal (pH < 5,9) por tener mayor volumen (están hinchadas), en cambio la carne PSE posee un volumen miofibrilar menor por lo que difunden más luz que las carnes normales; de esto surge las características oscuras y pálidas de las carnes DFD y PSE respectivamente (Foegeding *et al.*, 2000). Wulf *et al.* (1997) encontraron que el pH del músculo está altamente correlacionado con las tres coordenadas colorimétricas (L\*, a\* y b\*), siendo la mayor correlación, de -0,60, con el parámetro b\*.

La temperatura a la que los músculos entran en etapa de rigor durante su conversión en carne afecta el color. A mayor temperatura los valores de las coordenadas L\*, a\* y b\* tienden a aumentar (Farouk and Lovatt, 2000).

Durante la maduración puede cambiar el estado químico de la Mb como resultado de procesos oxidativos (Ouali *et al.*, 2006). El hierro hemínico de la Mb pasa del estado ferroso al estado férrico, con lo que se le imposibilita la unión con el oxígeno. Según Lawrie (1998) y James (2002) a temperaturas bajas de almacenamiento la formación de MetMb es más lenta debido a la acción directa de la temperatura y la

acción indirecta de reducción de la actividad de las enzimas que intervienen en la utilización del oxígeno. Ruiz de Huidobro *et al.* (2003) evaluaron los cambios de diversos atributos de calidad de carne en toros y vaquillonas a tres tiempos de maduración (1, 3 y 6 días *post-mortem*). Con respecto al color no encontraron diferencias significativas entre sexos para  $L^*$ ,  $a^*$  y  $C^*$ , pero sí en  $b^*$  y en  $h_{ab}$  a los 3 y 6 días *post-mortem*. Además detectaron que en los toros los valores de  $a^*$  disminuían a medida que aumentaba el tiempo de maduración, y que en vaquillonas los valores de  $C^*$  y  $h_{ab}$  aumentaron a los 6 días *post-mortem*. Sin embargo, Wulf and Wise (1999), no encontraron diferencias significativas en las coordenadas tricromáticas entre 1 y 3 ó 4 días de maduración.

Otros factores que pueden influir en la estabilidad del color de la carne durante el almacenamiento son las contaminaciones microbianas y/o la oxidación de los lípidos y pigmentos como la Mb (Lawrie, 1998; Foegeding *et al.*, 2000). Como consecuencia de esto se han desarrollado tecnologías de envasado, al vacío o atmósferas modificadas, que permitan una mayor vida útil de la carne de consumo en fresco.

El efecto de la estimulación eléctrica sobre la mejora del color rojo de la carne puede deberse a la rápida caída del pH que permite a las proteínas acercarse más rápidamente al punto isoeléctrico, provocando la “apertura” de la estructura y la fácil oxigenación de la Mb (Lawrie, 1998). Roeber *et al.* (2000) encontraron que las carcasas tratadas con estimulación eléctrica eran más luminosas y rojas, y menos azules que las carcasas usadas como control sin estimulación. Además, se ha encontrado que el efecto de la estimulación eléctrica sobre la estabilidad del color de la carne vacuna es más marcado en carnes que han sido maduradas, en comparación con carnes frescas (Powell *et al.*, 1996).

La temperatura de cocción afecta el grado de conversión de los pigmentos. Así, la carne vacuna cocinada a una temperatura interior de 60 °C tiene un color rojo en el interior; cocinada a 60-70 °C un color rosado; y si es cocinada a una temperatura interna de 70-80 °C o mayor es pardo-grisáceo (Lawrie, 1998). Otros factores que contribuyen al color pardo de la carne cocida incluyen la caramelización de los carbohidratos y las reacciones tipo Maillard entre los azúcares reductores y los amino ácidos (Lawrie, 1998).

### **2.5.1.3. Métodos de determinación**

Se pueden agrupar en dos categorías: sensorial e instrumental.

La determinación sensorial es una apreciación visual (subjetiva) realizada por panelistas, a través de comparación de la muestra con escalas de color. Se utiliza para estimar la percepción del consumidor (Mancini and Hunt, 2005). Es importante que los panelistas sean seleccionados y entrenados con referencias para que no influya la asociación individual. Otro factor importante es la luz utilizada durante la evaluación visual del color porque influencia la percepción del observador. Se debe estandarizar el tipo y la intensidad de la iluminación y se debe mantener constante entre muestras, panelistas y replicaciones. Barbut (2001) reportó que la luz incandescente hace más deseable a la carne de cerdo y bovino debido a que su espectro incluye más longitudes de onda del rojo.

Dentro de la determinación instrumental se pueden mencionar los espectrofotómetros, los colorímetros y la visión por computadora.

*Espectrofotómetros:* las técnicas de reflectancia espectrofotométrica son utilizadas para la determinación de los cambios de color y para la estimación de los diferentes estados de la Mb (AMSA, 1991). El funcionamiento de un espectrofotómetro consiste básicamente en iluminar la muestra con luz blanca y calcular la cantidad de luz que

refleja dicha muestra en una serie de intervalos de longitudes de onda (Westland, 2001). La reflectancia de una muestra se expresa como una fracción entre 0 y 1, o como un porcentaje entre 0 y 100. Los valores de reflectancia obtenidos son valores relativos y, para muestras no fluorescentes, son independientes de la calidad y cantidad de la luz usada para iluminar la muestra. Así, aunque los factores de reflectancia se midan usando una fuente de luz concreta, se pueden calcular los valores colorimétricos para cualquier iluminante conocido (Westland, 2001).

En comparación con los colorímetros, pueden usarse para obtener los valores absolutos de las coordenadas de color para una sola muestra, así como para medir las diferencias de color entre muestras (AMSA, 1991).

Se utilizan mucho para el análisis químico del contenido de pigmentos: este método se basa en la determinación del hierro hemo. Los diferentes estados de oxidoreducción de la Mb están caracterizados por tres espectros de absorción. Tang, Faustman and Hoagland (2004, citado por Mancini and Hunt, 2005) sugieren una longitud de onda de 545-503 nm para la determinación de MetMb, 565-557 nm para la Mb reducida y 572-582 nm para la MbO<sub>2</sub>. Por otra parte, existen los denominados “puntos isobésticos” que son aquellas longitudes de onda en las cuales los estados de la Mb presentan igual reflectancia, por ejemplo, a 525 nm los tres estados de la Mb son isobésticos, mientras que a 610 nm lo es para la Mb y MetMb (Pérez Alvarez *et al.*, 1998).

*Colorímetros:* los colorímetros miden valores triestímulos más directamente que los espectrofotómetros y funcionan basándose en filtros de color. Por eso, los colorímetros no proporcionan datos de reflectancia espectral. Además ofrecen varias opciones, como son el sistema de medida del color (Hunter, CIE, y valores triestímulos XYZ), el

iluminante (A, C, D<sub>65</sub>), el observador (2º y 10º) y el tamaño de la apertura (0.64-3.2 cm) (Mancini and Hunt, 2005).

Los sistemas de medida de color utilizan coordenadas para construir espacios o superficies (sólidos de color) donde cada uno de los colores existentes queda representado por un punto (Pérez Alvarez *et al.*, 1998). Los sistemas de color Hunter L, a, b y CIE 1976 L\*a\*b\* utilizan escalas de color basadas en la teoría de los colores opuestos (claro-oscuro; rojo-verde; amarillo-azul) que se representan tridimensionalmente. Como se mencionó anteriormente, L\* indica el nivel de luminosidad o claridad, y formando un plano perpendicular se encuentran las coordenadas colorimétricas a\* y b\*. La coordenada a\* definen la desviación del punto acromático correspondiente a la claridad hacia el rojo si a\* es positiva, y hacia el verde si es negativa. Análogamente la coordenada b\* define la desviación hacia el amarillo si b\* es positiva, y hacia el azul si es negativa (Albertí *et al.*, 2005). Los tres valores son requeridos para describir completamente el color de un objeto. A partir de los valores de a\* y b\* se puede calcular el tono como  $h_{ab} = \arctan(b^*/a^*)$ , y la saturación como  $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ .

Los valores triestímulos son cantidades de colores primarios que especifican un estímulo de color. Los valores triestímulos de CIE 1931 se llaman X, Y y Z (Anónimo, 2001).

Se entiende por iluminante a la radiación con una distribución espectral relativa de energía definida en el intervalo de las longitudes de onda que influyen en la percepción del color de los objetos (Comité Español de color, Sociedad española de óptica, 2002). Los iluminantes A, B, C, D fueron definidos por la CIE en 1931 en función de sus distribuciones espectrales relativas de energía: "A" hace referencia a la iluminación

incandescente, de color amarillo-anaranjado, con una temperatura de color correlacionada<sup>1</sup> de 2856K. Se define en el rango de longitud de onda de 380 a 770 nm.; “B” a la radiación de la luz solar directa (obsoleto); “C” a la iluminación de tungsteno que simula la luz de día promedio, de color azulado, con una temperatura de color correlacionada de 6774K.; y “D” a los iluminantes de luz de día, definidos entre 300 y 830 nm (siendo necesaria la parte de UV de 300 a 380 nm para describir correctamente los colores que contienen tintes o pigmentos fluorescentes). Se designan como D con un subíndice para describir la temperatura de color correlacionada;  $D_{65}$  es el más comúnmente utilizado, con una temperatura de color correlacionada de 6504K, próxima a la del iluminante C. Se entiende por observador a la persona o instrumento usado para detectar diferencias de color (AMSA, 1991). En 1931 la CIE estableció el “observador estándar” (u observador de 2°) y en 1964 estableció el observador estándar suplementario (u observador de 10°). Los datos del llamado observador estándar 1931 se obtuvieron con experimentos de correspondencia de colores realizados de modo que los estímulos activaban un área de la retina con un ángulo visual de dos grados (Westland, 2001). En general, esto no se corresponde con las situaciones de visión que a menudo se toman en cuenta en la industria del color. Por eso, CIE definió en 1964 un segundo conjunto de funciones de observador conocidas como los datos suplementarios de observación basados en experimentos de correspondencia del color con un ángulo visual de diez grados. Este último es el más ampliamente utilizado (Westland, 2001).

La elección de las variables de color depende del objetivo del experimento, aunque en general se utilizan varias porque son fáciles de obtener con el mismo instrumento.

---

<sup>1</sup> La temperatura de color correlacionada es una medición del color de la luz emitida por un cuerpo negro mientras se calienta, se expresa en términos de escala absoluta o grados Kelvin. Las temperaturas Kelvin más bajas como 2400K son rojas; las temperaturas más altas como 9300K son azules. La temperatura neutra es blanca, a 6504K.

Las mediciones del color se deben realizar en zonas homogéneas y representativas, libres de grasa intramuscular y de manchas de sangre, siendo el grosor mínimo de la muestra (bife) de 2 cm (Honikel, 1998). La medida que más se altera por el espesor de la muestra es la luminosidad (Albertí *et al.*, 2005). Para la evaluación del color en carne Honikel (1998), recomienda algunos parámetros a considerar, como definir el tiempo de “Blooming” (tiempo de exposición de la carne al aire, exactamente después de cortar la muestra, que preferentemente debe ser dos horas y como mínimo una hora a una temperatura máxima de 3°C), una fuente de luz  $D_{65}$  con el sistema de iluminación<sup>2</sup> 45°/0° ó 0°/45° ó difuso/8° (d/8) a un ángulo de observación de 10° empleando la escala de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  y realizar la lectura por triplicado, previa calibración del equipo con los estándares negro ( $L=0$ ) y blanco ( $L=100$ ). Si la medición de la muestra se efectúa a través del envase, el equipo debe calibrarse de similar manera. También debe considerarse que las lecturas hechas en carne con gran cantidad de grasa intramuscular o colágeno, producirán valores de gran variabilidad.

*Visión por computadora:* se basa en el análisis de imágenes de cámaras digitales. O’Sullivan *et al.* (2003) resaltan varios beneficios tales como: se necesita sólo una observación digital para lograr una valoración representativa del color (las mediciones con colorímetros son en puntos específicos, no abarcan la totalidad de la superficie de la muestra); considera la variación superficial de todos los estados químicos de la Mb; y los datos obtenidos por imágenes digitales pueden convertirse a numerosos sistemas de medición de color, tales como el Hunter, el CIE, las coordenadas XYZ, etc.

---

<sup>2</sup> El sistema de iluminación hace referencia a los ángulos de iluminación y observación de la muestra. El instrumento ilumina la muestra desde un ángulo determinado y recogen la luz reflejada desde otro ángulo (Westland, 2001). La iluminación difusa hace referencia a la iluminación de la muestra desde varias direcciones (Anónimo, 1995).

## **2.5.2. Textura-terneza**

### **2.5.2.1. Generalidades**

La textura de un alimento es difícil de definir ya que, al igual que el color, las propiedades de textura de una misma muestra pueden tener diferente significado para cada consumidor.

La textura, considerada de forma global, incluye un conjunto de atributos de los cuales la terneza (o su antagónico la dureza) es considerada como principal, ya que es uno de los criterios determinantes de la calidad de la carne (Miller *et al.*, 2001). Boleman *et al.* (1997), indicaron que los consumidores pagarían un precio diferencial por carne de la cual conocieran el grado de terneza.

La terneza-dureza de la carne puede definirse como la facilidad-dificultad con que la carne se puede cortar y masticar. Según Weir (1960, citado por Lawrie, 1998) la impresión global de la terneza en el paladar incluye la textura e involucra tres aspectos: primero, la facilidad inicial de penetración en la carne por los dientes; segundo, la facilidad con que la carne se rompe en fragmentos; y tercero, la cantidad de residuo que permanece después de la masticación. Según Takahashi (1996) la terneza de la carne es la suma total de la fuerza mecánica del tejido muscular esquelético y su debilitamiento durante la maduración *post-mortem*.

Sobre la dureza influyen fundamentalmente tres componentes: por un lado, el tamaño de los haces de fibras musculares, y el número y tipo de fibras que cada uno de ellos contiene, ya que los distintos tipos de estas fibras presentan diferentes capacidades de contracción y de retención de agua y, por tanto, reaccionan de distinta forma a la temperatura (Taylor, 2003). En segundo lugar, se puede mencionar la longitud del sarcómero y de las miofibrillas, de forma que cuanto mayor es el estado

de contracción mayor es la dureza (Lawrie, 1998). Por último, la estabilidad térmica del tejido conectivo. Este tejido es relativamente estable *post-mortem* y levemente afectado por tratamientos tecnológicos tales como estimulación eléctrica, condiciones de enfriamiento y maduración. El tipo y contenido de uniones intermoleculares, el diámetro de las fibras de colágeno y las isoformas de la molécula de colágeno influyen la estabilidad térmica del tejido conectivo (Geay *et al.*, 2001).

Los tres factores que determinan la terneza de la carne son la dureza inicial o propia de la carne, la fase de endurecimiento y la fase de tiernización. Mientras que la fase de endurecimiento y tiernización ocurren durante el período de almacenamiento, la dureza inicial existe en el momento de la muerte del animal y no cambia durante la maduración (Koochmaraie and Geesink, 2006). Según Marsh and Leet (1966, citado por Koochmaraie and Geesink, 2006) la dureza inicial se define como “la resistencia al cizallamiento de los músculos no acortados” y la variación en sus valores es debida a los componentes del tejido conectivo del músculo. La fase de endurecimiento es causada por el acortamiento del sarcómero durante el desarrollo del *rigor mortis*, que para carne bovina usualmente ocurre entre las primeras 24 horas *post-mortem* (Koochmaraie, 1996; Koochmaraie, Doumit and Wheeler 1996). La fase de tiernización es altamente variable entre reses tratadas con las mismas condiciones de procesamiento, esto se debe a las diferencias en el contenido de proteínas responsables del tiernizado de la carne. Esto provoca diferencias en la velocidad y extensión de la tiernización *post-mortem*, ocasionando una inconsistencia de la terneza que es percibida por el consumidor (Koochmaraie and Geesink, 2006)

## 2.5.2.2. Factores que influyen en la ternera

### 2.5.2.2.1. Factores *ante-mortem*

Dentro de este grupo se puede mencionar la especie, la raza, el sexo, la edad, el tipo de músculo, la alimentación y el manejo.

La tiernización *post-mortem* ocurre más rápidamente en cerdos, seguida por ovinos y luego por vacunos. El cerdo es intrínsecamente más tierno que el vacuno ya que es menos susceptible a los efectos de acortamiento por el frío y la maduración *post-mortem* ocurre a una velocidad más rápida. Además, el cerdo es faenado a una edad fisiológica menor por lo que el tejido conectivo tiene un rol menor en la calidad de la carne (Lawrie, 1998). Para maximizar los beneficios de la maduración *post-mortem* sobre la ternera, la carne vacuna se debería almacenar refrigerada (alrededor de los 4 °C) 10-14 días, la ovina 7-10 días, la carne de cerdo 5 días y la de pollo 0,5-1 día aproximadamente (Koochmaraie, 1996; Takahashi, 1996).

En bovinos, el efecto de la raza es más marcado al comparar ganado *Bos indicus* versus *Bos taurus* (Koochmaraie, Wheeler and Shackelford, 1995; Miller, 2002). Se sabe que las razas *Bos indicus* poseen niveles mas bajos de  $\mu$ -calpaínas y más altos de calpastatinas (Wheeler *et al.*, 1990b; Pringle *et al.*, 1997), y por tanto una reducida proteólisis *post-mortem* de las proteínas miofibrilares (Whipple *et al.*, 1990a).

Koch *et al.* (1982) determinaron que la ternera de animales *B. indicus* es menor que la de animales *B. taurus*, y posteriormente Whipple *et al.* (1990a) identificaron a los niveles de calpastatina como una posible causa de las diferencias encontradas en ternera entre ambas subespecies, hallando menores valores de actividad de la calpastatina a las 24 horas *post-mortem* en novillos y vaquillonas Hereford x Angus ( $136,3 \pm 14,9$  actividad/100g de músculo) que para las cruza  $\frac{3}{8}$  SAH (Sahiwal x

Angus-Hereford,  $195,6 \pm 19,3$  actividad/100g de músculo) y % SAH ( $208,8 \pm 14,8$  actividad/100g de músculo). De la misma manera, O'Connor *et al.* (1997), encontraron mayores valores de actividad de la calpastaina a las 24 horas *post-mortem* en novillos % *Bos indicus* que en novillos *Bos taurus* (4,43 versus 3,96 actividad/g de músculo, respectivamente).

La relación calpastatina: $\mu$ -calpaína se incrementa linealmente con el aumento de la sangre cebuina en la cruce. Pringle *et al.* (1997) encontraron valores de 3,03, 3,36, 2,60, 3,66, 4,40 y 4,68 para animales con 0, 25, 37, 50, 75 y 100 % de genes índicos (Brahman). Esta relación suele usarse como buena predictora del potencial proteolítico de músculo, ya que reducidas relaciones indicarían un mayor potencial proteolítico, y por ende, una mayor tiernización *post-mortem*.

En relación con las diferencias entre razas, Orellana, Blanco Massani y Castilla (2004) compararon novillos Criollo Argentino contra Braford, alimentados con pasturas tropicales, y encontraron mayor dureza ( $5,45 \text{ kg/cm}^2$  y  $4,33 \text{ kg/cm}^2$ , respectivamente) en la carne de los primeros. Sin embargo, para los autores ambos valores de terneza fueron considerados como tiernos.

Villarreal *et al.* (2006) evaluaron el efecto de la duración de la maduración (1, 7 y 14 días) sobre dos razas (A. Angus y Brangus), encontrando que en la raza A. Angus la terneza mejoró hasta los 7 días de maduración, en cambio, en la raza Brangus la mejora continuó hasta los 14 días.

Las diferencias en textura también pueden atribuirse al mayor contenido y menor solubilidad del colágeno (Shackelford *et al.*, 1994), como al menor contenido de grasa intramuscular (marbling) de razas *Bos indicus* (Marshall, 1994; Harper, 1999; Burrow

*et al.*, 2001), a pesar de que estudios revelan que el marbling y contenido de colágeno sólo pueden llegar a explicar entre un 5-10 % de la variabilidad total de la palatabilidad de la carne. Pringle *et al.* (1997) encontraron que la cantidad de tejido conectivo organolépticamente detectable disminuía a medida que se incrementaba el porcentaje de genes índicos, y sólo el 100% de los mismos arrojó diferencias significativas con los demás porcentajes evaluados.

En la bibliografía se encuentran estimaciones de heredabilidad para terneza muy variables (Cuadro 1), aunque esa variabilidad puede deberse a las razas utilizadas, el músculo evaluado y los tratamientos *post-mortem* aplicados (uso de estimulación eléctrica, tiempo de maduración, etc).

**Cuadro 1.** Heredabilidades para terneza instrumental (Warner Braztler) y sensorial

| <b>Autor</b>                   | <b>Warner Braztler</b>                    | <b>Terneza sensorial</b> |
|--------------------------------|---|--------------------------|
| Van Vleck <i>et al.</i> 1992   | 0,09 ± 0,13                               | 0,10 ± 0,13              |
| Shackelford <i>et al.</i> 1994 | 0,53 ± 0,15                               |                          |
| Barkhouse <i>et al.</i> 1996   | 0,02 ± 0,06                               | 0,06 ± 0,07              |
| Wheeler <i>et al.</i> 1996a    | 0,37 ± 0,12                               | 0,50 ± 0,12              |
| O'Connor <i>et al.</i> 1997    | 0,47 ± 0,20 (7 días <i>post-mortem</i> )  | 0,31 ± 0,18              |
|                                | 0,27 ± 0,17 (14 días <i>post-mortem</i> ) |                          |
| Wheeler <i>et al.</i> 2001     | 0,29 ± 0,12 (7 días <i>post-mortem</i> )  | 0,22 ± 0,12              |
|                                | 0,22 ± 0,12 (14 días <i>post-mortem</i> ) |                          |
| Wheeler <i>et al.</i> 2004     | 0,16 ± 0,15                               | 0,25 ± 0,19              |
| Smith <i>et al.</i> 2007       | 0,29 ± 0,14 (7 días <i>post-mortem</i> )  |                          |
|                                | 0,20 ± 0,12 (14 días <i>post-mortem</i> ) |                          |

Shackelford *et al.* (1995) demostraron que la terneza de distintos músculos disminuyó progresivamente a medida que aumentó el porcentaje de raza índica en el animal, siendo ésto más evidente cuando la contribución de la raza índica excedió el

25%. Gallinger *et al.* (1993) y González *et al.* (2003) encontraron que la cruce  $\frac{1}{4}$  Brangus es comparable con la raza A. Angus, y que los valores de fuerza de corte eran mayores a mayor porcentaje de sangre índica.

El sexo de los animales es otra variable que puede afectar la terneza de la carne, aún cuando la literatura presenta inconsistencias acerca de su importancia. Hunsley *et al.* (1971) encontraron valores de fuerza de corte de muestras de *Longissimus* medido por Warner Braztler más bajo para novillos que para toros (6,68 kg y 8,00 kg, respectivamente). Klastруп *et al.* (1984) obtuvieron valores de fuerza de corte en *Longissimus dorsi* (reses no estimuladas eléctricamente) de 4,63 kg, 3,71 kg y 3,63 kg para toros, novillos y vaquillonas, respectivamente, encontrando diferencias no significativas ( $p > 0,05$ ) entre los últimos, y significancia ( $p < 0,05$ ) entre éstos y los toros. En cambio, cuando evaluaron en el músculo *Semitendinosus* no encontraron diferencias significativas entre sexos. Feed *et al.* (2002) evaluaron la terneza de la carne de novillos y vaquillonas provenientes de padres Limousin y Salers, con madres Hereford puras, Angus-Hereford y Red Poll-Hereford y no encontraron diferencias significativas ( $p > 0,1$ ) entre sexos para fuera de corte, pero detectaron que los valores más altos estuvieron dados por los animales hijos de madres Hereford puras. Otros relacionan la mayor dureza de la carne de los terneros machos con un mayor contenido de colágeno y de fibras rojas y una menor cantidad de grasa de infiltración que las hembras (Dreyer y col., 1977, citado por Harper, 1999).

Los animales más jóvenes producen carne más tierna que los animales más viejos, debido al mayor contenido de colágeno soluble (Lawrie, 1998). Cuando se incrementa la edad del animal la proporción de colágeno soluble disminuye en el músculo bovino, respecto del colágeno total, y aumenta la extensión de las uniones intra e intermoleculares entre las cadenas de colágeno (Lawrie, 1998). Nuernberg *et al.*

(2005) encontraron que toros Holando (Holstein) y Simmental que consumieron una dieta a base de pastura tuvieron carne más dura que aquellos que consumieron concentrado ( $11,06 \pm 0,75$  versus  $14,34 \pm 0,78$  para la primer raza, y  $13,17 \pm 0,78$  versus  $15,87 \pm 0,80$  para la segunda raza) , adjudicando esta diferencia a que los alimentados a base de pastura fueron más viejos y tuvieron menor contenido de grasa intramuscular que los alimentados con concentrados (1,90 % versus 2,64%, promedio de ambas razas).

Aparte del efecto del contenido de tejido conectivo, los diferentes músculos, están influenciados por la relativa susceptibilidad al acortamiento antes y durante el *rigor mortis*, lo que acentúa las diferencias en terneza entre ellos (Lawrie, 1998). Además Shackelford *et al.* (1995) encontraron una interacción del genotipo con el músculo para valores de fuerza de corte: para *Bos indicus* los valores de fuerza de corte fueron mucho mas altos para *Longissimus dorsi* que para los otros músculos, mientras que para *Bos taurus* los valores de fuerza de corte, además de ser menores que los de *Bos indicus* para todos los músculos evaluados, fueron muy similares para el *Longissimus dorsi* y para el *Semimembranosus*.

Según Morgan *et al.* (1991), gran parte de la variación en terneza depende del sistema de producción y del manejo *post-mortem* de las reses bovinas. Miller *et al.* (1987) encontraron que novillos terminados con una dieta alta en energía producían calificaciones mas elevadas en terneza que los novillos terminados con una dieta de baja energía. Esto está muy relacionado con el nivel de engrasamiento de los animales, influyendo en la velocidad de enfriado de la res y por ende en la proteólisis *post-mortem* (Muir *et al.*, 1998; French *et al.*, 2001). Sin embargo, Salado y Resconi (2007) no encontraron diferencias significativas en terneza de terneros cruza cebú engordados a corral con dietas basadas en silaje de planta entera de sorgo granífero

con diferente concentración energética ( $D_1 = 4,90 \pm 0,92$  kg y  $D_2 = 4,30 \pm 0,98$  kg). Martínez Ferrer *et al.* (2006), a diferencia de lo que esperaban, encontraron que la carne producida por novillos en pastoreo (con y sin suplementación) resultó ser levemente más tierna que la obtenida de animales alimentados a corral con dieta a base de granos (5,88 kg como promedio de pastoreo versus 7,7 kg con granos).

Las condiciones nutricionales a las que son sometidos los animales en el periodo previo a la faena afectan los niveles y la solubilidad del glucógeno, las reservas energéticas musculares y la actividad de los sistemas proteolíticos, entre otros, y como consecuencia la terneza final de la carne (Geay, *et al.*, 2001).

#### **2.5.2.2.2. Factores *post-mortem***

La terneza de la carne es afectada por diversos factores *post-mortem* como son el descenso de pH/ temperatura, el tiempo y temperatura de almacenamiento refrigerado (maduración) y la duración y método de cocción.

La velocidad de descenso y el valor final del pH *post-mortem* varía en relación al contenido de glucógeno, que a su vez, va a depender de la raza, edad, estrés, entre otros, en el momento de la faena del animal. Altos valores de pH son consecuencia de bajas reservas de glucógeno muscular antes de la faena. Según Lawrie (1998) se pueden mencionar varios factores de estrés como responsables de un bajo nivel de glucógeno: tiempo y manera de transporte del animal hasta la planta de faena, la alimentación, mezcla de animales de diferentes lotes y razas, tiempo de encierro en corrales previo a la faena, factores climáticos, y factores genéticos.

Paralelamente al descenso de pH, se produce un incremento en la presión osmótica y alcanza su valor máximo antes del comienzo del *rigor mortis* (Geay *et al.*,

2001). Este incremento contribuye a la alteración de la integridad de las miofibrillas y a la disociación de las proteínas contráctiles.

Adicionalmente, la actividad enzimática es muy dependiente del pH y la temperatura (Koochmaraie, 1996). Watanabe, Daly and Devine (1996) estudiaron la magnitud de la proteólisis en *Longissimus dorsi* de ovinos con pH finales de un rango de 5,5 a 7, y observaron que dicha proteólisis fue mínima a pH cercanos a 6 y mayor por debajo y encima (especialmente) de este valor. Esto puede atribuirse a el efecto directo del pH sobre la actividad de las enzimas proteolíticas que degradan la estructura miofibrilar del músculo. La velocidad de la glucólisis *post-mortem* se incrementa con el aumento de la temperatura ambiente (Lawrie, 1998). El margen de temperatura de almacenamiento donde ocurre la mayor actividad enzimática es de 10 a 25 °C. En términos generales, a mayor temperatura de almacenamiento mayor serán las posibilidades de obtener carne más tierna, aunque se aumenta el riesgo de contaminación y crecimiento microbiano (Peluffo y Rodríguez, 2002).

La refrigeración posee dos puntos críticos sobre la terneza de la carne: uno es la prevención del acortamiento del músculo en el momento inmediato a la faena, y el segundo es aportar las condiciones para que se produzca el tiernizado (James, 2002). El enfriamiento puede ocasionar serios efectos sobre la textura si se lleva a cabo rápidamente cuando la carne esta aún bajo las condiciones de pre-rigor: el retículo sarcoplasmático no puede mantener unido el calcio liberándolo en abundancia al sarcoplasma y como consecuencia que aún el músculo posee suficiente cantidad de ATP, se desencadena un proceso de acortamiento extremo que se conoce como “acortamiento por frío” (o cold shortening en inglés). Las condiciones del músculo pre-rigor en las que aparece el acortamiento por frío son cuando la temperatura cae por

debajo de los 10 °C en las primeras 9-10 horas post-mortem y el pH es aún mayor a 6,2 (Savell, Mueller and Baird, 2005).

El acortamiento por frío produce un aumento de la dureza de la carne por reducción en la longitud de los sarcómeros, y una disminución de la capacidad de retención de agua del músculo por emigración del agua del espacio intracelular al extracelular más pronunciado que en los sarcómeros que no han sufrido acortamiento. El porcentaje de acortamiento difiere en función del pH y de la temperatura ambiental. Una contracción considerable ocurre a temperaturas por debajo de 10 °C o por encima de 20 °C, por otro lado los gradientes de temperatura que se establecen en las diferentes partes de la res provocan heterogeneidad en la velocidad de caída del pH, provocando variabilidad entre músculos de una misma res (Gil, Oliver y Panea, 2005).

Manteniendo la temperatura de refrigeración entre 0 y 5 °C, la ternura de la carne es mayor cuanto más días se la almacena en cámaras frigoríficas. El tiempo máximo va a estar dado por varios factores, entre los que se pueden mencionar, la raza, el costo de la res y las alteraciones microbiológicas. Franco *et al.* (2006) evaluaron el efecto del tiempo de maduración (1, 3, 7, 14 y 21 días a temperatura entre 0-4 °C) sobre la ternura y calidad sensorial de muestras de *Longissimus dorsi* de vaquillonas Hereford, encontrando que los valores de fuerza de corte por Warner Bratzler (WB, ver punto 2.5.2.3.) disminuían a medida que aumentaba el tiempo de maduración, pero que 7 días sería lo más razonable desde el punto de vista de la aceptabilidad del consumidor.

Los métodos de cocción usados para preparar la muestra para la evaluación de ternura simulan la cocción que realizan los consumidores en sus casas. 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 en su sabor (Lawrie, 1998). El comportamiento mecánico de la carne calentada es la resultante de sus diferentes constituyentes. En la carne cruda madurada, el colágeno es el principal elemento que otorga la resistencia al corte, mientras que las miofibrillas presentan una resistencia débil; pero con la acción del calor la resistencia de estas fibras aumenta rápidamente y el colágeno, por otro lado, se solubiliza progresivamente (Laroche, 1991).

Hay una gran influencia de la temperatura y tiempo de cocción sobre la fuerza de deformación de la muestra (Honikel, 1998). Según Wheeler, Shackelford and Koohmaraie (2005) el factor que más afecta la repetibilidad de la fuerza de corte y la percepción del panel sensorial es el método de cocción utilizado para preparar la muestra. A temperaturas mayores de 60 °C hay cierta influencia del tejido conectivo, pero son más importantes los componentes miofibrilares. Debido a esto, se debe definir correctamente la temperatura final de cocción en el centro de la muestra y su medición debe ser precisa. Honikel (1998) recomienda 70-75 °C de temperatura interna.

Dentro de los diversos métodos utilizados en el laboratorio para la cocción de la carne se pueden mencionar: el baño de agua termostatzado, la parrilla eléctrica y el horno de cintas transportadoras eléctrico. Este último cocina por pasaje de la muestra entre dos platinas de metal recubiertas por cintas transportadoras de teflón, calentadas eléctricamente (Wheeler Shackelford and Koohmaraie, 1997). De esta manera el producto es calentado en la parte inferior y superior simultáneamente. La temperatura de las platinas, el tamaño de la abertura entre las mismas, y la velocidad de las cintas se pueden ajustar dependiendo de las condiciones de cocción. Además es

fundamental que el espesor de los bifés sea constante para asegurarse igual contacto con las cintas de teflón (Wheeler, Shackelford and Koohmaraie, 1998).

El método que permite una mayor repetibilidad en los resultados es el horno de cintas transportadoras eléctrico (Wheeler *et al.*, 2005; McKenna, King and Savell, 2003), posee una repetibilidad de 0,85 versus 0,64 de la parrilla eléctrica abierta (Wheeler *et al.*, 2005), pero es más caro y no refleja la cocción que realizan los consumidores en sus hogares (McKenna *et al.*, 2003). Wheeler *et al.* (1998) evaluaron estos métodos de cocción sobre la palatabilidad de *Longissimus dorsi* y encontraron valores medios de WB mayores para los bifés cocinados por el horno de cintas transportadoras que para los cocinados por la parrilla eléctrica, aunque ambos presentaron una desviación estándar muy similar ( $4,6 \text{ kg} \pm 1,1$  y  $4,3 \text{ kg} \pm 1,0$ , respectivamente). También encontraron mayor repetibilidad para el primer método de cocción.

### **2.5.2.3. Métodos de determinación**

En general los métodos instrumentales para medir la textura-terneza de la carne pueden clasificarse en dos tipos: los empíricos y los imitativos. Los primeros son los más utilizados, a pesar de ser en su mayoría métodos destructivos. Se aplica un esfuerzo (como puede ser compresión, corte, cizallamiento, punción, extrusión, flexión, tensión, etc.) y se mide la respuesta. Dentro de estos el más utilizado es el test de WB, y se le está dando importancia al test de compresión. Los segundos tratan de simular las condiciones en que el alimento se encontrará durante el proceso de masticación. El ensayo más difundido es el análisis de perfil de textura (TPA). Existen otros métodos objetivos de medida de la dureza, como son la medida de la longitud de los sarcómeros mediante microscopía o por difracción de rayo láser, el índice de fragmentación miofibrilar (IFM) realizando una turbidimetría, o la separación de las

proteínas miofibrilares por métodos electroforéticos. También se puede determinar la ternura de la carne a través de panel sensorial entrenado, por medio de la utilización de escalas de referencia normalizadas.

Con el *Test de WB* se obtiene para cada muestra una curva de fuerza versus distancia, en la que el punto más alto determina la fuerza máxima, y es utilizado como medida de la dureza de la carne. Muchos factores influyen en la repetibilidad de los resultados, entre los que podemos mencionar el tamaño de la muestra, la temperatura de cocción, la velocidad de la cuchilla WB, la dirección de las fibras y la presencia de tejido conectivo.

En el *Test de compresión* una sonda (incorporada a un texturómetro o a un equipo Instron) desciende y comprime la muestra hasta un determinado porcentaje. En muestras de carne, cuando se utilizan valores bajos de tasas de compresión (20 %) es posible determinar el comportamiento de la estructura miofibrilar sin la intervención de tejido conectivo (debido a que las fibras se despliegan pero no han sufrido deformación), y empleando tasas de deformación altas (80 %) se determina la resistencia correspondiente al tejido conectivo (Laroche, 1991; Sañudo, 2007).

Con el *TPA* se obtiene el perfil de la fuerza que debe aplicarse para masticar un alimento, sometiendo una muestra en dos ocasiones consecutivas a una fuerza simulando el esfuerzo de la mandíbula al morder. Se obtiene un gráfico de fuerza en función del tiempo del cual se pueden distinguir los siguientes parámetros (Martinez *et al.*, 2004):

- ✓ *Dureza*: altura máxima del primer pico del primer ciclo de compresión y primera mordida, es la fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares

- ✓ *Fracturabilidad*: fuerza del primer rompimiento significativo en la curva correspondiente a la primera mordida
- ✓ *Adhesividad*: área de fuerza negativa de la primera mordida, es el trabajo necesario para retirar la muestra del embolo de compresión
- ✓ *Elasticidad*: altura que recupera un alimento entre el final de la primera mordida y el inicio de la segunda mordida
- ✓ *Cohesividad*: relación entre las áreas de fuerza positiva bajo las curvas de la 1ª y 2ª compresión, es la fuerza que los enlaces internos hacen sobre el alimento
- ✓ *Gomosidad*: producto de dureza por cohesividad, es la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que está listo para ser ingerido
- ✓ *Masticabilidad*: producto de la gomosidad por la elasticidad, es la energía requerida para masticar un alimento sólido hasta que está listo para ser ingerido

El IFM es un método que se utiliza para estimar la degradación del disco Z en el músculo (Taylor *et al.*, 1995) por medida del promedio de la longitud de las miofibrillas. Está significativamente relacionado con la terneza: a mayor IFM, menor longitud de las miofibrillas, mayor terneza.

### **2.5.3. Capacidad de retención de agua**

#### **2.5.3.1. Generalidades**

A pesar de que no existan delimitaciones claras entre los tipos de agua unidos al músculo se puede admitir que el agua se presenta bajo tres formas: ligada, atrapada o inmovilizada y libre. El agua ligada se encuentra asociada a los grupos reactivos de las proteínas musculares, tiene reducida movilidad, es resistente a la congelación y a la eliminación por el calentamiento convencional. En el agua atrapada o inmovilizada, las moléculas de agua están sostenidas por efectos estéricos (a la estructura del músculo)

y/o por atracción al agua ligada en capas que son cada vez más débiles a medida que es cada vez mayor su distancia del grupo reactivo de la proteína. En el tejido *post-mortem*, no fluye libremente por el tejido pero puede ser removida por secado y fácilmente convertida en hielo durante la congelación. Es el tipo de agua mas afectada por el proceso de rigor y la conversión del músculo en carne. El agua libre se mantiene sólo por fuerzas capilares, es el agua que fluye por el tejido sin impedimentos y es la que se pierde como jugo cuando la carne se descongela o cocina (Forrest *et al.*, 1979).

Cuantitativamente, el agua es el constituyente más importante de la carne. La carne cruda, inmediatamente después del sacrificio, puede contener alrededor del 75% de agua (Lawrie, 1998). Parte de esta agua se pierde por diversos procesos: por evaporación durante el enfriamiento de las reses (hasta un 2% en el caso del bovino); por goteo al seccionar los tejidos (hasta un 6%, que puede doblarse tras la descongelación). Sin embargo, el proceso que provoca mayores pérdidas es el cocinado de la carne, ya que pueden superar el 40% (Offer y Knight, 1998a, citado por Onega Pagador, 2003).

La capacidad de retención de agua puede definirse como la habilidad de la carne de retener su propia agua bajo influencias externas tales como la compresión o centrifugación (Forrest *et al.*, 1979; Lawrie, 1998). Según Fennema (2000) la capacidad de retención de agua es un término que se utiliza para describir la eficacia de una matriz de moléculas para atrapar físicamente grandes cantidades de agua, inhibiendo la exudación.

Se relaciona con la textura ya que reduce la fuerza mecánica durante la masticación; y es un parámetro de calidad importante con respecto a las propiedades

tecnológicas de la carne, junto con otro parámetro, la capacidad de captar agua, que se define como la capacidad de la carne para retener el agua añadida.

En el músculo, el agua se puede encontrar tanto dentro como entre las miofibrillas, entre las miofibrillas y el sarcolema, entre las células musculares y entre los grupos de células musculares (Hamm, 1975; Lawrie, 1998; Huff-Lonergan and Lonergan, 2005). El espacio interfilamentos varía en relación al pH, longitud del sarcómero, fuerza iónica, presión osmótica y condiciones del músculo pre y post rigor (Lawrie, 1998).

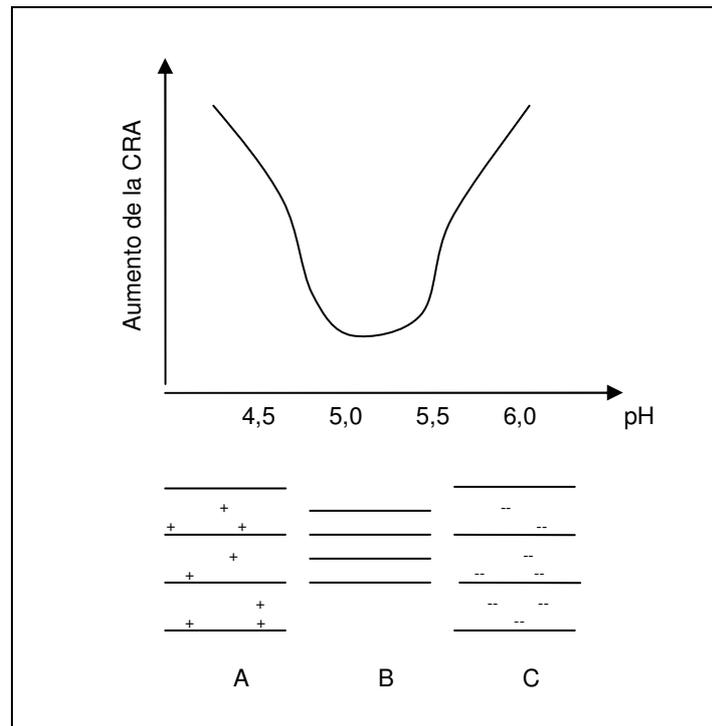
Las proteínas miofibrilares poseen grupos cargados capaces de unir agua (Hamm, 1975), siendo las proteínas actina y miosina las que unen la mayor cantidad de agua que se encuentra en las fibras musculares. La carga de dichos grupos puede ser positiva o negativa, pudiendo variar según el pH (Figura 4): a medida que éste aumenta, respecto al punto isoeléctrico, hay un incremento de las cargas negativas; y a medida que desciende la proteína se va cargando positivamente (Miller, 2002).

Cuando la proteína se encuentra cercana al punto isoeléctrico posee la menor habilidad de unir agua y por lo tanto, la menor capacidad de retención de agua (Hamm, 1975) (Figura 4). Como la glucólisis *post-mortem* normalmente procede hasta un pH final de alrededor de 5,5, se considera inevitable una cierta disminución en la capacidad de retención de agua como consecuencia de la muerte del animal.

### **2.5.3.2. Factores que influyen en la capacidad de retención de agua**

#### **2.5.3.2.1. Factores *ante-mortem***

Dentro de este grupo se pueden mencionar la especie, el sexo, el tipo de músculo y la alimentación.



**Figura 4.** Efecto del pH en la cantidad de agua inmovilizada de la carne (Adaptado de Forrest *et al.*, 1979). A: predominio de cargas positivas; B: equilibrio de cargas; C: predominio de cargas negativas

La capacidad de retención de agua de la carne de cerdo es mayor que la de bovino, y Lawrie *et al.* (1998) creen que puede deberse a los distintos valores de pH que presentan las dos especies.

Ruiz de Huidobro *et al.* (2003) evaluaron atributos de calidad de carne a los 1, 3 y 6 días de maduración *post-mortem* de toros y vaquillonas. En lo que respecta a la capacidad de retención de agua, sólo encontraron diferencias significativas entre los sexos a los 6 días de maduración *post-mortem* (20,04 %  $\pm$  0,583 en toros y 17,46 %  $\pm$  0,293 en vaquillonas).

La carne procedente de los distintos músculos presenta grandes diferencias en la capacidad de retención de agua. Según algunos autores, esto puede deberse a las

diferencias de velocidades de descenso de pH y pH final (Lawrie, 1998; Honikel, 1998) y también a las diferencias de las fracciones miofibrilar y conjuntiva (Honikel, 1998, Geay *et al.*, 2001).

No se detecta un efecto significativo de la dieta sobre las pérdidas por cocción (Hedrick *et al.*, 1983, French *et al.* 2001; Depetris *et al.*, 2003, 2005; Villarreal *et al.*, 2005a) pero sí se observa una tendencia a mayores pérdidas en vacunos alimentados con granos que con pastura (Bowling *et al.*, 1977; Crouse, Cross and Seideman, 1984).

#### **2.5.3.2.2. Factores *post-mortem***

La capacidad de retención de agua puede ser afectada por la evolución del pH *post-mortem*, el pH final, la temperatura, la maduración, el método y tiempo-temperatura de cocción.

Una rápida caída de pH en etapas tempranas *post-mortem* puede tener como resultado una baja capacidad de retención de agua (Aaslyng, 2002). Otra de las causas de su disminución es la formación del complejo actomiosina cuando los músculos entran en etapa de *rigor mortis*, ya que este complejo capta menos agua que las proteínas que lo forman.

Una vez que el pH alcanza el punto isoeléctrico de las proteínas, especialmente de las proteínas miosina y actina (pI 5.4 y 4.7, respectivamente), la carga neta es cero, es decir es igual el número de cargas positivas y negativas. Las proteínas se atraen unas con otras y resulta en una reducción en la cantidad de agua que puede ser atraída y unida por esas proteínas (Huff-Lonergan and Lonergan, 2005). Además en este momento, las fibras musculares han agotado su ATP y sus membranas ya no

consiguen retener el agua celular, afectando al color (se aclara), la textura (se ablanda) y el grado de exudación de la carne (aumenta) (Forrest *et al.*, 1979).

Ciertos cationes divalentes, principalmente calcio y magnesio, tienen la propiedad de unirse a los grupos de las proteínas cargados negativamente, por tanto ocurre un acercamiento de las fibras y disminución del espacio para retener agua. El efecto de estos cationes divalentes es mínimo en el punto isoeléctrico de la miosina, y aumenta según se incrementa el pH (Hamm, 1975). Esto sugiere que los cationes divalentes presentes en el músculo reducen la capacidad de retención de agua y que, secuestrándolos o intercambiándolos por iones monovalentes, se incrementará la misma.

Según Hamm (1975) durante la maduración se produce un pequeño incremento en la capacidad de retención de agua, probablemente debido a la pérdida de la integridad del sistema miofibrilar en la región del disco Z, por acción de las enzimas proteolíticas.

En cuanto al efecto de la temperatura se puede mencionar que si la temperatura de la res se reduce muy rápidamente durante la glucólisis post mortem, se produce el llamado acortamiento por frío, y por consiguiente hay pérdida de la capacidad de retención de agua (Foegeding *et al.*, 2000). Si la carne se congela, la capacidad de retención de agua será mayor cuanto menor sea la temperatura de congelación y mayor la velocidad de la misma. Cuando el tejido muscular se congela rápidamente, se forman pequeños cristales de hielo intra y extracelularmente. Si se congela lentamente los cristales de hielo se forman primero en el espacio extracelular, y existe una tendencia a que el agua del interior de las fibras emigre a los cristales de hielo existentes en las áreas extracelulares dando como resultado final cristales de hielo muy grandes y fibras musculares compactadas. Este aumento de la concentración de

sales y el cambio concomitante del pH producen una gran desnaturalización de las proteínas del músculo y un descenso de la capacidad de retención de agua (Belitz and Grosch, 1997, Foegeding *et al.*, 2000).

Dependiendo del método y tiempo-temperatura utilizada para la cocción, se puede causar la desnaturalización de las proteínas y una considerable pérdida de la capacidad de retención de agua (Lawrie, 1998). Durante el calentamiento las proteínas desnaturalizan a diferentes temperaturas, entre 37 y 75 °C, causando cambios estructurales tales como la destrucción de la membrana celular, reducción longitudinal y transversal de fibras musculares, agregación de proteínas sarcoplasmáticas y disminución de tejido conectivo (Honikel, 1998). Según Laroche (1991) los factores más importantes en las pérdidas por cocción son la temperatura, la duración del calentamiento efectivo, que está relacionado con la transferencia de calor, la geometría de la muestra, el pH final de la muestra y el grado de contracción de las fibras. Las pérdidas por cocción aumentan cuando disminuye la longitud de los sarcómeros (Laroche, 1991).

Lawrence *et al.* (2001) encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en el porcentaje de pérdidas por cocción de muestras de *Longissimus lumborum* cocinadas, en horno de cintas transportadoras eléctrico, a diferente temperatura (93 °C versus 163 °C). Estos autores, además compararon diferentes métodos de cocción y encontraron, para el mismo músculo, que el horno de cintas transportadoras eléctrico a 93 °C se diferenció estadísticamente ( $p < 0,05$ ) del resto de los métodos (horno con aire forzado y parrilla eléctrica). En cambio, Wheeler *et al.* (1998) encontraron diferencias significativas entre muestras de *Longissimus thoracis* cocinadas en parrilla eléctrica y horno de cintas transportadoras a 163 °C (25,8 5 %  $\pm$  4,7 versus 21,5 %  $\pm$  2,0, respectivamente). Obuz, Dikeman and Loughin (2003) evaluaron el efecto del

método de cocción sobre diferentes músculos, encontrando en *Longissimus lumborum* mayores pérdidas por cocción en las muestras cocinadas en baño con agua termostaticada que las cocinadas por horno de cintas transportadoras. Atribuyen la diferencia a las menores velocidades (y mayores tiempos) de cocción del primer método, lo que produciría una mayor dureza miofibrilar.

### **2.5.3.3. Métodos de determinación**

Según el tipo de fenómeno que se utilice para liberar el agua unida al músculo, existen diferentes métodos de medida de la capacidad de retención de agua: métodos que utilizan la presión, la centrifugación, la fuerza de gravedad y el calor.

*Métodos que utilizan la presión:* el más comúnmente utilizado es el de compresión entre papel de filtro. Se basa en situar una cantidad de carne entera o picada entre dos papeles de filtro, y a su vez entre dos placas de plexiglas a las que se les aplica presión por unos 5 minutos. Se asume que el área del papel mojado por el jugo que queda fuera de la carne es proporcional al agua liberada. Las ventajas de este método son su sencillez, rapidez y la poca cantidad de muestra que se necesita. Sin embargo, también presenta muchas desventajas: la muestra debe ser muy homogénea debido a su pequeño tamaño; las pérdidas por evaporación, especialmente en ambientes con baja humedad, pueden provocar resultados erráticos; se destruye la microestructura de la muestra durante la medida, por tanto, los resultados se producen en condiciones diferentes al estado normal de la carne y su interpretación puede ser complicada. Se ha sugerido que este método se puede utilizar para determinar la jugosidad de productos cárnicos cocinados, dado que el agua liberada durante la masticación de la muestra es también el resultado de la destrucción de la microestructura del músculo (Onega Pagador, 2003).

*Métodos que utilizan la centrifugación:* se pueden utilizar altas o bajas velocidades de centrifugación. En los primeros, las muestras varían en tamaño de 1 a 20 gramos, se centrifugan entre 5000 y 40000 g. La cantidad de agua liberada se determina directamente pesándola, o indirectamente pesando la muestra tras la centrifugación. Este método difiere poco del método de presión y, por tanto, presenta desventajas similares; sin embargo, no tiene la ventaja de ser rápido, como el de presión. En el método de baja velocidad de centrifugación se utilizan muestras de entre 3 y 15 gramos y velocidades entre 200 y 800 g en tubos de centrífuga especiales. Estos tubos tienen un disco perforado situado en la mitad inferior del tubo, de manera que el líquido liberado es recogido de forma separada a la muestra. La cantidad de agua liberada se determina midiendo el peso que ha perdido la muestra o midiendo la cantidad de líquido directamente. Con este método se superan dos problemas que se presentaban con el anterior de alta velocidad. Debido a la baja fuerza de centrifugación utilizada, se reduce bastante el daño a la microestructura de la carne. Además, el diseño de los tubos elimina el problema de la posible reabsorción del agua liberada durante la centrifugación. Esta técnica es rápida y simple y ha sido utilizada con éxito como un método rápido para predecir las pérdidas por goteo en músculos que han sido previamente congelados (Hamm, 1986 citado por Onega Pagador, 2003).

*Métodos que utilizan la fuerza de la gravedad:* en este caso no se aplica ninguna fuerza externa. Pertenecen a éste grupo las pérdidas por goteo y las pérdidas por descongelación. Los cambios de volumen de las miofibrillas causados por el *rigor mortis* o por la contracción provocan la liberación de agua que se acumula entre los haces de fibras. Cuando se corta el músculo el agua drena por la superficie a favor de la gravedad si la viscosidad del fluido es lo suficientemente baja y las fuerzas capilares no lo retienen (Honikel, 1998). Para la estandarización de la metodología se debe especificar el tipo de músculo, lugar del músculo de dónde fue tomada la muestra, la

orientación de las fibras, tiempo *post-mortem*, la temperatura y el pH (Honikel, 1998). La muestra se coloca extendida sobre una malla situada en el fondo de un recipiente de plástico herméticamente cerrado, para evitar el contacto de la muestra con el agua liberada, y se mantiene 24 horas en una cámara frigorífica a temperatura constante (1-5 °C). El agua liberada se determina midiendo el peso que ha perdido la muestra. Si se realizan nuevas mediciones en el tiempo, se debe utilizar la misma muestra y tomar como referencia el peso inicial de la misma (Honikel, 1998).

*Métodos que utilizan el calor.* dentro de éstos se incluyen las pérdidas por cocinado. El calentamiento de la carne hasta temperaturas que provocan la desnaturalización de las proteínas (aproximadamente 75 °C) produce cambios estructurales, como la destrucción de las membranas celulares, el encogimiento de las fibras, la agregación de proteínas sarcoplásmicas y el encogimiento del tejido conjuntivo. Todos estos cambios originan pérdidas de agua de la carne sometida al calor. Se debe estandarizar las condiciones de cocción (velocidad de calentamiento, temperatura final en el centro de la muestra, etc.). El agua liberada se determina midiendo el peso que ha perdido la muestra tras este proceso (Honikel, 1998).

## **2.5.4. Jugosidad**

### **2.5.4.1. Generalidades**

Al hablar de la jugosidad de la carne cocida se pueden distinguir dos etapas. En primer lugar aparece una jugosidad inicial, que produce una sensación de humedad al inicio de la masticación (debido a una rápida liberación de jugo) que depende básicamente de la capacidad de retención de agua de la carne. Posteriormente, aparece una jugosidad continuada, mantenida o sostenida, la cual está determinada por la cantidad de grasa que esa carne posea (Lawrie, 1998). Esto último podría

explicarse por el efecto que la grasa intramuscular ejerce sobre la microestructura, permitiendo la retención de una mayor cantidad de agua (Hamm, 1975).

## **2.5.4.2. Factores que influyen en la jugosidad**

### **2.5.4.2.1. Factores *ante-mortem***

La jugosidad de la carne cocinada de las diferentes especies y de las diferentes localizaciones anatómicas varía enormemente (Lawrie, 1998). Como se mencionó anteriormente, la sensación de jugosidad de la carne se relaciona con el contenido de grasa, entonces la mayoría de los parámetros que condicionan el contenido de grasa intramuscular se verán reflejados en esta percepción de jugosidad (Laroche, 1991). Modestas cantidades de grasa intramuscular uniformemente distribuidas a través de la carne proveen buen sabor y jugosidad, en contraposición a la carne que no la posee que es generalmente seca y carente de sabor. Esto se observa, por ejemplo, en los animales muy jóvenes que dan una impresión inicial de jugosidad, sensación que debido a la relativa ausencia de grasa, finalmente se transforma en sequedad (Lawrie, 1998).

### **2.5.4.2.2. Factores *post-mortem***

La pérdida de jugo es función casi lineal de la temperatura entre 30 °C y 80 °C, y puede llegar a valores del orden del 40 % del peso inicial. Está ligada a la desnaturalización térmica de las proteínas miofibrilares, con una retracción transversal de las fibras, lo que provoca un aumento del espacio interfibrilar y una migración del agua a esta zona, la cual tiende a ser expulsada a temperaturas superiores a los 60 °C (Hamm, 1986, citado por Onega Pagador, 2003).

En general, los tratamientos que producen la mayor retención de fluidos y de grasa originan las carnes más jugosas. Por esta razón, la jugosidad varía inversamente con las pérdidas por cocción.

#### **2.5.4.3. Métodos de determinación**

En general, es una característica difícil de medir instrumentalmente por lo que se recurre a la evaluación sensorial a través de un panel entrenado y la utilización de escalas de referencia normalizadas.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Origen y manejo de los animales

Se utilizaron 193 terneros de destete, machos castrados, de la raza Brangus (variedad 3/8 Cebú: 5/8 Angus) de aproximadamente 1 año de edad y un peso comprendido entre los 160-185 kg. Fueron provistos por seis establecimientos comerciales pertenecientes a la Asociación Argentina de Brangus: Quilpo Norte (provincia de Córdoba), La Leonor (provincia de Chaco), Las Marías (provincia de Corrientes), Rincón del Oratorio (provincia de Corrientes), Don Enrique (provincia de Chaco) y Cabaña Alegría (provincia de Corrientes). El número de animales provisto por cada establecimiento fue de 10, 20, 40, 43, 30 y 50 terneros, respectivamente. Sólo se dispuso de datos de paternidad de los terneros provenientes de los primeros cinco establecimientos, entre los cuales, a partir de la información suministrada por el registro de reproductores de la Sociedad Rural Argentina ([www.sra.org.ar/rrogg](http://www.sra.org.ar/rrogg)), no se evidenció relación de parentesco.

En el Cuadro 2 se muestra la cantidad de animales correspondientes a cada establecimiento, clasificados por padres.

**Cuadro 2.** Número de hijos por padre y establecimiento

| <i>Padres</i> | <i>Establecimiento</i> |           |           |           |           |           |
|---------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|               | 1                      | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         |
| Cowboy        | 10                     |           |           |           |           |           |
| Yucatán       |                        | 20        |           |           |           |           |
| LM-2626       |                        |           | 16        |           |           |           |
| Leonor-C4319  |                        |           | 24        |           |           |           |
| Dragón        |                        |           |           | 15        |           |           |
| Gladiador     |                        |           |           | 7         |           |           |
| Ibate         |                        |           |           | 5         |           |           |
| Renquel       |                        |           |           | 9         |           |           |
| Yacaré        |                        |           |           | 7         |           |           |
| A.A           |                        |           |           |           | 23        |           |
| Yasín         |                        |           |           |           | 7         |           |
| Desconocidos  |                        |           |           |           |           | 50        |
| <b>Total</b>  | <b>10</b>              | <b>20</b> | <b>40</b> | <b>43</b> | <b>30</b> | <b>50</b> |

La recría y engorde de los animales se desarrolló en un establecimiento ubicado en el Partido de Carlos Casares (provincia de Buenos Aires) a partir del momento de su arribo, el que tuvo lugar entre los meses de junio y septiembre del año 2005. Durante este período se manejaron como un solo lote y se alimentaron *ad libitum* con pasturas permanentes de “alfalfa” (*Medicago sativa*), “trébol rojo” (*Trifolium pratense*), “cebadilla” (*Bromus catharticus*), “pasto ovilla” (*Dactylis glomerata*), “falaris” (*Phalaris bulbosa*).

Para la caracterización de los animales que dieron origen a las muestras de carne se efectuó una apreciación subjetiva (fenotípicamente) del grado de contribución de genes índicos o británicos<sup>3</sup> y se los clasificó en: A= típicamente Angus, B= típicamente intermedio (Brangus) y C= típicamente índico. Además, se registraron datos mensuales de peso vivo (PV), condición corporal (1= flaco a 9= engrasado en exceso; adaptado de Lowman, 1976) y medidas ecográficas de espesor de grasa dorsal (EGD) y área de ojo de bife (AOB) a la altura de las 12<sup>o</sup> y 13<sup>o</sup> costillas. Para esto último se empleó un ecógrafo Pie Medical 200, con transductor lineal de 3,5 Mhz y una guía BTG-4B de siliconas (Animal Ultrasound Services Inc.), que adapta el transductor a la curvatura del dorso del animal, utilizando aceite vegetal como acoplante.

El engorde se realizó hasta alcanzar la condición de faena, definida por el momento en que el animal alcanzó un EGD mínimo de 6 mm, lo que demandó un promedio de 438 días. En este período se registraron promedios de 0,54 kg/día de ganancia diaria de peso vivo, 0,17 mm/30 días de tasa de engrasamiento y 1,71 cm<sup>2</sup>/30 días de tasa de incremento en el área de ojo de bife, estimadas mediante regresión lineal del PV, el EGD y el AOB en el tiempo respectivamente. El PV, EGD y AOB promedio previo a la

---

<sup>3</sup> Tomando como criterios al pelaje (presencia de chorreados, barcinos, hoscós, etc.) además de la presencia o insinuación de giba, forma y tamaño de orejas, arrugas alrededor de ojos, arrugas en pecho y largo de patas.

faena fueron de 457 kg, 6,77 mm y 59,72 cm<sup>2</sup>, respectivamente. Estos promedios son en base a 187 novillos debido a que durante el engorde murieron 6 animales.

### **3.2. Faena y obtención de las muestras de carne**

Luego de un descanso de 24 horas en corrales con acceso a agua se procedió con el sacrificio de los animales en el establecimiento frigorífico "Pacamurú" de la ciudad de Balcarce (provincia de Buenos Aires). La totalidad de los animales fueron faenados en 6 fechas, comprendidas entre los meses de julio y diciembre de 2006. Se obtuvo un rendimiento promedio del 55% (proporción de res caliente respecto al peso vivo a la faena sin desbaste previo) y un porcentaje de grasa peri-renal (riñonada) promedio de 1,3% (proporción respecto a peso de la res caliente).

Se registró la evolución del pH y temperatura de la carne a la 1<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup>, 9<sup>a</sup>, 12<sup>a</sup> y 24<sup>a</sup> horas *post-mortem*. Los sitios en los cuales se hicieron las mediciones fueron diferentes, tratando de que fueran lo más cercanos posible entre sí, entre las costillas 11<sup>a</sup> a 13<sup>a</sup>. Con esto se pretendió que las mediciones fueran independientes entre sí y evitar que las condiciones de pH y temperatura desarrolladas en una medición interfirieran en las subsiguientes.

Una vez finalizado el oreo de 24 horas, siguiendo las prácticas habituales del establecimiento, se realizaron mediciones en la media res izquierda, obteniendo valores promedio de 127,7 kg de peso, 79 cm de largo de pierna y 124 cm de largo de res. Además, de cada media res izquierda se extrajo el bloque de bifes correspondiente a las costillas 11<sup>a</sup> a 13<sup>a</sup>. Sobre la cara posterior de éste se midió el EGD con un calibre y el AOB por calcado en acetato y luego estimada por planimetría, obteniéndose valores de 3,6 mm y 67,3 cm<sup>2</sup>, respectivamente.

Los bloques fueron llevados al laboratorio de nutrición animal del INTA EEA Balcarce, donde fueron deshuesados y divididos en tres piezas a las cuales se les dio el nombre de sitio A, B y C, correspondiente a la 11<sup>o</sup>, 12<sup>o</sup> y 13<sup>o</sup> costilla, respectivamente. Estas muestras se envasaron al vacío y fueron asignadas al azar a los tratamientos de maduración *post-mortem* de 1, 7 y 14 días. Las muestras fueron maduradas en cámara a 2-5 °C y luego fueron congeladas y mantenidas a -18 °C hasta su procesamiento en laboratorio.

### **3.3. Determinaciones de calidad de la carne**

Las determinaciones físicas y química de calidad de carne se realizaron en el Laboratorio de Carnes de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (UBA) durante los meses de diciembre de 2006, enero, febrero, marzo y abril de 2007.

Las muestras fueron descongeladas de dos maneras diferentes: primero se realizó a temperatura ambiente durante 21 horas y después se cambió por la descongelación a temperatura ambiente durante 3 horas y luego en heladera a 4 °C por un período de 18 horas. La diferencia no fue inicialmente programada, hubo que realizarla por cambios en la rutina del laboratorio. Una vez descongeladas, de cada muestra se extrajo el músculo *Longissimus dorsi*, sobre el cual se realizaron las determinaciones físicas y química.

#### **3.3.1. Determinaciones físicas**

##### **3.3.1.1. pH final (pHu)**

Se utilizó un peachímetro portátil, con un electrodo de penetración con compensación automática de temperatura Testo 230 (Testo GMBH & Ltd. Japan). Previo a la medición, el peachímetro se calibró con dos soluciones buffer de valores 4

y 7 respectivamente. Se registraron tres medidas de pH por muestra de carne cruda, a una profundidad constante y abarcando todo el largo del músculo. El resultado correspondiente a cada muestra se obtuvo promediando las tres mediciones.

### **3.3.1.2. Resistencia al corte (como medida de la ternera)**

Para su determinación se cortó, de cada muestra, un bife de 2,5 cm de espesor. Se envasaron individualmente en bolsas de polietileno y sellaron para evitar el ingreso de agua y salida de los jugos de la carne. Se procedió a la cocción durante cincuenta minutos en un baño de agua termostaticada P Selecta, Precisdig (J.P. Selecta S.A., España). Con este tiempo se asegura una temperatura interna de 70°C. A continuación las muestras fueron enfriadas durante cuarenta minutos bajo canilla de agua fría. Se extrajeron del envase y se secaron con un papel absorbente (*tissue*) sin hacer presión sobre las mismas. De cada bife se cortaron cuatro cilindros o probetas de 2,5 cm de diámetro y se midió la ternera. La medición se llevó a cabo usando una cuchilla de Warner-Bratzler montada sobre un equipo Instron 4442 Universal Testing Machine (Canton, MA, USA) y a una velocidad de 50 mm/min.

### **3.3.1.3. Color**

Las medidas absolutas del color se registraron en el sistema L\*a\*b usando un colorímetro portátil Minolta serie CR – 300 (Minolta Co, Ltd. Japón). El cabezal de medición del colorímetro tiene un área de medida de 8 mm de diámetro y usa iluminación difusa con ángulo de visión de 0°. La fuente de luz usada fue C (iluminantes CIE C). Previo a la determinación se calibró el instrumento con una placa blanca (CR – A43). Para la determinación se tomó, del músculo *Longissimus dorsi*, una muestra de 2,5 cm de espesor sobre la que se realizaron tres lecturas después de una hora de oxigenación a unos 4°C (*blooming time*). Las mediciones se hicieron en

zonas homogéneas y representativas, libres de grasa intramuscular y de manchas de sangre.

#### 3.3.1.4. Pérdidas por descongelación

Se calcularon mediante la siguiente fórmula:

$$P_{descong.} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} * 100$$

Donde:

$P_{descong.}$ : pérdidas por descongelación (%)

$P_1$ : peso de la muestra congelada

$P_2$ : peso de la muestra descongelada, previamente secada con papel absorbente sin hacer presión sobre la misma

#### 3.3.1.5. Pérdidas por cocción

Se calcularon mediante la siguiente fórmula:

$$P_{cocción} = \frac{P_{cruda} - P_{cocida}}{P_{cruda}} * 100$$

Donde:

$P_{cocción}$ : pérdidas por cocción (%)

$P_{cruda}$ : peso de la muestra cruda de 2,5 cm de espesor

$P_{cocida}$ : peso de la muestra cocida de 2,5 cm de espesor, previamente secada con papel absorbente sin hacer presión sobre la misma

### 3.3.2. Determinación química

La determinación del contenido de grasa intramuscular, se realizó sobre un solo bife por cuestiones de costos, tiempo de análisis y bajo el supuesto de que éste tenor no difiere significativamente entre sitios tan próximos. Para ello se eligió el bife correspondiente a la 13ª costilla (sitio C).

#### 3.3.2.1. Materia seca

Se realiza para poder moler las muestras y proceder a su posterior homogenización y determinación de extracto etéreo. Se utilizó una feta de carne de peso conocido, aproximadamente 15 gramos, secada en estufa a 65°C durante 48 horas. Se calculó de la siguiente manera:

$$MS_{65}(\%) = \frac{(T_1 + MS_1) - T_1}{MH_1} * 100$$

Donde:

MS<sub>65</sub>(%): contenido de materia seca a 65°C (%)

T<sub>1</sub>: peso del recipiente donde se colocó la muestra a secar

(T<sub>1</sub> + MS<sub>1</sub>): peso del recipiente más la muestra secada en estufa a 65°C y enfriada en desecador

MH<sub>1</sub>: peso exacto de la muestra

#### 3.3.2.2. Extracto etéreo

Se realizó según método 920.39 de la AOAC (1990). Se pesaron 2g, aproximadamente, de muestra secada a 65°C, se colocó en un cartucho de papel de filtro y se introdujo en el interior del sifón de vidrio del equipo de extracción Soxhlet. Se procedió a la recuperación de la materia grasa en balones por medio de éter de

petróleo y calor, por un período mínimo de cuatro horas. Luego se llevaron los balones a estufa a 105°C durante una hora, se retiraron y colocaron en desecador para dejar enfriar y se pesaron. Se procedió al cálculo del extracto etéreo mediante la siguiente fórmula:

$$EE\% = \frac{B_2 - B_1}{P_m} * 100$$

Donde:

EE%: extracto etéreo (%)

B<sub>1</sub>: peso del balón vacío, previamente secado en estufa a 105 °C durante toda la noche y enfriado en desecador.

B<sub>2</sub>: peso del balón luego de la extracción de la muestra, evaporación del solvente en estufa a 105 °C durante 1 hora y enfriado en desecador.

P<sub>m</sub>: peso exacto de la muestra

### 3.4. Análisis estadístico de la información

Los modelos estadísticos fueron definidos luego de análisis en los que se consideraron los efectos principales y todas las interacciones posibles (hasta tercer orden) entre los factores, dentro de los cuales se incluyó también el grado de acebuzamiento. Este último, al igual que muchas interacciones, fueron excluidos del modelo por ser no significativos ( $p > 0,05$ ) para todas las variables evaluadas.

El descenso de pH y temperatura *post-mortem* se evaluaron como mediciones repetidas en el tiempo, utilizando el siguiente modelo mixto:

$$y_{ijklm} = \mu + \delta_i + \eta_j + (\delta\eta)_{ij} + \lambda_k + b(\lambda)_{lk} + e_{ijklm}$$

$$i = 1, \dots, 6 \quad j = 1, \dots, 6 \quad k = 1, \dots, 6 \quad l = 1, \dots, n_k \quad m = 1, \dots, r_{ikl}$$

$$e_{ijklm} \sim N(0, \sigma_e^2) \quad b_l \sim N(0, \sigma_b^2)$$

Donde:

$y_{ijklm}$  : m-ésima observación correspondiente a la i-ésima fecha de faena, j-ésimo hora de medición, k-ésimo establecimiento y l-ésimo padre anidado en el k-ésimo establecimiento

$\mu$  : media general

$\delta_i$  : efecto fijo de la i-ésima fecha de faena

$\eta_j$  : efecto fijo de la j-ésima hora de medición

$(\delta\eta)_{ij}$  : efecto fijo de interacción entre la i-ésima fecha de faena y la j-ésima hora de medición

$\lambda_k$  : efecto fijo del k-ésimo establecimiento

$b(\lambda)_{lk}$  : efecto aleatorio del l-ésimo padre anidado en el k-ésimo establecimiento

$e_{ijklm}$  : efecto aleatorio del error experimental asociado al modelo

En el caso de las variables pHu, resistencia al corte, color y pérdidas se utilizó el siguiente modelo mixto:

$$y_{ijklmno} = \mu + \tau_i + \delta_j + (\tau\delta)_{ij} + \rho_k + \gamma_l + \lambda_m + b(\lambda)_{nm} + e_{ijklmno}$$

$$i = 1, 2, 3 \quad j = 1, \dots, 6 \quad k = 1, 2, 3 \quad l = 1, 2 \quad m = 1, \dots, 6 \quad n = 1, \dots, p_m \quad o = 1, \dots, r_{ijklmn}$$

$$e_{ijklmno} \sim N(0, \sigma_e^2) \quad b_n \sim N(0, \sigma_b^2)$$

Donde:

$Y_{ijklmno}$  : o-ésima observación correspondiente al i-ésimo tratamiento de maduración, j-ésima fecha de faena, k-ésimo sitio, l-ésima técnica de descongelación, m-ésimo establecimiento y n-ésimo padre anidado en el m-ésimo establecimiento

$\mu$  : media general

$\tau_i$  : efecto fijo del i-ésimo tratamiento de maduración,

$\delta_j$  : efecto fijo de la j-ésima fecha de faena,

$(\tau\delta)_{ij}$  : efecto fijo de interacción entre el i-ésimo tratamiento de maduración y la j-ésima fecha de faena

$\rho_k$  : efecto fijo del k-ésimo sitio,

$\gamma_l$  : efecto fijo de la l-ésima técnica de descongelación

$\lambda_m$  : efecto fijo del m-ésimo establecimiento

$b(\lambda)_{nm}$  : efecto aleatorio del n-ésimo padre anidado en el m-ésimo establecimiento

$e_{ijklmno}$  : efecto aleatorio del error experimental asociado al modelo

El modelo estadístico para extracto etéreo fue:

$$y_{ijkl} = \mu + \delta_i + \lambda_j + b(\lambda)_{kj} + e_{ijkl}$$

$$i = 1, \dots, 6 \quad j = 1, \dots, 6 \quad k = 1, \dots, m_j \quad l = 1, \dots, n_{ijk}$$

$$e_{ijkl} \sim N(0, \sigma_e^2) \quad b_k \sim N(0, \sigma_b^2)$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  : l-ésima observación correspondiente a la i-ésima fecha de faena, j-ésimo establecimiento y k-ésimo padre anidado en el j-ésimo establecimiento

$\mu$  : media general

$\delta_i$  : efecto fijo de la i-ésima fecha de faena

$\lambda_j$  : efecto fijo del j-ésimo establecimiento

$b(\lambda)_{kj}$  : efecto aleatorio del k-ésimo padre anidado en el j-ésimo establecimiento

$e_{ijkl}$  : efecto aleatorio del error experimental asociado al modelo

Se estimaron las correlaciones residuales entre los atributos de calidad de carne para evaluar la relación entre las mismas una vez ajustadas por los efectos fijos que contuvo el modelo.

El efecto de padre sobre los atributos de calidad de carne se determinó mediante un test de cociente de verosimilitud.

Las hipótesis a probar fueron:

$H_0: \sigma^2_{\text{padre(establecimiento)}} = 0$  (la variancia debida a padre dentro de establecimiento es igual a cero)

$H_a: \sigma^2_{\text{padre(establecimiento)}} > 0$

Se utilizó el estadístico:

$$\Lambda = 2 (l_f - l_r)$$

Donde:

$l_f$  y  $l_r$  son el logaritmo de la verosimilitud del modelo completo y reducido

En general,  $\Lambda$  se distribuye como un chi-cuadrado con  $k$  grados de libertad, siendo  $k$  el número de restricciones impuestas al modelo completo (Verbeke and Molenberghs, 2003). En este caso  $k$  es igual a 1 porque el modelo reducido contiene un parámetro menos que el modelo completo.

Como la hipótesis a probar es relativa a un parámetro que bajo  $H_0$  se encuentra en la frontera de su espacio paramétrico, la distribución muestral del estadístico bajo  $H_0$  es una mezcla 50:50 de un  $\chi_0^2$  y de un  $\chi_1^2$  (chi-cuadrado de 0 y 1 grados de libertad, respectivamente); y dado que  $\chi_0^2$  vale cero se toma como p valor al correspondiente a un  $\chi_1^2$  dividido por dos (Verbeke and Molenberghs, 2003). Es decir:

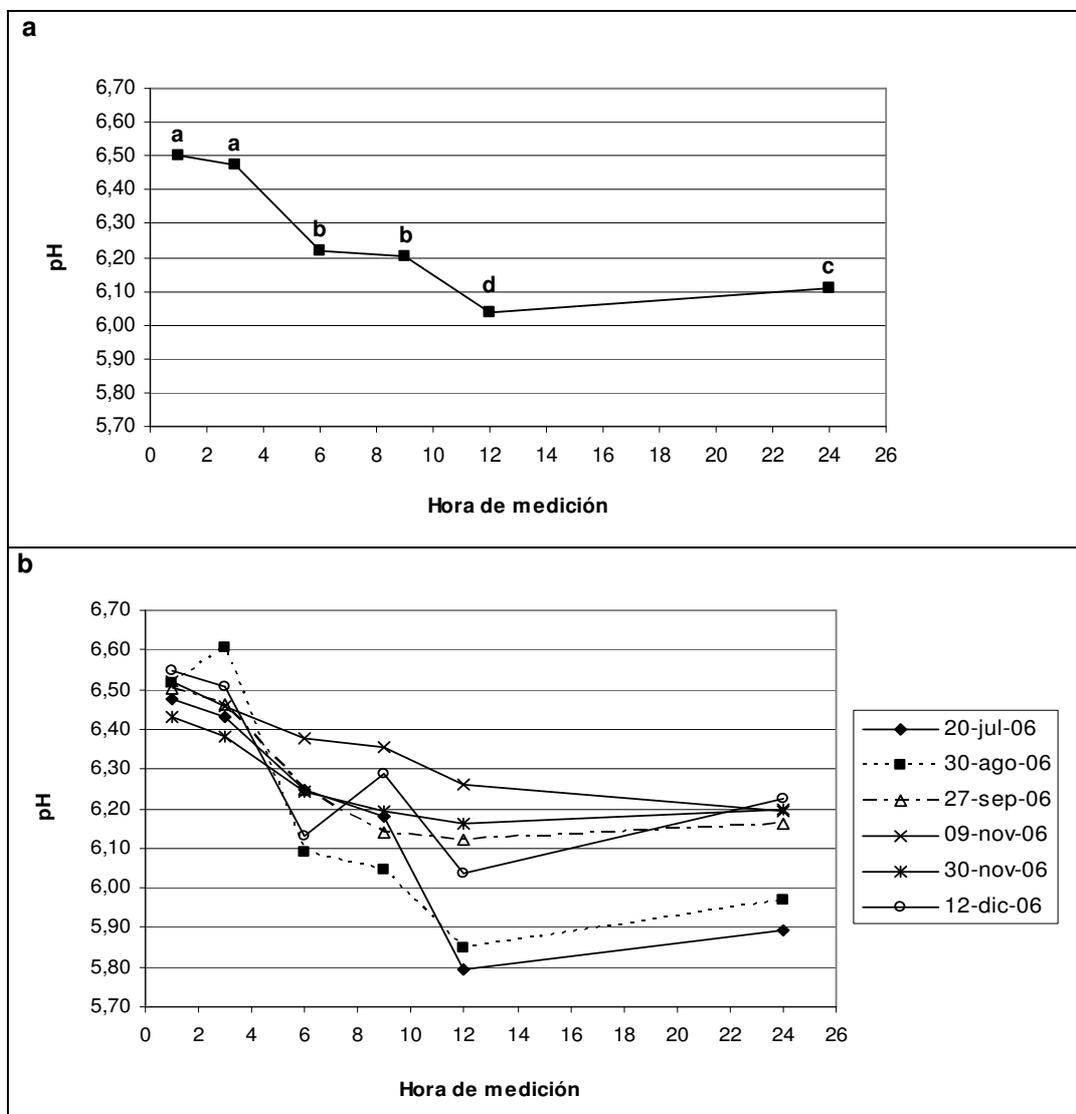
$$\frac{1}{2} \Pr(\chi_1^2 > \Lambda) \leq p$$

Para el cálculo de los modelos mixtos y la correlación residual se utilizó el paquete de análisis SAS (Statistical Analysis System, V 8.0). Los modelos de análisis se testearon con pruebas de F utilizando un nivel de significancia ( $\alpha$ ) del 5%, y en los casos en los cuales se detectaron efectos principales e interacciones significativas se realizaron comparaciones múltiples entre los niveles de cada efecto, o de la combinación de los mismos en caso de interacciones. Se utilizó el estadístico  $t$  de Bonferroni para fijar el nivel de significancia  $\alpha'$  ajustado por la cantidad de comparaciones involucradas ( $n$ ), donde:  $\alpha' = \alpha / n$ .

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Evolución del pH y la temperatura *post-mortem* de la res

El promedio de pH inicial de las reses (hora 1 *post-mortem*) fue de 6,50 y el final (hora 24 *post-mortem*) fue de 6,11. Inesperadamente, el pH a las 24 horas resultó mayor que a las 12 horas *post-mortem* (Figura 5a).



**Figura 5.** Descenso promedio de pH de la res. Del total de animales (a) y por fecha de faena (b) abcd: letras diferentes indican diferencias significativas entre medias ( $p < 0,05$ )

El análisis estadístico sobre el descenso de pH mostró interacción entre fecha de faena y hora de medición ( $p < 0,0001$ ) y no detectó efecto del establecimiento del cual provinieron los novillos ( $p > 0,05$ ).

Se observó que no hubo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las horas 1 y 3, pero sí las hubo ( $p < 0,05$ ) al comparar la hora 1 con la hora 12 y con la hora 24, en todas las fecha de faena. En general, el pH a las 24 horas fue mayor que a las 12 horas, aunque estas diferencias resultaron significativas ( $p < 0,05$ ) sólo en las fechas de julio, agosto y diciembre (Cuadro 3 y Figura 5b).

**Cuadro 3.** Estimaciones de mínimos cuadrados y error estándar de pH para la interacción entre fecha de faena y hora de medición (n=187)

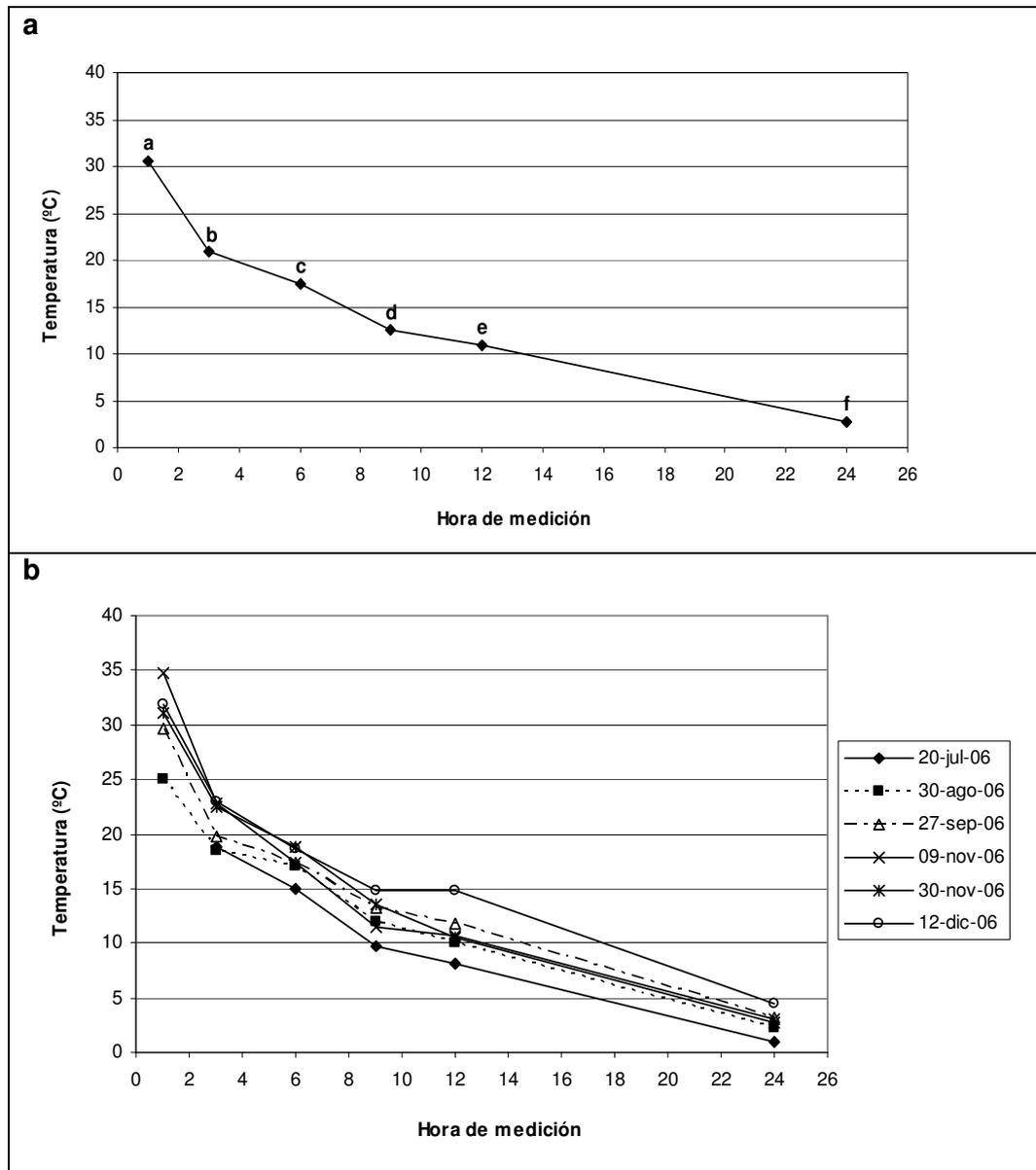
| Fecha de faena | Hora de medición |           |          |            |          |          | E.E. |
|----------------|------------------|-----------|----------|------------|----------|----------|------|
|                | 1                | 3         | 6        | 9          | 12       | 24       |      |
| 20-Jul-06      | 6,48 aw          | 6,43 awx  | 6,25 bwx | 6,18 bwxxy | 5,79 dz  | 5,89 cy  | 0,04 |
| 30-Ago-06      | 6,51 aw          | 6,61 aw   | 6,09 bx  | 6,05 bcy   | 5,85 dyz | 5,97 cxy | 0,04 |
| 27-Sep-06      | 6,50 aw          | 6,46 awx  | 6,25 bwx | 6,14 cxy   | 6,12 cwx | 6,16 cwx | 0,03 |
| 09-Nov-06      | 6,52 aw          | 6,46 abwx | 6,38 bw  | 6,36 bcw   | 6,26 cdw | 6,19 dwx | 0,04 |
| 30-Nov-06      | 6,43 aw          | 6,38 ax   | 6,24 bwx | 6,19 bwxxy | 6,16 bwx | 6,20 bw  | 0,04 |
| 12-Dic-06      | 6,55 aw          | 6,51 awx  | 6,13 cdx | 6,29 bwx   | 6,03 dxy | 6,23 bcw | 0,04 |

abcd: medias con letras diferentes dentro de fecha difieren significativamente ( $p < 0,05$ )

wxyz: medias con letras diferentes dentro de hora de medición difieren significativamente ( $p < 0,05$ )

Además, se observó que entre fechas de faena no hubo diferencias de pH a la hora 1, pero sí las hubo en los momentos posteriores ( $p < 0,05$ ). Por otro lado, sólo dos de las seis fechas de faena presentaron valores de pH  $< 6$  a las 24 horas *post-mortem* (Cuadro 3 y Figura 5b).

En la Figura 6a se presenta el descenso de temperatura promedio de la res. La temperatura promedio fue de 30,5 °C a la hora 1 *post-mortem* y de 2,8 °C a la hora 24.



**Figura 6.** Descenso promedio de temperatura de la res. Del total de animales (a) y por fecha de faena (b) abcdef: letras diferentes indican diferencias significativas entre medias ( $p < 0,05$ )

Se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) al comparar de a pares las temperaturas de todos los momentos de medición (Figura 6a). Se detectó interacción entre fecha de faena y hora de medición ( $p < 0,001$ ) para el descenso de temperatura *post-mortem*. Sin embargo, la tendencia general fue similar entre faenas (Figura 6b).

En el Cuadro 4 se observa que la hora 1 mostró diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) con el resto de las horas de medición en todas las fechas de faena, excepto en la primera (en la que no se pudo medir la temperatura en ese momento), y que la hora 12 difirió de la hora 24 en todas las fechas. Para las faenas del 20-Jul-06, 27-Sep-06 y 30-Nov-06 hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre todas las horas de medición (Cuadro 4 y Figura 6b).

**Cuadro 4.** Estimaciones de mínimos cuadrados y error estándar de temperatura para la interacción entre fecha de faena y hora de medición ( $n=187$ )

| Fecha de faena | Hora de medición |         |          |          |          |         |      |
|----------------|------------------|---------|----------|----------|----------|---------|------|
|                | 1                | 3       | 6        | 9        | 12       | 24      | E.E. |
| 20-Jul-06      | <sup>(1)</sup>   | 18,9 ax | 15,1 by  | 9,7 cz   | 8,1 dz   | 0,9 ey  | 0,28 |
| 30-Ago-06      | 25,0 az          | 18,5 bx | 17,0 bx  | 12,0 cxy | 10,0 dy  | 2,2 exy | 0,32 |
| 27-Sep-06      | 29,6 ay          | 19,8 bx | 17,4 cx  | 13,2 dx  | 11,7 ex  | 3,2 fwx | 0,25 |
| 09-Nov-06      | 34,7 aw          | 22,8 bw | 17,3 cwx | 11,5 dy  | 10,7 dxy | 3,1 ewx | 0,30 |
| 30-Nov-06      | 31,1 axy         | 22,4 bw | 18,9 cw  | 13,6 dwx | 10,5 exy | 2,7 fx  | 0,29 |
| 12-Dic-06      | 31,8 ax          | 22,9 bw | 18,7 cwx | 14,9 dw  | 14,8 dw  | 4,4 ew  | 0,30 |

abc: medias con letras diferentes dentro de fecha difieren significativamente ( $p < 0,05$ )

wxyz: medias con letras diferentes dentro de hora de medición difieren significativamente ( $p < 0,05$ )

<sup>(1)</sup>: dato faltante

También se observó que la temperatura inicial difirió ( $p < 0,05$ ) entre fechas; que para la hora 3 las faenas de julio, agosto y septiembre fueron significativamente menores ( $p < 0,05$ ) a las de noviembre y diciembre, y que para las horas 6, 9 y 12 la fecha de faena del 20-Jul-06 fue inferior a las restantes ( $p < 0,05$ ; Cuadro 4 y Figura 6b).

## 4.2. Determinaciones de calidad de la carne

### 4.2.1. Determinaciones físicas

En el Cuadro 5 se presenta la caracterización de los atributos de calidad de carne evaluados. En general, no se evidenciaron magnitudes altas de variación entre las muestras, excepto para la pérdida por descongelación, que presentó el mayor valor (CV=39,51%). La menor variabilidad fue para el pH (CV=2,57%).

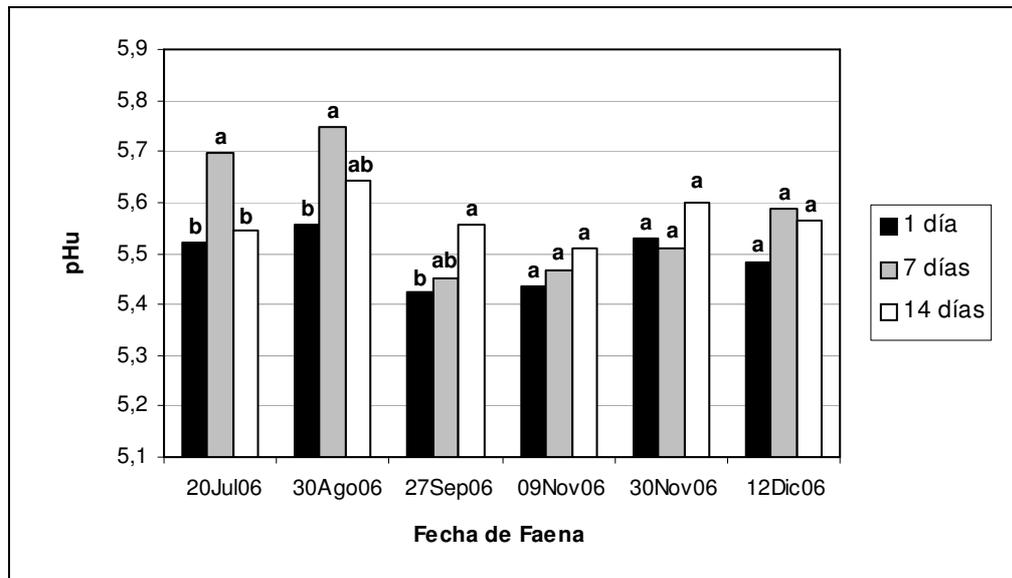
**Cuadro 5.** Caracterización de los atributos de calidad de carne (n = 559)

| Atributos de calidad                   | Media | Máximo | Mínimo | D.E. | CV (%) |
|--|-------|--------|--------|------|--------|
| <b>pHu</b>                             | 5,54  | 5,95   | 5,24   | 0,14 | 2,57   |
| <b>Resistencia al corte (kg)</b>       | 7,59  | 12,39  | 4,49   | 1,35 | 17,77  |
| <b>L*</b>                              | 38,62 | 44,93  | 31,98  | 2,36 | 6,12   |
| <b>a*</b>                              | 22,85 | 27,97  | 16,21  | 1,94 | 8,50   |
| <b>b*</b>                              | 12,79 | 17,13  | 7,30   | 1,41 | 11,04  |
| <b>Pérdidas por descongelación (%)</b> | 6,08  | 12,86  | 0,91   | 2,40 | 39,51  |
| <b>Pérdidas por cocción (%)</b>        | 28,93 | 37,06  | 16,91  | 2,89 | 9,99   |

En los Cuadros I a IV del apéndice se dan detalles de las pruebas de hipótesis relativas a los efectos fijos incluídos en los modelos de análisis de las variables estudiadas. Los resultados de dichos análisis se desarrollan en los siguientes apartados.

#### 4.2.1.1. pH final (pHu)

En esta variable únicamente se detectó interacción entre fecha de faena y tratamiento de maduración ( $p < 0,0001$ ; Cuadros 6 y 7 y Figura 7). Las comparaciones entre tratamientos dentro de fechas sólo mostraron diferencias ( $p < 0,05$ ) entre ellos en las primeras tres fechas.



**Figura 7.** Efecto de interacción entre fecha de faena y tratamiento de maduración sobre el pH final. Letras diferentes dentro de cada fecha reflejan diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

En la Figura 7 se puede observar que en la fecha del 20-Jul-06 el pHu del tratamiento de 7 días superó al de los otros dos, en la fecha del 30-Ago-06 la diferencia se produjo entre 1 y 7 días y en la tercera fecha la diferencia se detectó entre 1 y 14 días de maduración.

#### 4.2.1.2. Resistencia al corte

La resistencia al corte estuvo afectada por el sitio y la técnica de descongelación (Cuadro 6). Se observó interacción ( $p=0,0034$ ) entre fecha de faena y tratamiento de maduración (Cuadro 6), encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos 1 versus 7 y 14 días para las fechas del 09-Nov-06 y 30-Nov-06, y entre 1 y 14 días de maduración en la primera y última fecha de faena (Cuadro 7 y Figura 8).

**Cuadro 6.** Estimaciones de mínimos cuadrados  $\pm$  error estándar de los atributos de calidad de carne evaluados según efectos principales (n=559)

|   | <i>p</i> Hu     | Resistencia al corte (kg) | L*                 | a*                  | b*                 | Pérdidas por descongelación (%) | Pérdidas por cocción (%) |
|---|-----------------|---------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------------------|--------------------------|
| <b>Fecha Faena (F)</b>                      | ** (1)          | ** (1)                    | NS                 | **                  | ** (1)             | ** (1)                          | ** (1)                   |
| 20-Jul-06                                   | 5,59 $\pm$ 0,02 | 7,03 $\pm$ 0,17           | 38,96 $\pm$ 0,33   | 22,33 $\pm$ 0,21 b  | 12,55 $\pm$ 0,17   | 6,22 $\pm$ 0,22                 | 27,83 $\pm$ 0,30         |
| 30-Ago-06                                   | 5,65 $\pm$ 0,02 | 7,87 $\pm$ 0,17           | 38,24 $\pm$ 0,33   | 22,57 $\pm$ 0,21 b  | 12,57 $\pm$ 0,17   | 5,26 $\pm$ 0,22                 | 30,42 $\pm$ 0,30         |
| 27-Sep-06                                   | 5,48 $\pm$ 0,01 | 7,45 $\pm$ 0,14           | 38,41 $\pm$ 0,28   | 23,46 $\pm$ 0,16 a  | 13,37 $\pm$ 0,13   | 7,07 $\pm$ 0,17                 | 28,22 $\pm$ 0,22         |
| 09-Nov-06                                   | 5,47 $\pm$ 0,02 | 7,56 $\pm$ 0,17           | 38,26 $\pm$ 0,33   | 22,61 $\pm$ 0,21 ab | 12,71 $\pm$ 0,17   | 6,08 $\pm$ 0,22                 | 28,86 $\pm$ 0,30         |
| 30-Nov-06                                   | 5,54 $\pm$ 0,02 | 7,25 $\pm$ 0,20           | 38,35 $\pm$ 0,36   | 23,12 $\pm$ 0,24 ab | 12,96 $\pm$ 0,19   | 6,21 $\pm$ 0,25                 | 27,80 $\pm$ 0,35         |
| 12-Dic-06                                   | 5,54 $\pm$ 0,02 | 7,20 $\pm$ 0,20           | 38,74 $\pm$ 0,28   | 23,55 $\pm$ 0,24 ab | 12,91 $\pm$ 0,19   | 6,83 $\pm$ 0,25                 | 29,36 $\pm$ 0,36         |
| <b>Tratamiento de maduración (días) (T)</b> | ** (1)          | ** (1)                    | **                 | **                  | ** (1)             | ** (1)                          | ** (1)                   |
| 1   | 5,49 $\pm$ 0,01 | 8,29 $\pm$ 0,12           | 37,07 $\pm$ 0,26 c | 21,27 $\pm$ 0,13 c  | 11,77 $\pm$ 0,11   | 6,95 $\pm$ 0,15                 | 28,90 $\pm$ 0,18         |
| 7   | 5,58 $\pm$ 0,01 | 7,11 $\pm$ 0,12           | 38,69 $\pm$ 0,26 b | 23,42 $\pm$ 0,13 b  | 13,17 $\pm$ 0,11   | 6,12 $\pm$ 0,14                 | 27,82 $\pm$ 0,18         |
| 14  | 5,57 $\pm$ 0,02 | 6,77 $\pm$ 0,17           | 39,73 $\pm$ 0,32 a | 24,13 $\pm$ 0,20 a  | 13,59 $\pm$ 0,16   | 5,76 $\pm$ 0,21                 | 29,52 $\pm$ 0,29         |
| <b>Interacción F*T</b>                      | **              | **                        | NS                 | NS                  | **                 | **                              | **                       |
| <b>Sitio</b>                                | NS              | **                        | *                  | NS                  | NS                 | **                              | **                       |
| A   | 5,55 $\pm$ 0,01 | 7,58 $\pm$ 0,13 a         | 38,56 $\pm$ 0,26 a | 22,85 $\pm$ 0,13    | 12,81 $\pm$ 0,11   | 5,71 $\pm$ 0,15 c               | 29,09 $\pm$ 0,19 a       |
| B   | 5,55 $\pm$ 0,01 | 7,42 $\pm$ 0,12 ab        | 38,72 $\pm$ 0,26 a | 22,99 $\pm$ 0,13    | 12,88 $\pm$ 0,11   | 6,32 $\pm$ 0,15 b               | 28,90 $\pm$ 0,18 ab      |
| C   | 5,54 $\pm$ 0,01 | 7,19 $\pm$ 0,13 b         | 38,20 $\pm$ 0,26 a | 22,97 $\pm$ 0,13    | 12,84 $\pm$ 0,11   | 6,80 $\pm$ 0,15 a               | 28,25 $\pm$ 0,19 b       |
| <b>Técnica de descongelación</b>            | NS              | **                        | NS                 | NS                  | *                  | **                              | **                       |
| 1   | 5,55 $\pm$ 0,02 | 6,85 $\pm$ 0,17 b         | 38,21 $\pm$ 0,34   | 23,21 $\pm$ 0,21    | 13,10 $\pm$ 0,17 a | 7,73 $\pm$ 0,22 a               | 27,78 $\pm$ 0,31 b       |
| 2   | 5,54 $\pm$ 0,01 | 7,94 $\pm$ 0,13 a         | 38,78 $\pm$ 0,27   | 22,67 $\pm$ 0,14    | 12,60 $\pm$ 0,12 b | 4,83 $\pm$ 0,16 b               | 29,72 $\pm$ 0,20 a       |
| <b>Establecimiento</b>                      | NS              | NS                        | NS                 | NS                  | NS                 | NS                              | **                       |
| 1   | 5,54 $\pm$ 0,03 | 7,11 $\pm$ 0,35           | 37,71 $\pm$ 0,75   | 23,22 $\pm$ 0,36    | 13,03 $\pm$ 0,31   | 6,31 $\pm$ 0,41                 | 28,37 $\pm$ 0,51 ab      |
| 2   | 5,56 $\pm$ 0,02 | 6,96 $\pm$ 0,29           | 38,97 $\pm$ 0,66   | 23,30 $\pm$ 0,23    | 13,03 $\pm$ 0,22   | 5,97 $\pm$ 0,31                 | 27,69 $\pm$ 0,32 b       |
| 3   | 5,56 $\pm$ 0,01 | 7,84 $\pm$ 0,22           | 38,69 $\pm$ 0,48   | 22,90 $\pm$ 0,20    | 12,86 $\pm$ 0,17   | 6,73 $\pm$ 0,24                 | 29,56 $\pm$ 0,26 a       |
| 4   | 5,53 $\pm$ 0,01 | 7,67 $\pm$ 0,16           | 38,65 $\pm$ 0,33   | 22,54 $\pm$ 0,16    | 12,66 $\pm$ 0,14   | 6,45 $\pm$ 0,18                 | 28,60 $\pm$ 0,22 ab      |
| 5   | 5,55 $\pm$ 0,02 | 7,41 $\pm$ 0,23           | 38,22 $\pm$ 0,51   | 22,57 $\pm$ 0,22    | 12,55 $\pm$ 0,19   | 5,93 $\pm$ 0,26                 | 29,69 $\pm$ 0,28 a       |
| 6   | 5,53 $\pm$ 0,01 | 7,37 $\pm$ 0,26           | 38,71 $\pm$ 0,62   | 23,10 $\pm$ 0,16    | 12,94 $\pm$ 0,18   | 6,27 $\pm$ 0,26                 | 28,57 $\pm$ 0,20 ab      |

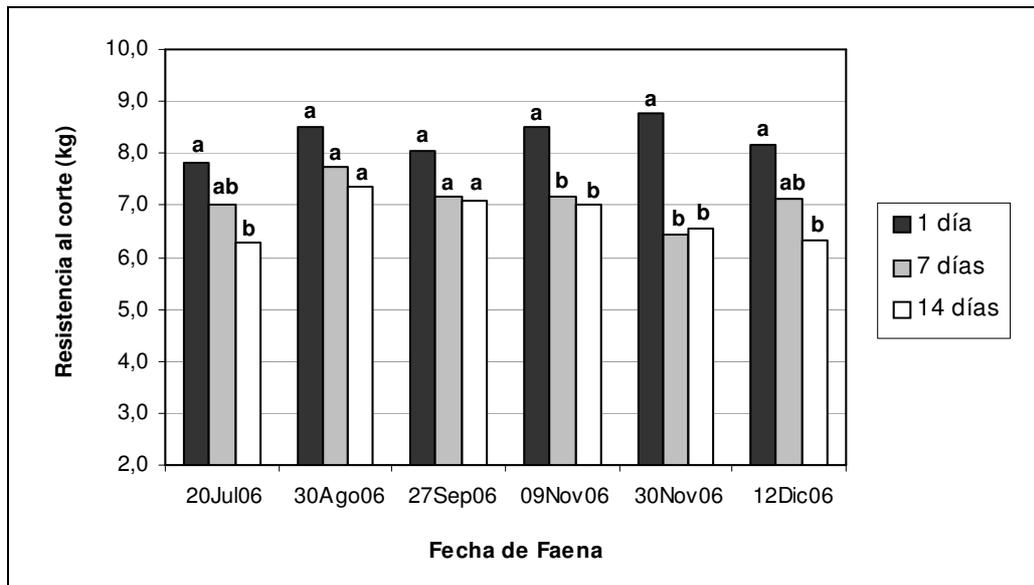
a b c: medias seguidas de letras diferentes dentro de cada parámetro difieren significativamente (p < 0,05);

Test F: \*; p < 0,05, \*\*; p < 0,01 y NS: no significativo. (1) No se realizaron comparaciones de medias para este efecto debido a la existencia de interacción F\*T (ver Cuadro 7)

**Cuadro 7.** Estimaciones de mínimos cuadrados  $\pm$  error estándar para la interacción entre fecha de faena y tratamiento de maduración sobre pHu, resistencia al corte, b\* y pérdidas por descongelación y cocción (n=559)

| Fecha de Faena | Tratamiento de maduración (días) | pHu                | Resistencia al corte (kg) | b*                  | Pérdidas por descongelación (%) | Pérdidas por cocción (%) |
|----------------|----------------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 20-Jul-06      | 1                                | 5,52 $\pm$ 0,02 b  | 7,80 $\pm$ 0,26 a         | 11,81 $\pm$ 0,26 b  | 7,44 $\pm$ 0,34 a               | 28,49 $\pm$ 0,48 a       |
|                | 7                                | 5,70 $\pm$ 0,02 a  | 7,00 $\pm$ 0,26 ab        | 12,51 $\pm$ 0,26 ab | 5,83 $\pm$ 0,34 b               | 26,82 $\pm$ 0,48 a       |
|                | 14                               | 5,54 $\pm$ 0,02 b  | 6,30 $\pm$ 0,26 b         | 13,32 $\pm$ 0,26 a  | 5,38 $\pm$ 0,34 b               | 28,19 $\pm$ 0,48 a       |
| 30-Ago-06      | 1                                | 5,55 $\pm$ 0,03 b  | 8,51 $\pm$ 0,28 a         | 11,68 $\pm$ 0,28 b  | 5,95 $\pm$ 0,36 a               | 31,49 $\pm$ 0,53 a       |
|                | 7                                | 5,75 $\pm$ 0,03 a  | 7,76 $\pm$ 0,28 a         | 12,67 $\pm$ 0,28 ab | 4,54 $\pm$ 0,36 a               | 28,22 $\pm$ 0,53 b       |
|                | 14                               | 5,64 $\pm$ 0,03 ab | 7,34 $\pm$ 0,28 a         | 13,34 $\pm$ 0,28 a  | 5,28 $\pm$ 0,37 a               | 31,55 $\pm$ 0,53 a       |
| 27-Sep-06      | 1                                | 5,42 $\pm$ 0,02 b  | 8,01 $\pm$ 0,21 a         | 12,65 $\pm$ 0,21 a  | 7,83 $\pm$ 0,28 a               | 27,79 $\pm$ 0,39 ab      |
|                | 7                                | 5,45 $\pm$ 0,02 ab | 7,18 $\pm$ 0,21 a         | 13,58 $\pm$ 0,21 a  | 7,16 $\pm$ 0,27 a               | 27,19 $\pm$ 0,38 b       |
|                | 14                               | 5,56 $\pm$ 0,02 a  | 7,11 $\pm$ 0,23 a         | 13,87 $\pm$ 0,23 a  | 6,22 $\pm$ 0,30 a               | 29,68 $\pm$ 0,43 a       |
| 09-Nov-06      | 1                                | 5,44 $\pm$ 0,02 a  | 8,49 $\pm$ 0,24 a         | 11,20 $\pm$ 0,25 b  | 6,46 $\pm$ 0,32 a               | 28,76 $\pm$ 0,46 a       |
|                | 7                                | 5,47 $\pm$ 0,02 a  | 7,17 $\pm$ 0,24 b         | 13,28 $\pm$ 0,24 a  | 6,53 $\pm$ 0,32 a               | 28,38 $\pm$ 0,46 a       |
|                | 14                               | 5,51 $\pm$ 0,03 a  | 7,03 $\pm$ 0,27 b         | 13,66 $\pm$ 0,27 a  | 5,25 $\pm$ 0,35 a               | 29,43 $\pm$ 0,51 a       |
| 30-Nov-06      | 1                                | 5,53 $\pm$ 0,03 a  | 8,76 $\pm$ 0,26 a         | 11,81 $\pm$ 0,26 b  | 6,78 $\pm$ 0,34 a               | 28,88 $\pm$ 0,49 a       |
|                | 7                                | 5,51 $\pm$ 0,03 a  | 6,44 $\pm$ 0,26 b         | 13,41 $\pm$ 0,26 a  | 6,11 $\pm$ 0,34 a               | 26,00 $\pm$ 0,48 b       |
|                | 14                               | 5,60 $\pm$ 0,03 a  | 6,55 $\pm$ 0,26 b         | 13,66 $\pm$ 0,26 a  | 5,73 $\pm$ 0,34 a               | 28,52 $\pm$ 0,48 a       |
| 12-Dic-06      | 1                                | 5,48 $\pm$ 0,03 a  | 8,15 $\pm$ 0,26 a         | 11,50 $\pm$ 0,27 b  | 7,24 $\pm$ 0,35 a               | 27,97 $\pm$ 0,50 a       |
|                | 7                                | 5,59 $\pm$ 0,03 a  | 7,12 $\pm$ 0,26 ab        | 13,57 $\pm$ 0,27 a  | 6,56 $\pm$ 0,35 a               | 30,32 $\pm$ 0,50 a       |
|                | 14                               | 5,56 $\pm$ 0,03 a  | 6,32 $\pm$ 0,26 b         | 13,67 $\pm$ 0,27 a  | 6,68 $\pm$ 0,35 a               | 29,78 $\pm$ 0,50 a       |

a, b: medias seguidas de letras diferentes dentro de cada parámetro difieren significativamente ( $p < 0,05$ );



**Figura 8.** Efecto de interacción entre fecha de faena y tratamiento de maduración sobre resistencia al corte. Letras diferentes dentro de cada fecha reflejan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

En líneas generales se observó una tendencia a la disminución de la resistencia al corte al prolongarse la duración de de la maduración, aunque la diferencia entre 7 y 14 días no resultó significativa en ninguna fecha (Figura 8).

También se observó que la disminución de la resistencia al corte de 1 a 7 días de maduración (8,8-26,5%) fue mayor que la de 7 a 14 días (1,0-11,2%).

En cuanto al sitio, los valores de resistencia al corte fueron disminuyendo en sentido craneal-caudal, difiriendo ( $p < 0,05$ ) entre los extremos A y C (Cuadro 6). Esto pudo tener relación con que se está más cerca de los cortes traseros que son, en general, más tiernos e, inversamente, mayor proporción de tejido conectivo hacia las primeras costillas.

La técnica de descongelación tuvo un efecto marcado sobre la resistencia al corte (Cuadro 6), pudiéndose observar un 16% de aumento al pasar de la técnica 1 a la técnica 2.

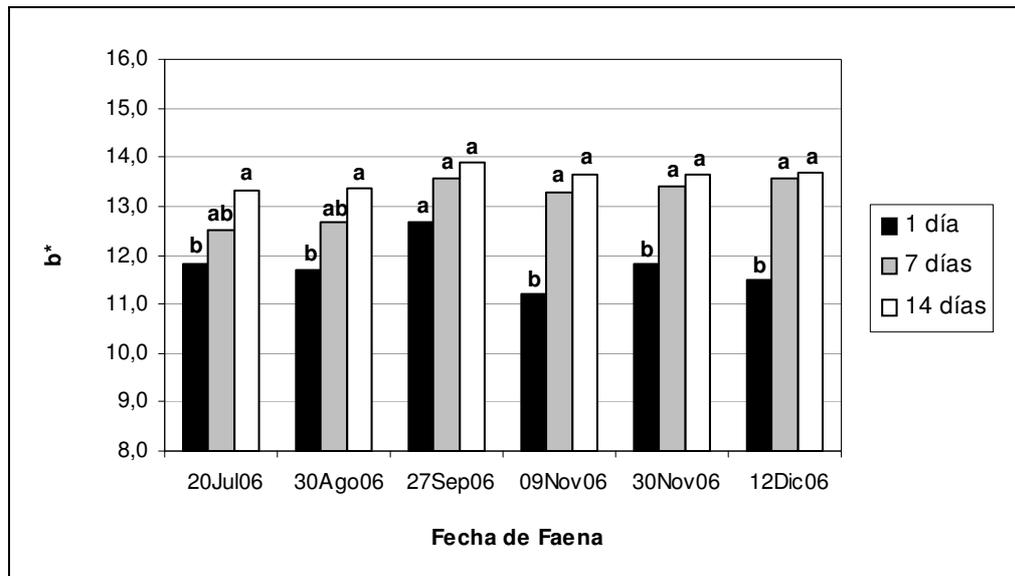
#### **4.2.1.3. Color**

Se detectó efecto de tratamiento de maduración y sitio sobre  $L^*$  (aunque para éste último las comparaciones de medias no pudieron detectar diferencias significativas), efecto de fecha de faena y tratamiento de maduración sobre  $a^*$ , y efecto de técnica de descongelación y de interacción entre fecha de faena y tratamiento de maduración sobre  $b^*$  (Cuadro 6).

Tanto en  $L^*$  como en  $a^*$  se detectaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tres tratamientos de maduración: los valores fueron mayores al incrementarse la duración de la maduración (Cuadro 6).

El efecto de la fecha de faena sobre la coordenada de color  $a^*$  se debió a la diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) del 27-Sep-06 ( $23,46 \pm 0,16$ ) con el 20-Jul-06 y 30-Ago-06 ( $22,33 \pm 0,21$  y  $22,57 \pm 0,21$ , respectivamente; Cuadro 6).

Los valores de  $b^*$  fueron aumentando a medida que se incrementó el tiempo de maduración. Se detectó diferencia estadística ( $p < 0,05$ ) entre 1 y 14 días de maduración en todas las fechas de faena, excepto en la correspondiente al mes de septiembre; en las últimas tres fechas la diferencia también se observó entre 1 y 7 días (Cuadro 7 y Figura 9). Entre 7 y 14 días no hubo diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) para ninguna fecha.



**Figura 9.** Efecto de interacción entre fecha de faena y tratamiento de maduración sobre  $b^*$ . Letras diferentes dentro de cada fecha reflejan diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

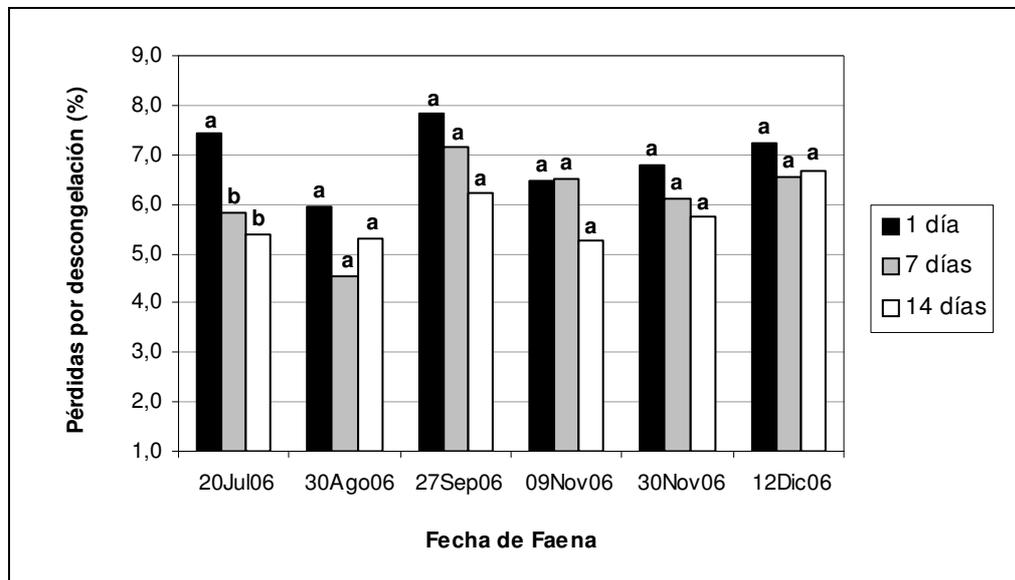
De la Figura 9 se pudo observar que el efecto de interacción en la coordenada  $b^*$  se originó por cambios en la magnitud de las diferencias de las medias y no por cambios en el ordenamiento de las mismas, por lo tanto, podrían considerarse los promedios de las 6 fechas para cada tratamiento de maduración ( $11,77 \pm 0,11$ ,  $13,17 \pm 0,11$  y  $13,59 \pm 0,16$  para 1, 7 y 14 días, respectivamente, Cuadro 6).

Se produjo un 3,8% de disminución en los valores de la coordenada  $b^*$  cuando se pasó de la técnica de descongelación 1 a la técnica 2 (Cuadro 6).

#### 4.2.1.4. Pérdidas por descongelación

Se observaron efectos de interacción entre fecha de faena y tratamiento de maduración ( $p = 0,0059$ ), de sitio ( $p < 0,0001$ ) y de técnica de descongelación ( $p < 0,0001$ ) sobre las pérdidas por descongelación (Cuadro 6).

Si bien la tendencia general fue a la disminución de las pérdidas al prolongarse la maduración, las comparaciones de medias dentro de fechas sólo detectaron una mayor pérdida en las muestras con 1 día de maduración con respecto a las muestras con 7 y 14 días en la primera fecha de faena (Cuadro 7 y Figura 11). En las restantes fechas no se detectaron diferencias entre tratamientos.



**Figura 10.** Efecto de interacción entre fecha de faena y tratamiento de maduración sobre las pérdidas por descongelación. Letras diferentes dentro de cada fecha reflejan diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

Hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tres sitios: las pérdidas por descongelación fueron aumentando desde la 11ª hacia la 13ª costilla (Cuadro 6).

El modo de descongelar las muestras tuvo efecto muy marcado sobre esta clase de pérdidas, provocando una disminución del 37,5% al cambiar de la técnica 1 a la técnica 2 (Cuadro 6).

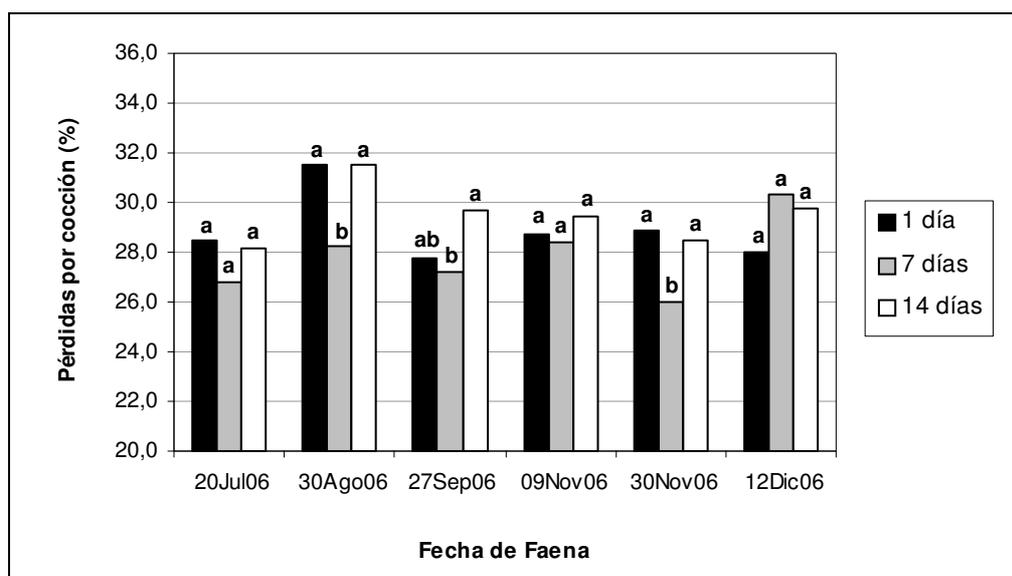
#### 4.2.1.5. Pérdidas por cocción

Las pérdidas por cocción estuvieron afectadas por el sitio ( $p= 0,0009$ ), el cambio de técnica ( $p< 0,0001$ ), el establecimiento ( $p< 0,0001$ ) y la interacción ( $p< 0,0001$ ) entre fecha de faena y tratamiento de maduración (Cuadro 6).

El tratamiento de 7 días de maduración presentó las menores pérdidas por cocción en todas las fechas de faena, excepto en la última fecha. Los tratamientos de 1 y 14 días no difirieron ( $p> 0,05$ ) en ninguna fecha de faena (Cuadro 7 y Figura 11).

Respecto al sitio, los % de pérdidas decrecieron hacia el cuarto trasero, siendo significativa la diferencia entre A y C ( $p< 0,05$ ).

Los porcentajes de pérdidas por cocción aumentaron un 7% cuando se cambió la técnica de descongelación 1 por la 2 (Cuadro 6).



**Figura 11.** Efecto de interacción entre fecha de faena y tratamiento de maduración sobre las pérdidas por cocción. Letras diferentes dentro de cada fecha reflejan diferencias significativas ( $p< 0,05$ )

Las muestras del establecimiento 2 produjeron las menores pérdidas por cocción, difiriendo significativamente ( $p < 0,05$ ) de las muestras del establecimiento del 3 y del 5 que produjeron las mayores.

#### 4.2.2. Determinación química

La fecha de faena tuvo efecto significativo ( $p = 0,0052$ ) sobre el contenido de extracto etéreo de las muestras de carne, pero las comparaciones de medias de a pares no lograron diferenciarlas. El establecimiento del cual provinieron los animales no afectó al contenido de grasa intramuscular de la carne ( $p > 0,05$ ; Cuadro 8). Esto último respaldaría el hecho de que los animales fueron faenados a un nivel de terminación uniforme. No se detectó efecto de padre sobre este parámetro.

**Cuadro 8.** Estimaciones de mínimos cuadrados  $\pm$  error estándar del extracto etéreo de la carne (n=187)

|                        | Extracto etéreo (%) |
|------------------------|---------------------|
| <b>Fecha de faena</b>  |                     |
| 20-Jul-06              | 2,57 $\pm$ 0,21 a   |
| 30-Ago-06              | 2,34 $\pm$ 0,21 a   |
| 27-Sep-06              | 2,18 $\pm$ 0,17 a   |
| 09-Nov-06              | 2,99 $\pm$ 0,21 a   |
| 30-Nov-06              | 2,44 $\pm$ 0,20 a   |
| 12-Dic-06              | 1,93 $\pm$ 0,19 a   |
| <b>Establecimiento</b> |                     |
| 1                      | 2,23 $\pm$ 0,39     |
| 2                      | 2,67 $\pm$ 0,28     |
| 3                      | 2,29 $\pm$ 0,22     |
| 4                      | 2,26 $\pm$ 0,17     |
| 5                      | 2,53 $\pm$ 0,26     |
| 6                      | 2,48 $\pm$ 0,23     |

a: medias seguidas de letras iguales indican diferencia no significativa ( $p > 0,05$ )

En el Cuadro V del apéndice se puede observar los valores de la prueba F correspondiente a la variable extracto etéreo.

### 4.3. Correlación parcial entre los atributos de calidad de carne

Las correlaciones entre los residuales de cada atributo de calidad de carne se muestran en el Cuadro 10. Se observa que la resistencia al corte estuvo alta y positivamente correlacionada con las pérdidas por cocción y el pH final de la muestras de carne ( $p < 0,0001$ ), y negativamente con las coordenadas de color ( $p < 0,0001$ ), mostrando la mayor asociación con la coordenada  $b^*$ .

La luminosidad se correlacionó significativamente con los demás atributos de calidad, existiendo los mayores coeficientes con las restantes coordenadas de color. La coordenada  $a^*$  arrojó una alta correlación positiva y significativa ( $p < 0,0001$ ) con  $b^*$  y negativa, pero de menor magnitud, con el pH final. Se detectó correlación negativa y significativa ( $p < 0,0001$ ) entre  $b^*$  y el pH final.

**Cuadro 9.** Coeficientes de correlación parcial entre los atributos de calidad de carne (n=559)

| Atributos de calidad        | 1 | 2        | 3         | 4         | 5         | 6                   | 7                   |
|-----------------------------|---|----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|
| 1. pHu                      | 1 | 0,22 *** | -0,16 **  | -0,27 *** | -0,26 *** | -0,09 *             | 0,13 **             |
| 2. Resistencia al corte     |   | 1        | -0,22 *** | -0,30 *** | -0,34 *** | 0,07 <sup>NS</sup>  | 0,32 ***            |
| 3. L*                       |   |          | 1         | 0,45 ***  | 0,45 ***  | 0,11 **             | 0,19 ***            |
| 4. a*                       |   |          |           | 1         | 0,92 ***  | -0,04 <sup>NS</sup> | 0,02 <sup>NS</sup>  |
| 5. b*                       |   |          |           |           | 1         | 0,05 <sup>NS</sup>  | -0,04 <sup>NS</sup> |
| 6. Pérd. por descongelación |   |          |           |           |           | 1                   | -0,06 <sup>NS</sup> |
| 7. Pérd. por cocción        |   |          |           |           |           |                     | 1                   |

\*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,01$ ; \*\*\*:  $p < 0,0001$ ; <sup>NS</sup>: correlación no significativa ( $p > 0,05$ )

No se detectó correlación significativa ( $p > 0,05$ ) entre ambas pérdidas, ni entre cada una de ellas y las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$ , pero fue significativa la correlación con el

pH final. En cambio, sólo las pérdidas por cocción se correlacionaron significativamente ( $p < 0,0001$ ) con la resistencia al corte.

El extracto etéreo de las muestras de carne no se correlacionó significativamente ( $p > 0,05$ ) con la resistencia al corte (Cuadro 11).

**Cuadro 10.** Coeficientes de correlación parcial entre el extracto etéreo y la resistencia al corte de la totalidad de muestras evaluadas<sup>1</sup> y según el tratamiento de maduración

|                                   | <b>Coeficiente de correlación parcial</b> |
|-----------------------------------|---|
| <b>Todas las muestras</b> (n=187) | -0,12 <sup>NS</sup>                       |
| <b>Muestras con:</b>              |   |
| 1 día de maduración (n=62)        | 0,10 <sup>NS</sup>                        |
| 7 días de maduración (n=61)       | -0,14 <sup>NS</sup>                       |
| 14 días de maduración (n=62)      | -0,20 <sup>NS</sup>                       |

<sup>1</sup>: independientemente del tratamiento de maduración  
<sup>NS</sup>: correlación no significativa ( $p > 0,05$ )

#### 4.4. Efecto de padre

Se detectó efecto de padre sobre los atributos de resistencia al corte y L\* (Cuadro 12).

Cabe mencionar que no todos los establecimientos tuvieron más de un padre, por lo que no fue posible en esos casos, separar el efecto propio del padre del establecimiento del cual provino.

Además, como no se pudo tener acceso a la información de paternidad de los animales del sexto establecimiento, a todos se les asignó el mismo padre “desconocido”.

**Cuadro 11.** Efecto de padre sobre los atributos de calidad de carne

| <b>Atributos de calidad</b>        | <b><math>\Lambda</math> <sup>(1)</sup></b> | <b>Valor p</b> | <b>Significancia</b> |
|------------------------------------|--|----------------|----------------------|
| <b>pHu</b>                         | 0  | 0,50           | NS                   |
| <b>Resistencia al corte</b>        | 3,2  | 0,04           | *                    |
| <b>L*</b>                          | 13,5                                       | 0,0001         | **                   |
| <b>a*</b>                          | 0  | 0,50           | NS                   |
| <b>b*</b>                          | 0,6  | 0,22           | NS                   |
| <b>Pérdidas por descongelación</b> | 1,5  | 0,11           | NS                   |
| <b>Pérdidas por cocción</b>        | 0  | 0,50           | NS                   |

<sup>(1)</sup>:  $\Lambda$ = estadístico del test de cociente de verosimilitud  
 \*: p< 0,05, \*\*: p< 0,01, NS: no significativo

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. Evolución del pH y la temperatura *post-mortem*

El pH muscular de los animales vivos varía aproximadamente entre 7,0 y 7,3. En el caso del músculo *Longissimus dorsi*, Garrido, Bañon y Alvarez (2005) determinaron que partiendo de un pH inicial de 7,08, se alcanzan valores de 5,5-5,7 a las 24-48 horas *post-mortem*.

La variación en el descenso de pH de la res puede estar influenciada por la alimentación que tuvo el animal durante su periodo de engorde. Una alimentación deficiente altera las reservas de glucógeno y por consiguiente las cantidades de ácido láctico *post-mortem*, lo que provoca que el pH descienda poco (Geay *et al.*, 2001). Por ejemplo, Immonem *et al.* (2000) encontraron diferencias significativas en los valores de pH a las 48 horas *post-mortem* de dos dietas contrastantes en energía, obteniendo valores de  $5,69 \pm 0,03$  para la dieta con alto contenido energético y  $5,93 \pm 0,03$  para la de bajo contenido energético.

Además, el tipo de alimentación determina en parte la conformación de la res; buenas conformaciones y elevados pesos de la res están asociados con una velocidad de enfriamiento más lentos y descenso de pH más rápidos. La combinación del descenso de pH y temperatura del músculo influirán en el acortamiento y la proteólisis muscular y en consecuencia en la terneza y la capacidad de retención de agua de la carne.

Para ninguna de las fechas de faena se obtuvo el descenso de pH *post-mortem* esperado, desde alrededor de 7,0 hasta 5,5-5,7 a las 24 horas *post-mortem*. El valor de pH<sub>24</sub> fue mayor, oscilando entre 5,9 y 6,2, aunque los valores obtenidos en el laboratorio sobre las muestras (pHu) fueron normales. Si bien esto puede deberse a

que los puntos de medición a distintos horarios fueron diferentes, no puede descartarse la posible existencia de errores de medición intrínsecos del equipo utilizado en el frigorífico.

En cambio, el descenso promedio de temperatura *post-mortem* fue el esperado. Resultados similares encontraron Shackelford *et al.* (1991) en vaquillonas cruce 5/8 Brahman x Angus-Hereford, y Wheeler *et al.* (1990b) en novillos de raza Brahman. Pearson and Young (1989, citado por Thompson, 2002) consideran que para que ocurra acortamiento por frío el pH del músculo debe ser mayor a 6 y la temperatura menor a 10 °C bajo condiciones de pre-rigor. Otros autores consideran que para que ocurra el acortamiento, la temperatura debe ser ligeramente superior, alcanzando valores de 11 °C (y pH > 6,2; White *et al.*, 2006), o 12-15 °C (Hawng, Devine and Hopkins, 2003). En el presente trabajo no se pudo evaluar la presencia/ausencia de este fenómeno por la posibilidad de error en las mediciones de pH.

Es probable que el descenso de la temperatura, en las distintas fechas de faena, haya estado afectado por la temperatura de las cámaras cuyo control, por otra parte, estuvo fuera de las posibilidades. Además, se observaron factores como número de medias reses almacenadas e ingresos y salidas de otras medias reses, que pudieron afectar la homogeneidad de la temperatura dentro de la cámara.

## **5.2. Determinaciones de calidad de carne**

### **5.2.1 Determinaciones físicas**

Los pHu obtenidos con los distintos tratamientos de maduración oscilaron dentro del rango de 5,5 a 5,7, el cual es usualmente considerado como normal en la carne vacuna (Lawrie, 1998; Varnam and Sutherland, 1998; Foegeding *et al.*, 2000). En ningún caso el valor de pHu superó los 6,0 puntos, valor a partir del cual se considera

que puede aparecer carne DFD originando alteraciones en atributos de calidad, como el color, la dureza y la capacidad de retención de agua (Miller, 2002).

Algunos autores han encontrado que el pH de la carne no varía con la maduración, una vez transcurridas las primeras 24 horas *post-mortem*. Ruiz de Huidobro *et al.* (2003) no encontraron diferencias significativas en el pH de toros y vaquillonas entre las 24 horas y los 6 días de maduración. En un trabajo realizado por Spanier *et al.* (1997) el pH disminuyó de un valor inicial de 6,5 a un valor de 5,4 a los 2 días de maduración y por los siguientes 14 días de almacenamiento refrigerado permaneció estable. Oliete *et al.* (2006) evaluaron la calidad de la carne de terneros de raza Rubia Gallega y en cuanto al pH no encontraron diferencias significativas entre 1, 7, 14 y 21 días de maduración al vacío (rango de valores entre 5,51 y 5,53).

En nuestro trabajo, las diferencias observadas en los valores de pHu de los tratamientos de maduración para las primeras tres faenas ( $p < 0,05$ ), se debieron a cambios de magnitud de las medias, principalmente en las muestras que tuvieron 7 días de maduración. No está clara la razón por la cual ocurrió dicho cambio.

Los cambios estructurales ocurridos en el músculo durante el almacenamiento de la res a temperaturas de refrigeración, debido a la acción de las proteasas endógenas, provocan la tiernización de la carne (Locker, 1989; Koohmaraie, 1992; Shakelford *et al.*, 1994; Taylor *et al.*, 1995; Lawrie, 1998) y existe un tiempo de almacenamiento óptimo para cada especie, siendo de aproximadamente 10-14 días para bovinos (Koohmaraie, 1996). En este trabajo se observó que los valores de resistencia al corte fueron disminuyendo a medida que aumentaba la duración de la maduración, es decir que la terneza de la carne fue aumentando. Esto concuerda con lo encontrado por Villarreal *et al.* (2006) en novillos Brangus, donde los valores de resistencia al corte

fueron disminuyendo hasta los 14 días *post-mortem* (6,8 kg, 6,2 kg y 5,6 kg para 1, 7 y 14 días respectivamente). Bidner *et al.* (2002) encontraron menores valores de WB a los 10 días de maduración que a los 3 días, en novillos de diferentes razas (Angus, Brangus, Beefmaster, Gelbray y Simbrah). Bruce, Stark and Beilken (2004) detectaron en novillos Brahman que los valores de WB disminuyeron entre 1 y 14 días de maduración (4,73 kg y 3,51 kg, respectivamente). Riley *et al.* (2005) encontraron, en animales Brahman puros, que los valores de WB fueron disminuyendo a medida que se incrementó el tiempo de maduración (5,62 kg, 5,00 kg y 4,56 kg para 7, 14 y 21 días, respectivamente).

La diferencia en los valores de resistencia al corte observados entre 1 y 7 días de maduración fue mayor a la observada entre 7 y 14 días. Esto está respaldado por estudios previos sobre la actividad de las enzimas proteolíticas, en los que se ha detectado que la mayor parte de la tiernización ocurre en los primeros días. Según Goll *et al.*, 1992 (citado por Boehm *et al.*, 1998), el 90% o más de la tiernización causada por la proteólisis *post-mortem*, que ocurre durante los primeros 7 a 10 días de almacenamiento a 2-4 °C, puede atribuirse a la acción de las calpaínas.

Con la prolongación del almacenaje, la actividad de la  $\mu$ -calpaína y la calpastatina disminuye, mientras que la actividad de la m-calpaína permanece sin cambios o con pequeñas disminuciones en su actividad durante el mismo período (Zamora *et al.*, 1996; Boehm *et al.*, 1998; Zamora, Chaib and Dransfield, 1998; Geesink and Koohmaraie, 1999)

A su vez, durante el proceso *post-mortem* hay condicionantes de la terneza tales como el pH y temperatura final de la carne y la velocidad con que éstos son alcanzados, que afectan la actividad de dichas enzimas (Warriss, 2000).

En el presente trabajo se detectaron diferentes curvas de descenso de pH y temperatura en las distintas fechas, lo cual pudo afectar la actividad de las enzimas proteolíticas (calpaínas y calpastatina) y por ende a las diferencias en terneza observadas entre tratamientos.

Los valores de resistencia al corte podrían ubicarse en una categoría de terneza intermedia, 6 a 9 kg, según la clasificación propuesta por Shackelford, Wheeler and Koohmaraie (1997). Algunos autores han encontrado resultados similares de resistencia al corte, utilizando el mismo método de medición. Silva, Patarata y Martins (1999) obtuvieron valores de fuerza de corte por WB entre 15 y 9 kg en toros de raza Maronesa entre 8 y 11 meses de edad, y French et al (2001) entre 8 y 6 kg en el músculo *Longissimus dorsi* de terneros cruza Limousin con Charolais.

Una de las posibles razones de los elevados valores de resistencia al corte obtenidos en el presente ensayo sería el escaso engrasamiento de las reses, a juzgar por el bajo valor de EGD promedio medido en el bife. La diferencia observada entre éste último y el EGD medido por ecografía es atribuible a la pérdida de grasa subcutánea originada en el cuereado del animal durante la faena. Esta reducción en la grasa de cobertura, pudo aumentar la rapidez del enfriamiento de la res, con el consecuente acortamiento de los sarcómeros. Bowling *et al.* (1978) encontraron para valores de EGD de entre 3 y 5 mm, valores de fuerza de corte de 9 a 6 kg, aproximadamente, en terneros raza Santa Gertrudis.

Otra razón podría tener relación con el cambio de técnica de descongelación, que tuvo un efecto muy marcado ( $p < 0,01$ ) sobre las pérdidas por descongelación y cocción, lo que pudo provocar disminución en la jugosidad de la carne e incremento en la fuerza de corte necesaria para cortar la muestra. Moody, Bedau and Langlois (1978,

citado por Wheeler, Shakelford and Koohmaraie, 1996b) reportaron que las muestras descongeladas a temperatura ambiente por toda la noche presentaron menor fuerza de corte que las descongeladas en heladera 48 horas a 3°C. En el presente trabajo, el cambio de descongelación a temperatura ambiente a descongelación en heladera provocó un 16 % de aumento en la resistencia al corte.

Además el método de cocción utilizado produce mayores pérdidas por cocción, y por consiguiente menor jugosidad de la carne, en comparación con otros métodos (Obuz *et al.*, 2004) debido a la menor velocidad de transferencia de calor y mayor tiempo de cocción para llegar a la misma temperatura interna (Lawrie, 1998). Obuz *et al.* (2003) encontraron mayores valores de fuerza de corte, por WB, del tejido miofibrilar y del tejido conectivo de muestras cocinadas por baño de agua termostaticado que en muestras cocinadas en horno de cintas transportadoras eléctrico. Ellos atribuyen la mayor dureza miofibrilar al hecho de que las muestras cocinadas en baño de agua estuvieron sujetas a tiempos más largos de cocción, y la mayor dureza del tejido conectivo a la mayor contracción de las moléculas de colágeno y las mayores pérdidas por cocción producidas por éste método.

Algunos autores han encontrado una relación curvilínea entre la terneza de la carne cocida y el pHu (Purchas, 1990; Purchas and Aungsupakorn, 1993), tal que, a medida que el pHu se incrementa de 5,5 a 6,0 la terneza disminuye, y que a valores por encima de 6,0 se revierte el efecto (Watanabe *et al.*, 1996) pero facilitan la putrefacción de la carne. Watanabe *et al.* (1996) determinaron en ovinos que el efecto del pHu es más marcado en los primeros días *post-mortem* (1 y 3 días *post-mortem*), ya que a tiempos mayores de maduración, la terneza se vuelve similar en todos los valores de pHu. En cambio, Silva *et al.* (1999) encontraron una relación lineal entre la

terneza sensorial y por WB y el pHu, siendo la carne más tierna a medida que se incrementa el pHu.

En este trabajo fue significativa la correlación residual (0,22) entre la resistencia al corte y el pHu. En general, en la bibliografía es más frecuente encontrar valores de correlaciones simples y no tanto entre residuales. Autores como French et al. (2001) obtuvieron un coeficiente de correlación simple de 0,45 y Wulf et al. (1997) encontraron correlación significativa tanto simple como residual, con coeficientes de 0,34 y 0,30, respectivamente. En cambio, Whipple et al. (1990) no detectaron correlación simple ni residual significativa entre el pH y la terneza de la carne.

La maduración de la carne también tuvo efecto sobre el color, mejorándolo. Oliete et al. (2006) no detectaron efecto de la duración de la maduración (1, 7, 14 y 21 días), en muestras de carne envasadas al vacío, sobre sobre L\* pero sí sobre las coordenadas a\*, b\*, h<sub>ab</sub> y C\*: los valores se incrementaron con el paso de los días, pero las diferencias fueron significativas ( $p < 0,01$ ) sólo al comparar 7, 14 y 21 días respecto de 1 día de maduración. Resultados similares fueron encontrados por Mitchell et al. (1991) en los músculo *Longissimus dorsi* y *Semimembranosus* para la coordenada a\* a los 3, 10 y 21 días de maduración y para la coordenada L\*. Feldhusen et al. (1995) arribaron a la conclusión de que las medidas físicas del color aumentan durante los primeros 5 días de conservación al vacío y a que a tiempos más elevados dichas medidas casi no se ven afectadas. Estos resultados fueron confirmados por Insausti et al. (1999).

Sin embargo en el presente trabajo, la maduración afectó mayormente a la coordenada L\* y a la coordenada a\*, y no tanto a b\*. Una posible causa por la cual se encontró diferencias significativas en L\* para todos los tiempos de maduración pudo

ser consecuencia de la desnaturalización de las proteínas miofibrilares y reacomodamiento de las moléculas de agua, que permitió que la luz difunda en mayor cantidad (Young *et al.*, 1999), y las diferencias significativas en  $a^*$  se pudieron deber a la pérdida de actividad respiratoria de las mitocondrias durante la maduración, que hace que haya más oxígeno disponible en la superficie del músculo y por tanto pueda ser utilizado para formar  $MbO_2$ . (Lee *et al.*, 2008).

Las tres coordenadas de color estuvieron interrelacionadas, detectándose la mayor relación entre  $a^*$  y  $b^*$  ( $r_{L^*,a^*} = 0,45$ ,  $r_{L^*,b^*} = 0,45$  y  $r_{a^*,b^*} = 0,92$ ). Concuerdan con estos valores los resultados encontrados por Page, Wulf and Schwotzer (2001), con  $r_{a^*,b^*} = 0,95$ , y por Wulf *et al.* (1997) con un coeficiente de 0,88. Se encontraron también correlaciones residuales negativas y significativas entre las tres coordenadas de color y el pH, aunque de magnitudes menores a las encontradas en la bibliografía. La correlación negativa entre las coordenadas colorimétricas y el pH se basa en la reflectancia de la luz y en la oxigenación de la Mb. A pH elevados las proteínas poseen mayor capacidad de unirse fuertemente al agua, dejando menor cantidad de agua libre, y a su vez menor espacio entre las fibras musculares; como consecuencia presentan color más oscuro. Además, a pH elevados, las enzimas que utilizan el oxígeno se encuentran más activas, resultando en una menor oxigenación de la Mb superficial y un color más oscuro (Page *et al.*, 2001). Músculos con pH bajos producen carne más blanca que negra ( $L^*$  más elevado), más roja que verde ( $a^*$  más elevado) y más amarilla que azul ( $b^*$  más elevado), y suelen asociarse con valores más bajos de fuerza de corte y mejores calificaciones en los análisis sensoriales (Wulf *et al.*, 1997).

La resistencia al corte se correlacionó negativa y significativamente ( $p < 0,01$ ) con las tres coordenadas de color, arrojando con  $b^*$  el mayor coeficiente (-0,34). Esto

concuera con lo encontrado por Wulf *et al.* (1997), que, a su vez, indica que dicha correlación también se produce con la terneza medida sensorialmente.

Durante el transcurso de la maduración se produce una pérdida de integridad de la estructura muscular causada por la degradación de proteínas miofibrilares y del citoesqueleto (Hamm, 1975; Taylor *et al.*, 1995; Huff-Lonergan and Lonergan, 2005), provocando un cambio en las interacciones ion-proteína. Como consecuencia el espacio capilar, accesible por el agua, se vuelve más grande (Kolczak, Krzysztoforski and Palka, 2007). Estos cambios influyen la capacidad de retención de agua de la carne que, generalmente, incrementa durante la maduración (Hamm, 1975).

En el presente estudio, no se detectaron diferencias significativas entre tratamientos de maduración para las pérdidas por descongelación, aunque para la mayoría de las fechas de faena se observó una disminución de éstas pérdidas con el incremento del tiempo de maduración, es decir, un incremento de la capacidad de retención de agua. Los resultados estuvieron muy influenciados por el cambio de descongelación. Las muestras de las primeras cuatro fechas de faena que tuvieron 1 y 7 días de maduración, fueron descongeladas a temperatura ambiente, provocando mayor diferencia en sus medias entre fechas debido a la variabilidad que presentó la temperatura dentro del laboratorio donde se realizó la descongelación.

Durante la cocción de la carne, parte del agua se desplaza de espacios intracelulares a extracelulares y es expulsada por la presión ejercida por el encogimiento del tejido conectivo y las fibras musculares, que a su vez es dependiente de la temperatura, siendo mayor a medida que se incrementa la temperatura de cocción (Palka and Daun, 1999; Tornberg, 2005). Palka and Daun (1999) determinaron mayores incrementos en las pérdidas por cocción en rangos de temperatura de

cocción de 50°C a 60°C y de 60°C a 70°C, encontrando un 10,3% y 9,7% de aumento al incrementar 10°C la temperatura de cocción, respectivamente. De aquí la importancia del método de cocción utilizado que, como se mencionó anteriormente, puede afectar a las pérdidas por cocción.

Resultados similares, utilizando el mismo método de cocción, fueron encontrados por Villarreal *et al.* (2006) para la misma raza con la que se trabajó en el presente, y por Oliete *et al.* (2006) en terneros de raza Rubia Gallega. En cambio, Wheeler *et al.* (1990a) determinaron que las pérdidas por cocción disminuyeron significativamente ( $p < 0,05$ ) cuando se incrementó el tiempo de maduración de 7 a 14 días, atribuyendo esta diferencia a que durante el almacenamiento al vacío hay cierta pérdida de fluidos que no van a estar disponibles para la evaporación durante la cocción, provocando menores pérdidas por cocción.

Resultados diversos son encontrados en la bibliografía respecto a la variabilidad en la terneza, y en otros atributos de calidad, dentro de un mismo músculo. Esto puede tener relación con las diferencias que se pueden encontrar a lo largo del músculo en cuanto a: velocidad de enfriamiento, tipo de fibras, ángulo de las fibras y contenido de tejido conectivo; como también el número de muestras analizadas dentro de cada zona del mismo. Wheeler *et al.* (1996b) y O'Neill, Troy and Mullen (2004) no hallaron, dentro del músculo *Longissimus thoracis et lumborum*, efecto de la localización de las mediciones sobre la terneza o sobre ambas pérdidas. En cambio, Janz *et al.* (2006) encontraron la mayor resistencia al corte en la zona central (de vértebra lumbar (L)1 y torácica (T) 13 a T10), intermedia en la lumbar (de L5 a L2) y la menor resistencia al corte en la zona torácica (de T9 a T5); pero al evaluar dentro de cada zona no observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las vértebras T13 y T10. Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican un efecto significativo del sitio

sobre la resistencia al corte y sobre las pérdidas por descongelación y cocción, a pesar de que la diferencia entre los sitios extremos fue bastante baja (0,39 kg, 1,09% y 0,84%, respectivamente). Dicho efecto no fue un resultado esperado, ya que el sitio se consideró como parámetro sobre el cuál se aleatorizaron los tratamientos de maduración. Se desconoce la razón por la cual se encontró diferencia estadística, se cree que pudo tener relación con el elevado número de muestras analizadas dentro de cada sitio, lo que permitió obtener un error estándar bajo. Se pudo suponer, además, que no tuvo relación con el contenido de grasa intramuscular debido a que no se encontraron efectos de sitio sobre el contenido de extracto etéreo (datos no mostrados).

La fecha de faena afectó los atributos físicos de la calidad de la carne, lo cual era de esperarse porque el criterio fecha involucró al conjunto de las condiciones pre y post-faena que no estuvieron bajo nuestro control (por ser un establecimiento comercial) y que se fueron observando durante el transcurso de las diferentes faenas. Entre dichas condiciones se puede mencionar el transporte y tiempo de descanso de los animales previo a la matanza, la temperatura ambiental del frigorífico, forma de cuereado de los animales y las condiciones de temperatura/humedad de las cámaras de oreo y almacenamiento de las reses.

### **5.2.2 Determinación química**

Los resultados obtenidos de extracto etéreo, como medida de la grasa intramuscular, concuerdan con los encontrados en la bibliografía del país para animales engordados en sistemas pastoriles (Latimori *et al.*, 2003, 2005; Villarreal *et al.*, 2005b; Chicatún *et al.*, 2006).

Algunos autores revelan que el contenido de grasa intramuscular en los animales de razas índicas y sus cruzas es menor al de los animales de razas británicas (Huffman *et al.*, 1990; Marshall, 1994; Shackelford *et al.*, 1994; Wheeler, Cundiff and Koch, 1994; Pringle *et al.*, 1997), lo que podría afectar a la palatabilidad de la carne. En cambio, Smith *et al.* (2007) no detectaron asociación genética entre el contenido de grasa intramuscular y la resistencia al corte de muestras maduradas durante 7 y 14 días; y Geay *et al.* (2001) indicaron que la grasa intramuscular juega un rol favorable sobre la terneza cuando su contenido excede el 6 %. En el presente trabajo, el contenido de grasa intramuscular no afectó la resistencia al corte de las muestras.

### **5.3. Efecto de padre**

La importancia del padre en el modelo de análisis de los datos encontrada para resistencia al corte y para L\* permitió considerar posible la existencia de un efecto genético aditivo sobre dichos atributos de calidad.

Estimaciones de heredabilidad moderadas detectadas en estudios de razas *B. taurus*, *B. indicus* y sus cruzas (Wheeler *et al.*, 1996a; O'Connor *et al.*, 1997; Elzo *et al.*, 1998; Smith *et al.*, 2007) han sugerido que la terneza puede ser incorporada en programas de selección, mientras que otros autores no están de acuerdo, basados en las bajas estimaciones de heredabilidad encontradas en sus investigaciones (Van Vleck *et al.*, 1992; Barkhouse *et al.*, 1996; Wulf *et al.*, 1996). Las discrepancias pudieron deberse a la utilización de diferentes razas, o proporción de las mismas, y a los tratamientos *post-mortem* utilizados, ya que se han encontrado diferencias en estimaciones de heredabilidad de reses de animales estimulados eléctricamente (Johnston *et al.*, 2001, citado por Riley *et al.*, 2003) o sometidas a distintos tiempos de maduración (O'Connor *et al.*, 1997).

En general, se podría considerar una mejora en la terneza mediante selección, aunque es conocido que este procedimiento es lento.

Algunos autores indican que los valores de  $L^*$  se incrementan a medida que se incrementa el contenido de grasa intramuscular (Wulf and Wise, 1999; Page *et al.*, 2001), debido a que los valores de dicha coordenada de color se basan en un espectro que va de negro a blanco y ya que la grasa intramuscular es blanca, puede producir cambios en la lectura del valor. En el presente trabajo, el padre produjo diferencias en  $L^*$ , pero no pudieron ser atribuidas a diferencias en contenidos de grasa intramuscular. En realidad, no queda claro el efecto fenotípico de padre sobre  $L^*$ , por lo que debería ser importante realizar futuras investigaciones.

En Argentina la calidad de la carne bovina no es regular. Esto se debe, entre otras cosas, a problemas de stress en el manejo de carga y transporte de los animales, hasta falta de maduración o mal manejo en el frigorífico, provocando que una buena materia prima se termine transformando en un producto de calidad irregular. Por tanto, las prácticas de manejo en el campo, como en el transporte y la faena, son tanto o más importantes que la genética del animal, como determinantes de la terneza de la carne. Además, la mayor parte de la producción se vende como media res en vez de cortes, con lo que se pierde la oportunidad de otorgar valor agregado al producto.

El uso de razas compuestas en el norte de nuestro país permitió ampliar el horizonte productivo. Pero el uso de este recurso debe ser acompañado por el desarrollo y aplicación de tecnologías que permitan mejorar la calidad de su carne, asegurando su aceptabilidad tanto en el mercado interno como externo.

Este trabajo permitió tener un panorama de la duración de la maduración necesaria para que animales con determinado nivel de sangre índica, alimentados con pasturas, puedan ser considerados de calidad similar a la de animales de raza A. Angus.

## 6. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en el presente, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

La maduración a temperaturas de refrigeración mejora la ternera, el color y la capacidad de retención de agua de la carne de novillos Brangus, siendo de 14 días la duración más favorable de almacenamiento.

El efecto fenotípico de padre sobre la ternera sugiere que la misma puede ser mejorada a través de un proceso de selección genética dentro de la raza Brangus.

El efecto fenotípico de padre sobre  $L^*$  podría estar indicando un posible efecto genético. Sería adecuado realizar nuevas investigaciones para tratar de comprobarlo.

En este trabajo de investigación a nivel experimental fue difícil controlar la cantidad de factores externos que puedan estar modificando los resultados finales de la calidad de la carne. Por lo tanto se estima que a nivel comercial es más crítico mantener la homogeneidad de las condiciones.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- AASLYNG, M.D. 2002. Quality indicators for raw meat. In: Kerry, J.; Kerry, J. and Ledward, D. eds. Meat Processing. Woodhead Publishing Limited, England. pp. 157-174
- ALBERTÍ, P.; PANEA, B.; RIPIO, G.; SAÑUDO, C.; OLLETA, J.L.; HEGUERUELA, I.; CAMPO, M.M. y SERRA, X. 2005. Medición del color. En: Cañeque, V. y Sañudo, C. eds. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, España. pp. 216-225
- AMSA. 1991. Guidelines for meat color evaluation. American Meat Science Association. Savoy, IL. s.p.
- ANÓNIMO. 1995. Instrument geometries and color measurements. Part II: diffuse/8°. Insight on Color. Applications note, 6 (8): 1-3. <[www.hunterlab.com/appnotes/an06\\_95r2.pdf](http://www.hunterlab.com/appnotes/an06_95r2.pdf)> [consulta: enero de 2008]
- ANÓNIMO. 2001. Hunter L, a, b versus CIE 1976 L\*a\*b\*. Insight on Color. Applications note, 13 (2): 1-4. <[www.hunterlab.com/appnotes/an02\\_01.pdf](http://www.hunterlab.com/appnotes/an02_01.pdf)> [consulta: enero de 2008]
- AOAC. 1990. Official methods of analysis of the association of analytical chemists 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Inc. Arlington, Virginia. s.p.
- BARBUT, S. 2001. Effect of illumination source on the appearance of fresh meat cuts. Meat Sci. 59: 187-191
- BARKHOUSE, K.L.; VAN VLECK, L.D.; CUNDIFF, L.V.; KOOHMARAIE, M.; LUNSTRA, D.D. and CROUSE, J.D. 1996. Prediction of breeding values for tenderness of market animals from measurements on bulls. J. Anim. Sci. 74: 2612-2621
- BELITZ, H.D. y GROSCH, W. 1997. Química de los alimentos. 2ª ed. Acribia Zaragoza, España. 1087 p.
- BIDNER, T.D.; WYATT, W.E.; HUMES, P.E.; FRANKE, D.E. and BLOUIN, D.C. 2002. Influence of Brahman-derivative breeds and Angus on carcass traits, physical composition, and palatability. J. Anim. Sci. 80: 2126-2133
- BOEHM, M.L.; KENDALL, T.L.; THOMPSON, V.F. and GOLL D.E. 1998. Changes in the calpains and calpastatin during postmortem storage of bovine muscle. J. Anim. Sci. 76: 2415-2434
- BOLEMAN, S.J.; BOLEMAN, S.L.; MILLER, R.K.; TAYLOR, J.F.; CROSS, H.R.; WHEELER, T.L.; KOOHMARAIE, M.; SHACKELFORD, S.D.; MILLAR, M.F.; WEST, R.L.; JONSON, D.D., and SAVELL, J.W. 1997. Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. J. Anim. Sci. 75: 1521-1524

- BOWLING, R.A.; SMITH, G.C.; CARPENTER, Z.L.; DUTSON, T.R. and OLIVER, W.M. 1977. Comparison of forage-finished and grain-finished beef carcasses. *J. Anim. Sci.* 45: 209-215
- BOWLING, R.A.; RIGGS, J.K.; SMITH, G.C.; CARPENTER, Z.L.; REDDISH, R.L. and BUTLER, O.D. 1978. Carcass and palatability characteristics of steers produced by different management systems production. *J. Anim. Sci.* 46: 333-340
- BRUCE, H.L.; STARK, J.L. and BEILKEN, S.L. 2004. The effects of finishing diet and *post-mortem* ageing on the eating quality of the M. *Longissimus thoracis* of electrically stimulated Brahman steer carcasses. *Meat Sci.* 67: 261-268
- BURROW, H.M.; MOORE, S.S.; JOHNSTON, D.J.; BARENDSE, W. and BINDON, B.M. 2001. Quantitative and molecular genetic influences on properties of beef: a review. *Aust. J. Exp. Agr.* 41: 893-919
- CHACÓN, A. 2004. La suavidad de la carne: implicaciones físicas y bioquímicas asociadas al manejo y proceso agroindustrial. *Agronomía Mesoamericana* 15 (2): 225-243
- CHICATÚN, A.; SANTINI, F.J.; DEPETRIS, G.J.; FAVERIN, C. y VILLARREAL, E.L. 2006. Calidad de la carne de novillos producidos bajo distintas estrategias de suplementación. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 26 (1): 409-410
- CIE (Commission International de l'Éclairage) 1986. *Colorimetry*, 2<sup>nd</sup> ed. Vienna. s.p.
- COMITÉ ESPAÑOL DE COLOR, SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ÓPTICA 2002. Vocabulario del color. <[www.ua.es/area/vision\\_color/docs/vocabulariocolo](http://www.ua.es/area/vision_color/docs/vocabulariocolo)> [consulta: septiembre 2006]
- CROUSE, J.D.; CROSS, H.R. and SEIDEMAN, S.C. 1984. Effects of a grass or grain diet on the quality of three beef muscles. *J. Anim. Sci.* 58: 619-625
- CROUSE, J.D.; CUNDIFF, L.V.; KOCH, R.M.; KOOHMARAIE, M. and SEIDEMAN, S.C. 1989. Comparisons of *Bos taurus* and *Bos indicus* inheritance for carcass beef characteristics and meat palatability. *J. Anim. Sci.* 67: 2661-2668
- DAUDIN, J.D. 1991. La congelación. En: Girard, J.P. ed. *Tecnología de la carne y de los productos cárnicos*. Acribia. Zaragoza, España. pp. 5-33
- DEPETRIS, G.J.; SANTINI, F.J.; PAVAN, E.; VILLARREAL, E.L.; REARTE, D.H.; PENSEL, N.A. y CARDUZA, F.J. 2003. Utilización del grano de maíz con alto contenido de aceite en el sistema de engorde a corral. 2. Características organolépticas de la carne. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 23 (1): 59-60
- DEPETRIS, G.; SANTINI, F.; PAVAN, E.; VILLARREAL, E.L.; GRIGIONI, G.; IRURUETA, M. y CARDUZA, F. 2005. Efecto del tipo de pastura y tiempo de suplementación previo a la faena sobre el comportamiento productivo y sobre los atributos de calidad de carne. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 25 (1): 38-39
- ELZO, M.A.; WEST, R.L.; JOHNSON, D.D. and WAKEMAN, D.L. 1998. Genetic variation and prediction of additive and nonadditive genetic effects for six carcass traits in an Angus-Brahman multibreed herd. *J. Anim. Sci.* 76:1810-1823

- FAROUK, M.M. and LOVATT, S.J. 2000. Initial chilling rate of pre-rigor beef muscles as an indicator of colour of thawed meat. *Meat Sci.* 56: 139-144
- FEED, O.; FRANCO, J.; GIMENO, D.; MONTEIRO, M. y PELUFFO, M. 2002. Terneza de la carne en novillos y vaquillonas provenientes de cruzamientos. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 22 (1): 417-418
- FELDHUSEN, F.; WARNATZ, A.; ERDMANN, R. and WENZEL, S. 1995. Influence of storage time on parameters of colour stability of beef. *Meat Sci.* 40: 235-243
- FENNEMA, O.R. 2000. Agua y hielo. En: Fennema, O.R. ed. *Química de los alimentos*. 2ª ed. Acribia. Zaragoza, España. pp. 19-109
- FOEGEDING, E.A.; LANIER, T.C. and HULTIN, H.O. 2000. Características de los tejidos musculares comestibles. En: Fennema, O.R. ed. *Química de los Alimentos*. 2ª ed. Acribia. Zaragoza, España. pp. 1040-1111
- FORREST, J.C.; ABERLE, E.D.; HEDRICH, H.D.; HUDGE, M.D. y MERKEL, R.A. 1979. *Fundamentos de ciencia de la carne*. Acribia. Zaragoza, España. 364 p.
- FRANCO, J.; FEED, O.; GARIBOTTO, G.; BALLESTEROS, F.; FORICHI, E.; BENTANCUR, O. y BIANCHI, G. 2006. Efecto de la maduración sobre la terneza de la carne de vaquillonas. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 26 (1): 414-416
- FRENCH, P.; O'RIORDAN, E.G.; MONAHAN, F.J.; CAFFREY, P.J.; MOONEY, M.T.; TROY, D.J. and MOLONEY, A. P. 2001. The eating quality of meat of steers fed grass and/or concentrates. *Meat Sci.* 57: 379-386
- GALLINGER, M.M.; MARCELIA, M.; GONZALEZ, C. y LASTA, J. 1993. Evaluación en cruza Brangus de características sensoriales, bioquímicas y reológicas en músculos sin y con maduración. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 13 (1): 79-80
- GARRIDO, M.D.; BAÑON, S. y ALVAREZ, D. 2005. Medida del pH. En: Cañeque, V. y Sañudo, C. eds. *Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, España. pp. 206-215
- GEAY, Y.; BAUCHART, D.; HOCQUETTE, J.F. and CULIOLI, J. 2001. Effects of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial qualities of meat. *Reprod. Nutr. Dev.* 41: 1-26
- GEESINK, G.H. and KOOHMARAIE, K. 1999. Postmortem proteolysis and calpain/calpastatin activity in callipyge and normal lamb *biceps femoris* during extended postmortem storage. *J. Anim. Sci.* 77: 1490-1501
- GIL, M.; OLIVER, M.A. y PANEA, B. 2005. Fibras musculares y longitud del sarcómero: métodos de análisis. En: Cañeque, V. y Sañudo, C. eds. *Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, España. pp. 353-365

- GOLL, D.E.; THOMPSON, V.F.; LI, H.; WEI, W. and CONG, J. 2003. The calpain system. *Physiol. Rev.* 83: 731–801.
- GONZALEZ, C.B.; PAZOS, A.A.; SALITO, V.A.; GARCÍA PILAR, T. y LASTA, J.A. 2003. Cattle feeding on pastures. Tenderness differences between *Bos indicus*, *Bos taurus* and *Bos indicus* x *Bos Taurus*. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 23 (2): 111-118
- HAMM, R. 1975. Water holding capacity of meat. In: Cole, D.J.A. and Lawrie, R.A. eds. *Meat*. Butterworths, London. pp. 321-338.
- HARPER, G.S. 1999. Trends in skeletal biology and the understanding of toughness in beef. *Aust. J. Agric. Res.* 50: 1105-1129
- HEDRICK, H.B.; PATERSON, J.A.; MATCHES, A.G.; THOMAS, J.D.; MORROW, R.E.; STRINGER, W.G. and LIPSEY, R.J. 1983. Carcass and palatability characteristics of beef produced on pasture, corn silage and corn grain. *J. Anim. Sci.* 57: 791-801
- HONIKEL, K.O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* 49: 447-457
- HUFF-LONERGAN, E. and LONERGAN, S.M. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of *post-mortem* biochemical and structural changes. *Meat Sci.* 71: 194-204
- HUFFMAN, R.D.; WILLIAMS, S.E.; HARGROVE, D.D.; JOHNSON, D.D. and MARSHALL, T.T. 1990. Effects of percentage Brahman and Angus breeding, age-season of feeding and slaughter end point on feedlot performance and carcass characteristics. *J Anim Sci.* 68: 2243-2252
- HUNSLEY, R.E.; VETTER, R.L.; KLINE, E.A. and BURROUGHS, W. 1971. Effects of age and sex on quality, tenderness and collagen content of bovine *Longissimus* muscle. *J. Anim. Sci.* 33: 933-938
- HWANG, I.H.; DEVINE, C.E. and HOPKINS, D.L. 2003. The biochemical and physical effects of electrical stimulation on beef and sheep meat tenderness. *Review. Meat Sci.* 65: 677-691
- IMMONEN, K.; RUUSUNEN, M.; HISSA, K. and PUOLANNE, E. 2000. Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. *Meat Sci.* 55: 25-31
- INSAUSTI, K.; BERIAIN, M.J.; PURROY, A.; ALBERTI, P.; LIZASO, L. and HERNANDEZ, B. 1999. Colour stability of beef from different Spanish native cattle breeds stored under vacuum and modified atmosphere. *Meat Sci.* 53: 241-249
- JAMES, S.J. 2002. New developments in the chilling and freezing of meat. In: Kerry, J.; Kerry, J. and Ledward, D. eds. *Meat Processing*. Woodhead Publishing Limited. England. pp. 297-312

- JANZ, J.A.M.; AALHUS, J.L.; DUGAN, M.E.R. and PRICE, M.A. 2006. A mapping method for the description of Warner–Bratzler shear force gradients in beef *Longissimus thoracis et lumborum* and *Semitendinosus*. *Meat Sci.* 72: 79-90
- KLASTRUP, S.; CROSS, H.R.; SCHANBACHER, B.D. and MANDIGO, R.W. 1984. Effects of castration and electrical stimulation on beef carcass quality and palatability characteristics. *J. Anim. Sci.* 58: 75-84
- KLONT, R.E.; BROCKS, L. and EIKELENBOOM, G. 1998. Muscle fibre and meat quality. *Meat Sci.* 49 (1): S219-S229
- KOCH, R.M.; DIKEMAN, M.E. and CROUSE, J.D. 1982. Characterization of biological types of cattle (cycle III). III. Carcass composition, quality and palatability. *J. Anim. Sci.* 54: 35-45
- KOŁCZAK, T.; KRZYSZTOFORSKI, K. and PALKA, K. 2007. The effect of *post-mortem* ageing and heating on water retention in bovine muscles. *Meat Sci.* 75: 655-660
- KOOHMARAIE, M. 1992. Effect of pH, temperature, and inhibitors on autolysis and catalytic activity of bovine skeletal muscle  $\mu$ -calpain. *J. Anim.Sci.* 70: 3071-3080
- KOOHMARAIE, M.; WHEELER, T.L. and SHACKELFORD, S.D. 1995 Beef Tenderness: regulation and prediction. <[www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/54380530/19950004A1.pdf](http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/54380530/19950004A1.pdf)> [consulta: diciembre de 2005]
- KOOHMARAIE, M. 1996. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Sci.* 43 (S): S193-S201
- KOOHMARAIE, M.; DOUMIT, M.E. and WHEELER, T.L. 1996. Meat toughening does not occur when rigor shortening is prevented. *J. Anim. Sci.* 74: 2935–2942
- KOOHMARAIE, M. and GEESINK, G.H. 2006. Contribution of *post-mortem* muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Sci.* 74: 34-43
- LAROCHE, M. 1991. El tratamiento culinario. En: Girard, J.P. ed. Tecnología de la carne y de los productos cárnicos. Acribia. Zaragoza, España. pp. 35-87
- LATIMORI, N.J.; KLOSTER, A.M.; AMIGONE, M.A.; GARCÍA, P.T.; CARDUZA, F.J. y PENSEL, N.A. 2003. Efecto de la dieta y del biotipo sobre indicadores de calidad de carne bovina. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 23 (1): 352-353
- LATIMORI, N.J.; KLOSTER, A.M.; AMIGONE, M.A.; GARCÍA, P.T.; CARDUZA, F.J. y PENSEL, N.A. 2005. Calidad de la carne bovina según genotipo y sistema de alimentación. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 25 (1): 365-367
- LAWRENCE, T.E.; KING, D.A.; OBUZ, E; YANCEY, E.J. and DIKEMAN, M.E. 2001. Evaluation of electric belt grill, forced-air convection oven, and electric broiler cookery methods for beef tenderness research. *Meat Sci.* 58: 239-246

- LAWRIE, R.A. 1998. *Lawrie's Meat Science*. 6<sup>th</sup> ed. Woodhead Publishing Limited. Cambridge, England. 336 p.
- LEE, M.S.; APPLE, J.K.; YANCEY, J.W.S.; SAWYER, J.T. and JOHNSON, Z.B. 2008. Influence of vacuum-aging period on bloom development of the beef gluteus medius from top sirloin butts. *Meat Sci.* In Press
- LOCKER, R.H. 1989. Muscle into meat In: Purchas, R.W.; Butler-Hogg, B.W. and Davies, A.S. eds. *Meat Production and Processing*. New Zealand Society of Animal Production. Occasional publication number 11. pp. 173-183
- LOWMAN, B.G. 1976. Condition scoring suckler cows. *Scotland College of Agriculture* N° 98. s.p.
- MANCINI, R.A. and HUNT, M.C. 2005. Current research in meat color. *Review. Meat Sci.* 71: 100–121
- MARSHAL, D.M. 1994. Breed differences and genetic parameters for body composition traits in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 72: 2745-2755
- MARTINEZ, O.; SALMERÓN, J.; GUILLÉN, M.D. and CASAS, C. 2004. Texture profile analysis of meat products treated with commercial liquid smoke flavourings. *Food Control* 15: 457-461
- MARTÍNEZ FERRER, J.; USTARROZ, E.; TEIRA, G.; PERLO, F.; BONATO, P. y TISOCCO, O. 2006. Efecto del sistema de alimentación sobre la calidad de la carne bovina. 2. Características fisicoquímicas. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 26 (1): 388-389
- MCKENNA, D.R.; KING, D.A. and SAVELL, J.W. 2003. Comparison of clam-shell cookers and electric broilers and their effects on cooking traits and repeatability of Warner-Bratzler shear force values. *Meat Sci.* 66: 225-229
- MILLER, R.K.; CROSS, H.R.; CROUSE, J.D. and TATUM, J.D. 1987. The influence of diet and time on feed on carcass traits and quality. *Meat Sci.* 19 (4): abstract
- MILLER, M.F.; CARR, M.F.; RAMSEY, C.B.; CROCKETT, K.L. and HOOVER, L.C. 2001. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. *J. Anim. Sci.* 79: 3062–3068
- MILLER, R.K. 2002. Factors affecting the quality of raw meat. In: Kerry, J.; Kerry, J. and Ledward, D. eds. *Meat Processing*. Woodhead Publishing Limited. England. pp. 27-63
- MITCHELL, G.E.; GILES, J.E.; ROGERS, S.A.; TAN, L.T.; NAIDOO, R.J. and FERGUSON, D.M. 1991. Tenderizing, ageing, and thawing effects on sensory, chemical, and physical properties of beef steaks. *J. Food Sci.* 56 (5): 1125-1129
- MORGAN, J.B.; SAVELL, J.W.; HALE, D.S.; MILLER, R.K.; GRIFFIN, D.B.; CROSS, H.R. and SHACKELFORD, S.D. 1991. National beef tenderness survey. *J. Anim. Sci.* 69: 3274-3283

- MORRISON, D.F. 1976. *Multivariate Statistical Methods*. 2<sup>o</sup> ed. McGraw-Hill Book Company. USA. 415 p.
- MUIR, P.D.; DEAKER, J.M. and BROWN, M.D. 1998. Effects of forage-and grain-based feeding systems on beef quality. *New Zeal. J. Agr. Res.* 41: 623-635
- NISHIMURA, T.; LIU, A.; HATTORI, A. and TAKAHASHI, K. 1998. Changes in mechanical strength of intramuscular connective tissue during *post-mortem* aging of beef. *J. Anim. Sci.* 76: 528-532
- NUERNBERG, K.; DANNENBERGER, D.; NUERNBERG, G.; ENDER, K.; VOIGT, J.; SCOLLAN, N.D.; WOOD, J.D.; NUTE, G.R. and RICHARDSON, R.I. 2005. Effect of a grass-based and a concentrate feeding system on meat quality characteristics and fatty acid composition of *Longissimus* muscle in different cattle breeds. *Livest. Prod. Sci.* 94: 137-147
- OBUZ, E.; DIKEMAN, M.E. and LOUGHIN, T.M. 2003. Effects of cooking method, reheating, holding time, and holding temperature on beef *Longissimus lumborum* and *biceps femoris* tenderness. *Meat Sci.* 65: 841-851
- OBUZ, E.; DIKEMAN, M.E.; GROBBEL, J.P.; STEPHENS, J.W. and LOUGHIN, T.M. 2004. Beef *Longissimus lumborum*, *biceps femoris*, and *deep pectoralis* Warner-Bratzler shear force is affected differently by endpoint temperature, cooking method, and USDA quality grade. *Meat Sci.* 68: 243-248
- O'CONNOR, S.F.; TATUM, J.D.; WULF, D.M.; GREEN, R.D. and SMITH, G.C. 1997. Genetic effects on beef tenderness in *Bos indicus* composite and *Bos taurus* cattle. *J. Anim. Sci.* 75: 1822-1830
- OLIETE, B.; MORENO, T.; CARBALLO, J.A.; MONSERRAT, L. y SÁNCHEZ, L. 2006. Estudio de la calidad de la carne de ternera de raza Rubia Gallega a lo largo de la maduración al vacío. *Arch. Zootec.* 55 (209): 3-14
- ONEGA PAGADOR, M.E. 2003. Evaluación de la calidad de carnes frescas: aplicación de técnicas analíticas, instrumentales y sensoriales. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Veterinaria. 449 p.
- O'NEILL, D.J.; TROY, D.J. and MULLEN, A.M. 2004. Determination of potential inherent variability when measuring beef quality. *Meat Sci.* 66: 765-770
- ORELLANA, C.R.; BLANCO MASSANI, A. y CASTILLA, E.M. 2004. Elementos de valorización de carne producida con pasturas tropicales en biotipos diferentes en el noroeste argentino. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 24 (1): 389-390
- O'SULLIVAN, M.G.; BYRNEA, D.V.; MARTENSA, H.; GIDSKEHAUGA, L.H.; ANDERSEN, H.J. and MARTENSA, M. 2003. Evaluation of pork colour: prediction of visual sensory quality of meat from instrumental and computer vision methods of colour analysis. *Meat Sci.* 65: 909-918
- OUALI, A.; HERRERA-MENDEZ, C.H.; COULIS, G.; BECILA, S.; BOUDJELLAL, A.; AUBRY, L. and SENTANDREU, M. A. 2006. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Sci.* 74: 44-58

- PAGE, J.K.; WULF, D.M. and SCHWOTZER, T.R. 2001. A survey of beef muscle color and pH. *J. Anim. Sci.* 79: 678-687
- PALKA, K. and DAUN, H. 1999. Changes in texture, cooking losses, and miofibrillar structure of bovine *M. semitendinosus* during heating. *Meat Sci.* 51: 237-243
- PATTERSON, R.L.S. 1975. The flavour of meat. In: Cole, D.J.A. and Lawrie, R.A. eds. *Meat*. Butterworths, London. pp. 359-379
- PELUFO, M. y RODRIGUEZ, M. 2002. Terneza: una característica a tener en cuenta. <[www.produccionbovina.com](http://www.produccionbovina.com)> [consulta: enero de 2008]
- PÉREZ ALVAREZ, J.A.; FERNÁNDEZ LOPEZ, J. y ROSMINI, M.R. 1998. Curso de postgrado sobre "El color como propiedad física en el control de calidad de la carne y productos cárnicos". Univ. Nac. del Litoral. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Departamento de Salud Pública Veterinaria. 21 al 25 de Septiembre. Esperanza, Santa Fe.
- POWELL, V.H.; DICKINSON, R.F.; SHORTHOSE, W.R. and JONES, P.N. 1996. Consumer assessment of the effect of electrical stimulation on the colour and colour stability of Semimembranosus muscle. *Meat Sci.* 44 (3): 213-223
- PRINGLE, T.D.; WILLIAMS, S.E.; LAMB, B.S.; JOHNSON, D.D. and WEST, R.L. 1997. Carcass characteristics, the calpain proteinase system, and aged tenderness of Angus and Brahman crossbred steers. *J. Anim. Sci.* 75: 2955-2961
- PURCHAS, R.W. 1990. An assessment of the role of pH differences in determining the relative tenderness of meat from bulls and steers. *Meat Sci.* 27: abstract.
- PURCHAS, R.W. and AUNGSUPAKORN, R. 1993. Further investigations into the relationship between ultimate pH and tenderness for beef samples from bulls and steers. *Meat Sci.* 34: abstract
- RILEY, D.G.; CHASE, JR, C.C.; HAMMOND, A.C.; WEST, R.L.; JOHNSON, D.D.; OLSON, T.A. and COLEMAN, S.W. 2002. Estimated genetic parameters for carcass traits of Brahman cattle. *J. Anim. Sci.* 80: 955-962
- RILEY, D.G.; JOHNSON, D.D.; CHASE JR., C.C.; WEST, R.L.; COLEMAN, S.W.; OLSON, T.A. and HAMMOND, A.C. 2005. Factors influencing tenderness in steaks from Brahman cattle. *Meat Sci.* 70: 347-356
- ROEBER, D.L.; CANNELL, R.C.; BELK, K.E.; TATUM, J.D. and SMITH, G.C. 2000. Effects of a unique application of electrical stimulation on tenderness, color, and quality attributes of the beef *Longissimus* muscle. *J. Anim. Sci.* 78: 1504-1509
- RUIZ DE HUIDOBRO, F.; MIGUEL, E.; ONEGA, E. y BLÁZQUEZ, B. 2003. Changes in meat quality characteristics of bovine meat during the first 6 days post mortem. *Meat Sci.* 65: 1439-1446
- RUIZ DE HUIDOBRO, F.; MIGUEL, E.; BLÁZQUEZ, B. y ONEGA, E. 2004. La calidad de la carne y su percepción por los consumidores. *Alimentaria*, marzo 04/37

- SALADO, E.E y RESCONI, V.C. 2007. Reemplazo de silaje de sorgo por grano en el engorde a corral. 4. Evaluación sensorial. Rev. Arg. Prod. Anim. 27(1): 382-384
- SAÑUDO, C. 2007. Curso de postgrado: Calidad de carne en rumiantes. Facultad de Cs. Veterinarias. Univ. Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. 2 al 5 de Mayo. Tandil, Argentina.
- SAS. 1999. The SAS System for Windows. Version 8, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- SAVELL, J.W.; MUELLER, S.L. and BAIRD, B.E. 2005. The chilling of carcasses. Meat Sci. 70: 449-459
- SHACKELFORD, S.D.; KOOHMARAIE, M.; MILLER, M.F.; CROUSE, J.D.; and REAGAN, J.O. 1991. An evaluation of tenderness of the *Longissimus* muscle of Angus by Hereford versus Brahman crossbred heifers. J. Anim. Sci. 69: 171-177
- SHACKELFORD, S.D.; KOOHMARAIE, M.; CUNDIFF, L.V.; GREGORY, K.E.; ROHRER, G.A. and SAVELL, J.W. 1994. Heritabilities and phenotypic and genetic correlations for bovine postrigor calpastatin activity, intramuscular fat content, Warner-Bratzler shear force, retail product yield, and growth rate. J. Anim. Sci. 72: 857-863
- SHACKELFORD, S.D.; WHEELER, T.L. and KOOHMARAIE, M. 1995. Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness rating of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. J. Anim. Sci. 73: 3333-3340
- SHACKELFORD, S.D.; WHEELER, T.L. and KOOHMARAIE, M. 1997. Tenderness Classification of Beef: I. Evaluation of Beef *Longissimus* Shear Force at 1 or 2 Days *Post-mortem* as a Predictor of Aged Beef Tenderness. J. Anim. Sci. 75: 2417-2422
- SILVA, J.A.; PATARATA, L. and MARTINS, C. 1999. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. Meat Sci. 52: 453-459
- SMITH, T.; DOMINGUE, J.D.; PASCHAL, J.C.; FRANKE, D.E.; BIDNER, T.D. and WHIPPLE, G. 2007. Genetic parameters for growth and carcass traits of Brahman steers. J. Anim. Sci. 85: 1377-1384
- SPANIER, A.M.; FLARES, M.; McMILLIN, K.W. and BIDNER, T.D. 1997. The effect of *post-mortem* aging on meat flavor quality in Brangus beef. Correlation of treatments, sensory, instrumental and chemical descriptors. Food Chem. 59 (4): 531-538
- STOLOWSKI, G.D.; BAIRD, B.E.; MILLER, R.K.; SAVELL, J.W.; SAMS, A.R.; TAYLOR, J.F.; SANDERS, J.O. and SMITH, S.B. 2006. Factors influencing the variation in tenderness of seven major beef muscles from three Angus and Brahman breed crosses. Meat Sci. 73: 475-483
- TAKAHASHI, K. 1996. Structural Weakening of Skeletal Muscle Tissue during *Post-Mortem* Ageing of Meat: the Non-Enzymatic Mechanism of Meat Tenderization. Meat Sci. 43 (S): S67-S80

- TAYLOR, R.G.; GEESINK, G.H.; THOMPSON, V.F.; KOOHMARAIE, M. and GOLL, D.E. 1995. Is Z disk degradation responsible for *post-mortem* tenderization?. J. Anim. Sci. 73: 1351-1367
- TAYLOR, R.G. 2003. Meat tenderness: theory and practice. 49<sup>th</sup> Int. Congr. of Meat Science and Technology. 2<sup>th</sup> Brazilian Congr. of Meat Science and Technology. pp. 56-66
- THOMPSON, J. 2002. Managing meat tenderness. Meat Sci. 62: 295-308
- TORNBERG, E. 2005. Effects of heat on meat proteins. Implications on structure and quality of meat products. Review. Meat Sci. 70: 493-508
- VARNAM, A.H. and SUTHERLAND, J.P. 1998. Carne y productos cárnicos. Tecnología, química y microbiología. Acribia. Zaragoza, España. pp. 409
- VAN VLECK, L.D.; HAKIM, A.F.; CUNDIFF, L.V.; KOCH, R.M.; CROUSE, J.D., and BOLDMAN, K.G. 1992. Estimated Breeding Values for Meat Characteristics of Crossbred Cattle with an Animal Model. J. Anim Sci. 70:363-371
- VERBEKE, G. and MOLENBERGHS, G. 2003. The use of score test for inference on variance components. Biometrics 59: 254-262
- VILLARREAL, E.L.; SANTINI, F.; FAVERIN, C.; DEPETRIS, G.; PAVÁN, E.; GRIGERA, J.; SCHOR, A. y GRIGERA NAÓN, J.J. 2005a. Efectos de biotipo y dieta sobre características de carcasa y carne de novillos engordados a corral. Rev. Arg. Prod. Anim. 25 (1): 348-349
- VILLARREAL, E.L.; FAVERIN, C.; SANTINI, F.; PAVÁN, E.; DEPETRIS, G.; SCHOR, A. y GRIGERA NAÓN, J.J. 2005b. Evaluación postdestete de características de carcasa y de la carne en terneros de distintos biotipos. Rev. Arg. Prod. Anim. 25 (1): 351-352
- VILLARREAL, E.L.; MELUCCI, L.M.; MEZZADRA, C.A.; SCHOR, A.; CORVA, P.M.; MIQUEL, M.C. y SORIA, L.A. 2006. Efecto de la maduración sobre atributos de calidad de la carne de novillos Angus y Brangus. 2<sup>do</sup> Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Córdoba, Argentina. pp. 366-367
- VON ELBE, J.H. and SCHWARTZ, S. J. 2000. Colorantes. En: Fennema, O.R. ed. Química de los Alimentos. 2<sup>a</sup> ed. Acribia. Zaragoza, España. pp. 773-854
- WALSH, H.M. and KERRY, J.P. 2002. Meat Packaging. In: Kerry, J.; Kerry, J. and Ledward, D. eds. Meat Processing. Woodhead Publishing Limited, England. pp. 417-451
- WALTERS, C.L. 1975. Meat colour: the importance of haem chemistry. In: Cole, D.J.A. and Lawrie, R.A. eds. Meat. Butterworths. London. pp. 385-401
- WARRIS, P.D. 2000. Meat science. An Introductory Text. CABI Publishing. London, UK. 297 p.

- WATANABE, A.; DALY, C.C. and DEVINE, C.E. 1996. The effects of the ultimate pH of meat on tenderness changes during ageing. *Meat Sci.* 42: 67-78
- WESTLAND, S. 2001. Preguntas y respuestas (FAQ) sobre el color. <[www.gusgsm.com/color\\_faq](http://www.gusgsm.com/color_faq)> [consulta: julio 2007]
- WHEELER, T.L.; SAVELL, J.W.; CROSS, H.R.; LUNT, D.K. and SMITH, S.B. 1990a. Effect of *post-mortem* treatments on the tenderness of meat from Hereford, Brahman and Brahman-cross beef cattle. *J. Anim. Sci.* 68: 3677-3686
- WHEELER, T.L.; SAVELL, J.W.; CROSS, H.R.; LUNT, D.K. and SMITH, S.B. 1990b. Mechanisms associated with the variation in tenderness of meat from Brahman and Hereford cattle. *J. Anim. Sci.* 68: 4206-4220
- WHEELER, T.L.; CUNDIFF, L.V. and KOCH, R.M. 1994. Effect of Marbling Degree on Beef Palatability in *Bos taurus* and *Bos indicus* Cattle. *J. Anim. Sci.* 72: 3145-3151
- WHEELER, T.L.; CUNDIFF, L.V.; KOCH, R.M. and CROUSE, J. D. 1996a. Characterization of biological types of cattle (Cycle IV): Carcass traits and *Longissimus* palatability. *J. Anim. Sci.* 74: 1023-1035
- WHEELER, T.L.; SHACKELFORD, S.D. and KOOHMARAIE, M. 1996b. Sampling, cooking, and coring effects on Warner-Bratzler shear force values in beef. *J. Anim. Sci.* 74:1553-1562
- WHEELER, T.L.; SHACKELFORD, S.D. and KOOHMARAIE, M. 1997. Standardizing collection and interpretation of Warner-Bratzler shear force and sensory tenderness data. *Proc. Recip. Meat Conf.* 50: 68-77. <[www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/54380530/1997500068.pdf](http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/54380530/1997500068.pdf)> [consulta diciembre de 2005]
- WHEELER, T.L.; SHACKELFORD, S.D. and KOOHMARAIE, M. 1998. Cooking and Palatability Traits of Beef *Longissimus* Steaks Cooked with a Belt Grill or an Open Hearth Electric Broiler. *J. Anim. Sci.* 76: 2805-2810
- WHEELER, T.L.; CUNDIFF, L.V.; SHACKELFRD, S.D. and KOOHMARAIE, M. 2001. Characterization of biological types of cattle (Cycle V): Carcass traits and *Longissimus* palatability. *J. Anim. Sci.* 79: 1209-1222
- WHEELER, T.L.; CUNDIFF, L.V.; SHACKELFRD, S.D. and KOOHMARAIE, M. 2004. Characterization of biological types of cattle (Cycle VI): Carcass traits and *Longissimus* palatability. *J. Anim. Sci.* 82: 1177-1189
- WHEELER, T.L.; SHACKELFORD, S.D. and KOOHMARAIE, M. 2005. Shear Force Procedures for Meat Tenderness Measurement. <[www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/54380530/protocol/ShearForceProcedure.pdf](http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/54380530/protocol/ShearForceProcedure.pdf)> [consulta: diciembre de 2005]
- WHIPPLE, G.; KOOHMARAIE, M.; DIKEMAN, M.E.; CROUSE, J.D.; HUNT, M.C. and KLEMM, R.D. 1990a. Evaluation of attributes that affect *Longissimus* muscle tenderness in *bos taurus* and *bos Indicus* cattle. *J. Anim. Sci.* 68: 2716-2728

- WHIPPLE, G.; KOOHMARAIE, M.; DIKEMAN, M.E. and CROUSE, J.D. 1990b. Predicting beef *Longissimus* tenderness from various biochemical and histological muscle traits. *J. Anim. Sci.* 68:4193-4199
- WHITE, A.; O'SULLIVAN, A.; TROY, D.J.; and O'NEIL, E.E. 2006. Effects of electrical stimulation, chilling temperature and hot-boning on the tenderness of bovine muscles. *Meat Sci.* 73: 196-203
- WULF, D.M.; TATUM, J.D.; GREEN, R.D.; MORGAN, J.B.; GOLDEN, B.L. and SMITH, G.C. 1996. Genetic influences on beef *Longissimus* palatability in charolais- and limousin-sired steers and heifers. *J. Anim. Sci.* 74: 2394-2405
- WULF, D.M.; O'CONNOR, S.F.; TATUM, J.D. and SMITH, G.C. 1997. Using objective measures of muscle color to predict beef *Longissimus* tenderness. *J. Anim. Sci.* 75: 684-692
- WULF, D.M. and WISE, J.W. 1999. Measuring muscle color on beef carcasses using the L\*a\*b\* color space. *J. Anim. Sci.* 77: 2418-2427
- YOUNG, O.A.; PRIOLO, A.; SIMMONS, N.J. and WEST, J. 1999. Effects of rigor attainment temperature on meat blooming and colour on display. *Meat Sci.* 52: 47-56
- ZAMORA, F.; DEBITON, E.; LEPETIT, J.; LEBERT, A.; DRANSFIELD, E. and OUALI, A. 1996. Predicting variability of ageing and toughness in beef *M. longissimus et thoracis*. *Meat Sci.* 43: 321-333
- ZAMORA, F.; CHAÏB, F. and DRANSFIELD, E. 1998. Calpains and calpastatin from cold-shortened bovine *M. longissimus lumborum*. *Meat Sci.* 49: 127-133

## 8. APÉNDICE

En los Cuadros I a V se muestran los resultados de la prueba de hipótesis planteada para cada variable de calidad evaluada. Los valores de F fueron obtenidos, para cada fuente de variación y dentro de cada variable, según el procedimiento PROC MIXED de SAS.

**Cuadro I.** Test para los efectos fijos según modelo de análisis correspondiente a la variable pHu

| Fuente de Variación           | <i>pHu</i>  |          |                  |
|-------------------------------|-------------|----------|------------------|
|                               | <b>g.l.</b> | <b>F</b> | <b>Pr &gt; F</b> |
| Fecha de faena (F)            | 5           | 24,97    | <0,0001          |
| Tratamiento de maduración (T) | 2           | 25,92    | <0,0001          |
| F*T                           | 10          | 7,73     | <0,0001          |
| Sitio                         | 2           | 0,88     | 0,4165           |
| Técnica de descongelación     | 1           | 0,14     | 0,7045           |
| Establecimiento               | 5           | 0,46     | 0,7936           |

**Cuadro II.** Test para los efectos fijos según modelo de análisis correspondiente a la variable resistencia al corte

| Fuente de Variación           | <i>Resistencia al corte</i> |          |                  |
|-------------------------------|-----------------------------|----------|------------------|
|                               | <b>g.l.</b>                 | <b>F</b> | <b>Pr &gt; F</b> |
| Fecha de faena (F)            | 5                           | 3,66     | 0,0029           |
| Tratamiento de maduración (T) | 2                           | 61,37    | <0,0001          |
| F*T                           | 10                          | 2,67     | 0,0034           |
| Sitio                         | 2                           | 5,53     | 0,0042           |
| Técnica de descongelación     | 1                           | 22,88    | <0,0001          |
| Establecimiento               | 5                           | 1,82     | 0,2752           |

**Cuadro III.** Test para los efectos fijos según modelo de análisis correspondiente a la variables de color

| Fuente de Variación       | g.l. | <i>L*</i> |         | <i>a*</i> |         | <i>b*</i> |         |
|---------------------------|------|-----------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
|                           |      | F         | Pr > F  | F         | Pr > F  | F         | Pr > F  |
| Fecha de faena (F)        | 5    | 1,39      | 0,2247  | 7,13      | <0,0001 | 6,30      | <0,0001 |
| Trat. de maduración (T)   | 2    | 48,89     | <0,0001 | 113,73    | <0,0001 | 78,40     | <0,0001 |
| F*T                       | 10   | 1,80      | 0,0581  | 1,63      | 0,0954  | 2,36      | 0,0098  |
| Sitio                     | 2    | 3,51      | 0,0306  | 0,47      | 0,6232  | 0,18      | 0,8366  |
| Técnica de descongelación | 1    | 2,14      | 0,1443  | 3,12      | 0,0779  | 4,40      | 0,0365  |
| Establecimiento           | 5    | 0,48      | 0,7832  | 2,70      | 0,4305  | 1,01      | 0,5167  |

**Cuadro IV.** Test para los efectos fijos según modelo de análisis correspondiente a las variables pérdidas por descongelación y cocción

| Fuente de Variación           | g.l. | <i>Pérdidas por descongelación</i> |         | <i>Pérdidas por cocción</i> |         |
|-------------------------------|------|------------------------------------|---------|-----------------------------|---------|
|                               |      | F                                  | Pr > F  | F                           | Pr > F  |
| Fecha de faena (F)            | 5    | 14,23                              | <0,0001 | 13,15                       | <0,0001 |
| Tratamiento de maduración (T) | 2    | 18,21                              | <0,0001 | 17,42                       | <0,0001 |
| F*T                           | 10   | 2,51                               | 0,0059  | 6,38                        | <0,0001 |
| Sitio                         | 2    | 23,95                              | <0,0001 | 7,06                        | 0,0009  |
| Técnica de descongelación     | 1    | 88,94                              | <0,0001 | 18,15                       | <0,0001 |
| Establecimiento               | 5    | 1,57                               | 0,3092  | 5,49                        | <0,0001 |

**Cuadro V.** Test para los efectos fijos según modelo de análisis correspondiente a la variable extracto etéreo

| Fuente de Variación | g.l. | <i>Extracto etéreo</i> |        |
|---------------------|------|------------------------|--------|
|                     |      | F                      | Pr > F |
| Fecha de faena      | 5    | 3,47                   | 0,0052 |
| Establecimiento     | 5    | 0,46                   | 0,7998 |