

**COLOR Y RESISTENCIA AL CORTE DE LA CARNE DE NOVILLOS  
SUPLEMENTADOS CON NIVELES CRECIENTES DE SEMILLA DE LINO**

**María Milagros, DELLA ROSA**

Trabajo de Tesis para ser presentado como requisito parcial para optar al título de

**MAGÍSTER en PRODUCCIÓN ANIMAL**

Área de Nutrición Animal

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS AGRARIAS

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

**Balcarce, Argentina**

**Marzo, 2016**

**COLOR Y RESISTENCIA AL CORTE DE LA CARNE DE NOVILLOS  
SUPLEMENTADOS CON NIVELES CRECIENTES DE SEMILLA DE LINO**

**María Milagros, DELLA ROSA**

**Comité asesor:**

.....  
Ing. Agr. Enrique Pavan, M.Sc., Ph. D.  
**Director de Tesis**

.....  
Ing. Agr. Mario Salvador Aello  
**Miembro del Comité Asesor**

.....  
Lic. Laura Beatriz Pouzo, Dra.  
**Miembro del Comité Asesor**

**COLOR Y RESISTENCIA AL CORTE DE LA CARNE DE NOVILLOS  
SUPLEMENTADOS CON NIVELES CRECIENTES DE SEMILLA DE LINO**

**María Milagros, DELLA ROSA**

**Aprobada por:**

.....  
Bioq. Darío Gabriel Pighin, Dr.

.....  
Lic. Juliana Papaleo Mazzuco, M.Sc.

.....  
Lic. Javier Zorrilla, M.Sc.

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VI
ABREVIATURAS Y SIGLAS .....	VII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT .....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Hipótesis.....	3
1.2. Objetivo general.....	3
1.3. Objetivos particulares .....	3
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1. Producción y comercialización de la carne .....	4
2.2. Características de la carne .....	4
2.3. Parámetros de calidad .....	5
2.3.1. Color de la carne.....	5
2.3.1.1. Factores intrínsecos.....	6
2.3.1.2. Factores extrínsecos.....	7
2.3.2. Terneza de la carne .....	8
2.3.2.1. Tejido conectivo .....	9
2.3.2.2. Longitud de los sarcómeros .....	10
2.3.2.3. Maduración (Proteólisis) .....	11
2.4. Nutrición y calidad de la carne .....	13
2.5. Peso/edad del animal sobre la calidad de la carne .....	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1. Descripción del proceso de generación de muestras.....	17
3.1.1. Ensayo a campo .....	17
3.1.2. Faena .....	18
3.1.3. Determinaciones durante y pos-faena, toma y acondicionamiento de muestras.....	18
3.2. Determinaciones en el laboratorio.....	19
3.2.1. Espesor de grasa dorsal (EGD) y área de ojo de bife (AOB) .....	19
3.2.2. Parámetros colorimétricos .....	19
3.2.3. Resistencia al corte.....	19
3.2.4. Contenido de colágeno muscular .....	20

3.2.4.1. Colágeno total.....	20
3.2.4.2. Colágeno insoluble y soluble.....	21
3.2.5. Longitud de los sarcómeros .....	21
3.2.6. Glucógeno total.....	21
3.2.6.1. Glucógeno residual .....	22
3.2.6.2. Lactato muscular.....	22
3.2.7. Troponina T no degradada (TnT) .....	22
3.3. Diseño experimental y análisis estadístico.....	23
4. RESULTADOS .....	25
4.1. Características generales del músculo <i>Longissimus dorsi</i> .....	25
4.2. Color de la carne .....	27
4.3. Resistencia al corte y variables asociadas.....	27
4.4. Análisis de correlación entre las variables que afectan el color y la resistencia al corte .....	30
5. DISCUSIÓN.....	32
5.1. DIETA y PESO: implicancias sobre el color de la carne.....	32
5.2. DIETA y PESO: implicancias sobre la resistencia al corte de la carne.....	37
5.3. Asociaciones entre el color y la resistencia al corte .....	40
6. CONCLUSIONES .....	42
7. BIBLIOGRAFÍA.....	43

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Características de las carcasas y del músculo <i>Longissimus dorsi</i> de novillos Angus en pastoreo, suplementados con grano de maíz y niveles crecientes de semilla de lino en dos pesos de inicio de la suplementación.....	26
<b>Tabla 2:</b> Parámetros colorimétricos evaluados en el músculo <i>Longissimus dorsi</i> de novillos Angus en pastoreo, suplementados con grano de maíz y niveles crecientes de semilla de lino en dos pesos de inicio de la suplementación.....	27
<b>Tabla 3.</b> Resistencia al corte (Kgf) evaluada en el músculo <i>Longissimus dorsi</i> de novillos Angus a dos pesos de inicio de la suplementación y tres tiempos de maduración.....	28
<b>Tabla 4:</b> Variables que influyen sobre la resistencia al corte del músculo <i>Longissimus dorsi</i> de novillos Angus en pastoreo, suplementados con grano de maíz y niveles crecientes de semilla de lino en dos pesos de inicio de la suplementación.....	29
<b>Tabla 5:</b> Coeficientes de correlación de Pearson entre variables relacionadas a la calidad de carne .....	31
<b>Tabla 6:</b> Consumo total de energía metabolizable, expresado en megacalorías, en novillos Angus en pastoreo, suplementados con grano de maíz y niveles crecientes de semilla de lino en dos pesos de inicio de la suplementación.....	33

**ABREVIATURAS Y SIGLAS**

**μl:** microlitro

**μmol:** micromol

**ADP:** aumento diario de peso

**AOB:** área de ojo de bife

**CTRL:** control

**cm:** centímetros

**cm<sup>2</sup>:** centímetros cuadrados

**d:** días

**DABA:** dimetilamino benzaldehído

**DCA:** diseño completamente aleatorizado

**EGD:** espesor de grasa dorsal

**EM:** energía metabolizable

**g:** gramos

**Glu:** glucógeno

**h:** horas

**HCl:** ácido clorhídrico

**IFM:** índice de fragmentación miofibrilar

**kDa:** kilodalton

**kg:** kilogramos

**kgf:** kilogramo fuerza

**LINO-0:** lino cero

**LINO-1:** lino uno

**LINO-2:** lino dos

**m:** minutos

**mbar:** milibar

**M:** molar

**Mcal:** megacaloría

**mg:** miligramo

**ml:** mililitro

**ML:** músculo *Longissimus dorsi*

**mm:** milímetro

**MS:** material seca

**N:** normal

**NaOH:** hidróxido de sodio

**°C:** grados Celsius

**OH-Prol:** hidroxiprolina

**p/v:** peso en volumen

**PCC:** peso de carcadas calientes

**PG:** potencial glucolítico

**pH@24h:** pH 24 horas *post mortem*

**pH@45m:** pH 45 minutos *post mortem*

**PV:** peso vivo

**PVDF:** polifluoruro de vinilideno

**s:** segundos

**Temp@45m:** temperatura 45 minutos *post mortem*

**TG:** triacilgliceroles

**tn:** tonelada

**TnT:** troponina T no degradada

**v/v:** volumen en volumen



## RESUMEN

Las dietas pastoriles suplementadas con concentrados energéticos como el grano de maíz o fuentes lipídicas, brindan mayor aporte energético por unidad de materia seca, lo que resulta en mayor energía disponible para los procesos fisiológicos. No obstante, el efecto de la dieta sobre estos procesos estaría condicionado por el estado de madurez de los animales, estimado a través del peso vivo. En consecuencia tanto la dieta como el estado de madurez de los animales afectan la calidad de la carne. En función de esto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la suplementación energética con semilla de lino a dos pesos al inicio de la suplementación. Se utilizaron 48 novillos Angus en pastoreo que fueron asignados al azar a 8 combinaciones de tratamientos; cuatro tratamientos dietarios y dos pesos de inicio de la suplementación. Los tratamientos dietarios se definieron por el nivel de semilla entera de lino agregada al grano de maíz suplementado durante los últimos 70 d de engorde. El grano de maíz se suplementó al 0,7% del peso vivo (PV) de los animales y a este se le adicionó 0% de semilla de lino (LINO-0), 0,125% (LINO-1) o 0,250% PV (LINO-2). En tanto que los animales asignados al cuarto tratamiento dietario, control negativo (CTRL), no recibieron grano de maíz, ni semilla de lino como suplemento. Los pesos de inicio de la suplementación se definieron como LIVIANO y PESADO. Los primeros comenzaron a ser suplementados cuando el peso medio de los animales asignados a este tratamiento fue de 350 kg y los segundos, a los 450 kg. Finalizado el período de suplementación de 70 d, los animales se faenaron en un frigorífico comercial. Durante cada faena se determinó el peso de las carcasas calientes (PCC), el área de ojo de bife (AOB), el espesor de grasa dorsal (EGD), pH a los 45 m *post mortem* (pH@45m), pH a las 24 h *post mortem* (pH@24h) y temperatura a los 45 m *post mortem* (Temp@45m). En el laboratorio se evaluó el color del músculo *Longissimus dorsi* (ML), la resistencia al corte (RC) en tres tiempos de maduración (TM; 3, 14 y 56 d), glucógeno total (Glu), colágeno total e insoluble, longitud de sarcómeros y troponina T no degradada (TnT) a los 3 d de maduración. Los datos se analizaron mediante un Diseño Completamente Aleatorizado con arreglo factorial 4 x 2. La RC se analizó con un diseño de parcelas divididas. No se observaron efectos de la interacción entre PESO y DIETA sobre el pH@45m, pH@24h, Temp@45m, ni para AOB y EGD ( $P > 0,10$ ). Tampoco DIETA tuvo efecto sobre las variables mencionadas ( $P > 0,05$ ), excepto sobre el EGD ( $P = 0,03$ ). PESO afectó al pH@45m ( $P < 0,01$ ) y al pH@24h ( $P < 0,01$ ), no así a Temp@45m, AOB ni EGD ( $P > 0,05$ ). El Glu fue afectado por PESO ( $P < 0,01$ ) siendo un 22% mayor en LIVIANO que en PESADO. Ninguno de

los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) fueron afectados por la interacción entre DIETA y PESO ( $P > 0,05$ ), ni por el factor DIETA ( $P > 0,05$ ). Sin embargo, los valores de los tres parámetros fueron mayores ( $P < 0,01$ ), en LIVIANO que en PESADO. Además esto estuvo asociado a una menor concentración de Glu y pH@24h en LIVIANO. La RC no fue afectada por ninguna de las interacciones evaluadas ( $P > 0,05$ ), pero sí por TM y por PESO ( $P < 0,01$ ). La RC a los 3 d ( $3,92 \pm 1,06$  kgf) no difirió ( $P > 0,05$ ) de aquella obtenida a los 14d ( $3,55 \pm 0,93$  kgf) de maduración, pero ambas fueron superiores a la RC obtenida a los 56 d ( $3,03 \pm 0,73$  kgf;  $P < 0,05$ ). En tanto que la RC en PESADO ( $3,78 \pm 1,09$  kgf) fue mayor ( $P < 0,01$ ) que en LIVIANO ( $3,20 \pm 0,76$  kgf). Además, el colágeno total ( $P < 0,03$ ) como la TnT ( $P = 0,06$ ) fueron superiores en PESADO que en LIVIANO. Las diferencias en RC asociadas al peso de inicio de la suplementación, se correspondieron con una mayor proporción de colágeno total y de TnT en PESADO que en LIVIANO ( $P < 0,05$ ). Se concluye que la suplementación con lino, en baja proporción, no generó mejoras en el color ni la resistencia al corte de la carne; y, tampoco fue dependiente del peso de inicio de la suplementación. Sin embargo PESADO presentó carne de color más oscuro y con mayor RC, lo que podría atribuirse a la mayor edad de los animales y a diferentes situaciones de estrés pre faena y/ o posibles cambios metabólicos a nivel de las fibras musculares.

**Palabras clave:** carne, pastura, maíz, lino, color, resistencia al corte.

## ABSTRACT

Forage diets supplemented with energetic concentrates as corn grain or lipid sources are characterized for higher energetic contribution in the diet; it results in higher energy available for physiologic process. However, the diet effect would be conditioned by physiologic state of maturity; it is estimated through the animals live weight. The aim of the current study was to evaluate the effect of four diets and two live weights at starting of supplementation on meat quality. Forty eight steers were assigned to eight treatment combinations (4x2), four diets and two live weights (LW). Diet treatments were defined by the level of flaxseed added to corn grain, which were provided to the animals during the last 70 d of fattness. DIET treatments were: CTRL (no supplemented), FLAX-0 (supplemented: 0.7% LW of corn grain plus no flaxseed), FLAX -1 and FLAX-2 (equal FLAX-0 plus 0.125% or 0.250% LW of whole flaxseed). WEIGHT treatments were defined as LIGHT and HEAVY. On the first one, animals started to be supplemented when reached 350 kg of LW, and on the second one at 450 kg LW. After 70 d on trial, the animals were harvested in a commercial abattoir. During each harvest, hot carcass weight, rib eye area (REA), fat thickness (FT), pH at 45 m (pH@45m) and 24 h (pH@24h) *post mortem* and temperature at 45 m *postmortem* (Temp@45m) were recorded. At Meat Quality Laboratory, *Longissimus dorsi* muscle (LM) characteristics were measured: color, shear force (SF) at three ageing times(AT = 3, 14, 56 d), total glycogen (Gly), total and insoluble collagen, sarcomere length and non-degraded troponin (3 d of ageing). Data was analyzed as a completely randomized design, with factorial arrangement 4 x 2 and SF was analyzed into a split plot design. No main factor interactions were found on REA, FT, pH@45m and pH@24h and Temp@45 m *postmortem* ( $P > 0.10$ ). Neither DIET had effects on the mentioned variables ( $P > 0.05$ ), except on FT ( $P = 0.03$ ). WEIGHT affected to pH@45m ( $p < 0.01$ ), pH@24h ( $P < 0.01$ ) and Gly ( $P < 0.01$ ); but not to Temp@45m, REA and FT ( $P > 0.05$ ). Color parameters (L, a\*, b\*) were not affected by the main effect interactions ( $P > 0.05$ ), neither by DIET ( $P > 0.05$ ). The WEIGHT generated differences on L\* ( $P < 0.01$ ), a\* ( $P < 0.01$ ) and b\*( $P < 0.01$ ); the higher values were for LIGHT. No triples and doubles interactions were found for SF ( $P > 0.05$ ), but AT and WEIGHT had effects ( $P > 0.01$ ). The SF at 3 d ( $3.92 \pm 1.06$  kgf) was not different from SF at 14 d ( $3.55 \pm 0.93$  kgf), ( $P > 0.05$ ). Both of them were higher than SF at 56 d ( $3.03 \pm 0.73$  kgf;  $P < 0.05$ ). On the other hand, SF in HEAVY ( $3.78 \pm 1.09$  kgf) was greater than in LIGHT ( $3.20 \pm 0.76$  kgf), ( $P < 0.01$ ). Meat color differences between LIGHT and HEAVY were attributed to glycogen, which was traduced on lower pH@24h for LIGHT. Shear force

differences were corresponded with higher total collagen concentration ( $P < 0.05$ ) and less troponin degradation in HEAVY ( $P = 0.06$ ). No main effect interaction or main effects were found for insoluble collagen and sarcomere length ( $P > 0.05$ ). In conclusion, energetic supplementation did not improve color and SF on meat; neither DIET effect was dependent of WEIGHT. However, HEAVY had darker color and higher SF due to higher collagen amounts and higher pH@24h. These characteristics could be due to animals' age and different pre-slaughter stressful conditions or changes in fiber metabolism.

**Key words:** meat, forage, corn grain, flaxseed, color, shear force.

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción actual de carne bovina en Argentina es de 2,7 mil toneladas, de las cuales más del 92% es destinada al consumo interno (USDA, 2015). En vistas a la creciente demanda de carne a nivel mundial, Argentina necesita incrementar la producción de carne para poder abastecer tanto el mercado interno como externo, manteniendo o mejorando la calidad con la cual ha logrado posicionarse en el mercado internacional de la carne (MAGyP, 2015).

El color de la carne es el principal atributo sensorial considerado por los consumidores al momento de decisión de compra; en tanto que la terneza representa el atributo que ejerce una mayor influencia durante el consumo de la misma (Conforth, 1994, Lusk *et al.*, 2001).

El color de la carne depende del descenso gradual del pH y de la temperatura del músculo *post mortem*, como así también del pH final alcanzado en el mismo (Abril *et al.*, 2001; Wulf *et al.*, 2002; Pösö y Puolanne, 2005). Se ha reportado que el descenso de la temperatura muscular es altamente dependiente del espesor de grasa dorsal alcanzado por el animal durante su engorde (Aalhus *et al.*, 2001), en tanto que el descenso del pH y su valor final estarían asociados a las reservas glucogénicas adquiridas en el músculo (Wulf *et al.*, 2002; Frylinck *et al.*, 2013). La carne presenta un color rojo brillante, deseado por los consumidores, cuando su pH final se encuentra alrededor del valor de 5,5; en cambio, su color es rojo oscuro a valores de pH comprendidos entre 5,8 y 6, siendo usualmente rechazada por los consumidores (Beriain y Lizaso, 1997; Priolo *et al.*, 2001); esto último se debería a una excesiva retención de agua, en la carne lo que dificulta su reflexión lumínica (Purchas *et al.*, 1999; Wulf y Page, 2000).

La terneza de la carne también se ve afectada, de manera indirecta, por el pH, la temperatura y su tasa relativa de descenso, esto se debería principalmente a que estas variables afectan la longitud de los sarcómeros y la actividad enzimática *post mortem*, ambos parámetros estrechamente relacionados con la terneza de la carne. Algunos trabajos (Bouton, 1973; Thompson, 2002) han reportado una asociación positiva entre la longitud de los sarcómeros y la terneza de la carne, por lo que el acortamiento de los sarcómeros por frío va en detrimento de la misma. El acortamiento ocurre cuando la temperatura en el músculo es inferior a 10 °C y el pH se encuentra por encima de 6; esto da como resultado sarcómeros con el 50% de su longitud normal (Huff Lonergan *et al.*, 2010) y puede estar asociado al espesor de grasa dorsal alcanzado en la res. Además, existen trabajos que asocian el acortamiento de los

sarcómeros con una menor proteólisis *post mortem* (Weaver *et al.*, 2008; Weaver *et al.*, 2009).

La degradación proteica, que comienza a los 30 minutos *post mortem* y continúa durante la maduración de la carne, aumenta la terneza mediante la disrupción de las estructuras miofibrilares. La actividad de las enzimas que intervienen en la proteólisis *post mortem* es altamente dependiente del pH final de la carne (Huff Lonergan *et al.*, 1996; Koochmaraie *et al.*, 1996; Watanabe *et al.*, 1996; Wu *et al.*, 2014). Otra variable que afecta a la terneza es el contenido de colágeno en el músculo y su composición (Purslow, 2005). A medida que aumenta la edad de los animales incrementa el colágeno total en el músculo y su fracción insoluble, lo que se asocia negativamente con la terneza (Hunsley *et al.*, 1971; Destefanis *et al.*, 2000; Therkildsen *et al.*, 2008; Archile Contreras *et al.*, 2010).

Tanto el contenido de glucógeno muscular como el nivel de engrasamiento alcanzado por el animal se encuentran estrechamente relacionados con la nutrición que reciben los animales. Al aumentar la energía de la dieta incrementa la concentración de glucógeno muscular (Immonen *et al.*, 2000) y los depósitos de grasa subcutáneos e intramusculares (Blanco *et al.*, 2010; Agastin *et al.*, 2013).

El grano de maíz es el suplemento energético más utilizado en los sistemas de producción pastoril de la Argentina; diversos estudios (García *et al.* 2008 Latimori *et al.*, 2008) han demostrado que la ganancia de peso de animales en pastoreo incrementa con el nivel de inclusión de grano de maíz en la dieta. No obstante, la utilización de este tipo de estrategias podrían impactar negativamente sobre el perfil de ácidos grasos de la carne, incrementando su relación omega-6: omega-3 y disminuyendo, por lo tanto, el valor nutricional de la carne (Chicatún *et al.*, 2006, García *et al.*, 2008; Schor *et al.*, 2008). Una manera de revertir esta situación sería el agregado de semilla de lino a la dieta de los animales suplementados con grano de maíz (Dawson *et al.*, 2010; Scholljegerdes y Kronberg, 2010; Pouzo *et al.*, 2015).

Por otra parte, la suplementación de animales en pastoreo con alimentos de elevado valor energético, como lo son el maíz y las semillas de lino, permitiría incrementar el aporte de sustratos para la gluconeogénesis y de ácidos grasos, favoreciendo la acumulación de reservas de glucógeno en el músculo y lípidos en el tejido adiposo (Lindsay, 1993; Gurr *et al.*, 2002). Cabe mencionar que el efecto de la dieta podría también depender del peso de los animales, ya que a mayor peso/edad tienden a acumular mayor cantidad de grasa en sus depósitos (Di Marco, 1998; Jurie *et al.*, 2005).

Diversos estudios han evaluado el color y la ternura de la carne de animales engordados con dietas a base de forrajes o concentrados (Realini *et al.*, 2004; Arnett *et al.*, 2012; Corazzin *et al.*, 2012; Frylink *et al.*, 2013; Albertí *et al.*, 2014). Sin embargo, la cantidad de trabajos en los que se evaluó el efecto de la suplementación en pastoreo es menor, y son escasos los estudios que han evaluado el efecto de la suplementación energética a distintos pesos/edad, o niveles de madurez, en bovinos (French *et al.*, 2000; French *et al.*, 2001; Blanco *et al.*, 2010).

A partir de lo expuesto se realizó un ensayo para evaluar en animales en pastoreo de distinto peso/edad, suplementados con grano de maíz y niveles crecientes de semilla de lino, el color y la resistencia al corte de la carne, planteándose las siguientes hipótesis

1. La suplementación energética impacta positivamente sobre el color y ternura de la carne.
2. La magnitud de la respuesta a la suplementación es dependiente del peso al inicio de la suplementación.

Para probar estas hipótesis, se plantearon los siguientes objetivos

#### Generales

Evaluar el efecto de la utilización de diferentes estrategias productivas sobre parámetros de calidad de la carne vacuna.

#### Específicos

- a) Evaluar el efecto que la suplementación con grano de maíz y la adición de niveles crecientes de semilla de lino a novillos en pastoreo tienen sobre el color, pH a los 45 minutos y a las 24 horas *post mortem*, glucógeno, longitud de sarcómeros, resistencia al corte a los 3, 14 y 56 días de maduración *post mortem*, contenido de colágeno total e insoluble y degradación proteica (Troponina T) del músculo *Longissimus dorsi*.
- b) Determinar si los efectos de la suplementación sobre los parámetros de calidad del músculo *Longissimus dorsi* dependen del estado de desarrollo de los animales.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Producción y comercialización de carne

La producción mundial de carne vacuna es de 56.884 mil toneladas (tn) (USDA, 2015). Estados Unidos lidera la producción mundial con 10.868 mil tn, siguiendo en orden de importancia, Brasil, la Unión Europea, China, India y Argentina con alrededor de 10.215, 7.475, 5.400, 4.250 y 2.850 mil tn de reses con hueso, respectivamente.

Brasil es el principal país exportador de carne vacuna, con un total de 2,03 millones; Uruguay por su parte, exporta 395.000 tn, siendo, después de Brasil, el segundo país líder dentro del Hemisferio Sur. Actualmente, Argentina ocupa el 11<sup>vo</sup> lugar como exportador mundial de carne, con un total de 280.000 tn de reses con hueso (USDA, 2015). Del total exportado por Argentina, el 70% es destinado a los mercados de Alemania, China, Chile e Israel (IPCVA, 2015).

De acuerdo al USDA (2015), se espera que la exportación de carne por parte de Argentina alcance el mayor nivel de los últimos 7 años, esta situación se presenta en un contexto donde la producción bovina ha visto reducida su superficie a causa de una importante expansión agrícola. Frente al creciente desafío de producir en cantidad y calidad, cobra mayor importancia aumentar el peso de faena para obtener más kg de carne por animal, sin afectar la calidad de la carne por la cual Argentina es reconocida mundialmente (Schor *et al.*, 2008).

### 2.2. Características de la carne

Según el Código Alimentario Argentino, la carne se define como la parte comestible de los músculos de bovinos, ovinos, porcinos y caprinos. Luego de la muerte del animal ocurren una serie de reacciones bioquímicas que hacen a la transformación del músculo en carne y están fuertemente ligadas a la calidad (Huff Longman *et al.*, 2010).

La composición química promedio del tejido muscular bovino, libre de grasa subcutánea, consiste en agua (70-73%), proteínas (20-21%), lípidos (4-8%), carbohidratos (0,5-1,5%) y cenizas (1%) (Williams, 2007; Pereira y Vicente, 2013). Si bien las carnes son muy pobres en glúcidos ó hidratos de carbono, la cantidad de glucógeno presente en el músculo ejerce un importante rol en lo que respecta a varios aspectos de calidad.

Con respecto a su valor nutricional, la carne representa una importante fuente de proteínas de elevado valor biológico, vitaminas y hierro de elevada biodisponibilidad en la dieta humana (Pereira y Vicente, 2013). Además constituye una importante fuente



de ácidos grasos de cadena larga, benéficos para la salud humana, especialmente en aquellas poblaciones donde el consumo de carne vacuna representa un alto porcentaje en la dieta como es el caso de nuestro país (Schor *et al.*, 2008; Muchenje *et al.*, 2009).

### **2.3. Parámetros de calidad de la carne**

Si bien existen varias definiciones de calidad, el aspecto que más nos interesa, objeto de nuestro estudio, es la calidad organoléptica o sensorial, la cual puede definirse como las características percibidas por los sentidos en el momento de la compra o del consumo, y que influyen en la satisfacción sensorial (Troy y Kerry, 2010). La calidad de la carne depende de la dieta de los animales y del manejo pre faena, además de las características intrínsecas de la especie y la raza (Brewer, 2010).

El color es el principal atributo de calidad que los consumidores utilizan al momento de realizar la compra ya que lo relacionan directamente con el estado de frescura y la salubridad de la carne (Smith *et al.*, 2000; Killinger *et al.*, 2004a, Troy y Kerry, 2010).

Por otra parte, la terneza, jugosidad, flavor y palatabilidad general son los principales aspectos que se relacionan con la calidad durante su consumo (Troy y Kerry, 2010); no obstante la terneza es el atributo más influyente (Lusk, *et al.*, 2001; Shackelford, *et al.*, 2001). Inclusive, distintos estudios han demostrado que los consumidores estarían dispuestos a pagar un mayor precio por carne cuya terneza esté garantizada (Bolemman *et al.*, 1997; Miller *et al.*, 2001; Killinger *et al.*, 2004b). La gran variación existente en la terneza de la carne ha sido y sigue siendo una constante preocupación por parte de la industria cárnica, quienes desean asegurar al consumidor un nivel de terneza adecuado y constante en el tiempo (Derbyshire *et al.*, 2007).

#### **2.3.1. Color de la carne**

El color provee información acerca de la calidad de la carne (Krammer, 1994; Shackelford *et al.*, 1991). El consumidor prefiere en general carne de color rojo brillante, mientras que rechaza aquella de color apagado o pardo (Beriaín y Lizaso, 1997). Si bien, en la aceptación del color influyen factores geográficos, sociales y culturales (Resurrección, 2004), la literatura indica que los valores usuales para los parámetros L\*, a\* y b\* se encuentran en el rango de 33 – 41, 11,1 - 23,6 y 6,1 - 11,3, respectivamente (Muchenje *et al.*, 2009).

### 2.3.1.1. Factores intrínsecos

Los factores intrínsecos que definen el color de la carne son la concentración y estado de la mioglobina (Mancini y Hunt, 2005), y el tipo de fibra muscular (Seidman *et al.*, 1984; Sañudo *et al.*, 2004). La mioglobina es el pigmento presente en el músculo, responsable del transporte de oxígeno, cuya concentración varía con la edad. La molécula de mioglobina está formada por un grupo prostético (hemo) y una parte proteica (globina). El grupo hemo contiene un anillo porfirínico con un átomo de hierro en su interior. En la carne, la mioglobina está presente en tres formas diferentes que se intercambian constantemente, el color de la carne está determinado por el estado que predomine en cada momento (Mancini y Hunt 2005). La deoximioglobina prevalece cuando el hierro se encuentra en su forma reducida y hay ausencia de oxígeno en el medio, dando un color rojo púrpura a la carne, como es el caso de la carne envasada al vacío. La mioglobina oxigenada u oximioglobina, de color rojo brillante, con hierro ferroso ( $Fe^{+2}$ ), se forma rápidamente después de la exposición de la deoximioglobina al oxígeno. En las carnes rojas la oximioglobina imparte el color rojo que los consumidores asocian con el estado de frescura de la carne (Troy y Kerry, 2010). Por último, la metamioglobina (mioglobina oxidada) se forma cuando el hierro se oxida debido a la exposición prolongada de la carne al oxígeno, generando una coloración rojo pardo rechazada por los consumidores (Mancini y Hunt, 2005).

Cuando aumenta la concentración de mioglobina, la carne tiene un color más oscuro (Bidner *et al.*, 1986, Muir *et al.*, 1998). Este aumento ocurre a medida que los animales avanzan en edad, ya que la mioglobina disminuye su afinidad por el oxígeno (Seidman *et al.*, 1984). En cuanto al tipo de fibras musculares, las fibras rojas son más vascularizadas y con mayor capacidad oxidativa, debido a un mayor contenido de mitocondrias, en comparación con las fibras blancas. Por poseer una mayor concentración de mioglobina, estas fibras poseen un color rojo del cual deriva su nombre; el desarrollo de las mismas se encuentra estrechamente asociado a la actividad física y el tipo de dieta del animal. Vestergaard *et al.* (2000) y Priolo *et al.* (2001) asociaron el color más oscuro de la carne al manejo extensivo (loose housed) y a las dietas basadas en forrajes, al observar mayor cantidad de fibras rojas en animales criados en esas condiciones en comparación a los alimentados en corrales con dietas basadas en concentrados. Esto se debería a la plasticidad metabólica de las fibras musculares ante cambios en la dieta o en la ejercitación muscular (Lefaucheur, 2010).

Si bien la dieta no afecta directamente el estado de la mioglobina, lo hace a través del aporte de antioxidantes. El aporte de vitaminas antioxidantes, como la vitamina E, presentes principalmente en las pasturas, son acumuladas en el tejido adiposo de los animales que las consumen, retrasando la formación de metamioglobina en la carne y evitando la decoloración temprana de la superficie expuesta al oxígeno (O'Sullivan *et al.*, 2003; Albertí *et al.*, 2005).

### **2.3.1.2. Factores extrínsecos**

Como factores extrínsecos que afectan al color de la carne se encuentran el pH final y las variaciones en la tasa relativa de descenso del pH y la temperatura *post mortem* (Abril *et al.*, 2001; Pösö y Puolanne, 2005; Wulf *et al.*, 2002).

Cuando la circulación sanguínea se detiene después de la muerte del animal, la capacidad buffer del músculo se ve reducida y los carbohidratos son el único sustrato para la síntesis de ATP. La degradación del glucógeno en condiciones anaeróbicas genera la producción de lactato y, consecuentemente, la acidificación muscular, alcanzando valores de pH de 5,5 o superiores, según sea el contenido de glucógeno (Wulf *et al.*, 2002; Daly *et al.*, 2006). La carne presenta un color normal cuando el pH final se encuentra alrededor de 5,5; en cambio, si se halla entre 5,8 y 6, presenta color oscuro debido a la excesiva retención de agua que dificulta la reflexión lumínica (Purchas *et al.*, 1999; Wulf y Page, 2000). La carne oscura es considerada de inferior calidad y es poco aceptada por parte de los consumidores, asimismo este tipo de carnes presentan una vida útil reducida ya que el pH elevado favorece el desarrollo bacteriano durante el almacenamiento (Priolo *et al.*, 2001).

Un pH final elevado se debería a que una mayor proporción del glucógeno muscular es utilizada para producir energía durante el período previo a la faena, generalmente bajo situaciones de estrés, las cuales promueven la liberación de cortisol (McVeigh *et al.*, 1982; Tadich *et al.*, 2005). Una concentración mínima de glucógeno de 45-57  $\mu\text{mol/g}$  en el momento de la faena, sería suficiente para el correcto descenso del pH (Tarrant, 1989; Vestergaard *et al.*, 2000; Daly *et al.*, 2006). Al respecto, Imonnem *et al.* (2000) observaron que se puede lograr una mayor concentración de glucógeno a través del manejo nutricional del ganado, reduciendo el riesgo de obtención de cortes oscuros causados por el estrés pre faena.

Con respecto a la relación entre el descenso del pH y la temperatura muscular, es conocido que un brusco descenso de pH inmediatamente después de la muerte del animal, cuando la temperatura de las carcasas es aún elevada, produce la

desnaturalización de las proteínas sarcoplasmáticas y miofibrilares. La desnaturalización proteica disminuye su capacidad de retención de agua y, por lo tanto, la carne presenta color pálido (Abril *et al.*, 2001), esto se conoce como carnes pálidas blandas y exudativas (PSE, por sus siglas en inglés). La palidez del color de estas carnes es medida objetivamente a través del incremento en la reflexión de la luz. La pérdida de agua intracelular permitiría una estructura más cerrada entre las miofibras, aumentando la reflexión de la luz y disminuyendo su penetración en la carne (Warris, 2000). El problema de las carnes pálidas es frecuente en cerdos, pero en Australia también se ha identificado la misma problemática en bovinos alimentados con granos (Meisinger, 1999; Warner *et al.*, 2009). La alimentación con granos rápidamente fermentables, incrementa la temperatura corporal y además permite mayor cobertura grasa que dificulta el enfriamiento post faena lo que promueve la obtención de cortes PSE (Jacob *et al.*, 2014; Warner *et al.*, 2014).

Para evitar defectos en el color (cortes oscuros o pálidos), se ha establecido que las carcasas deben enfriarse lo suficientemente rápido como para alcanzar los 10°C antes de que el pH muscular llegue a un valor de 6. (Meisinger, 1999; Kim *et al.*, 2014; Warner *et al.*, 2014).

### **2.3.2. Terneza de la carne**

El término terneza se refiere a la facilidad o dificultad con la que la carne puede ser cortada. Si bien es una cualidad sensorial y su determinación sería más apropiada mediante la evaluación sensorial, los investigadores han buscado medirla de manera objetiva (Warris, 2000). La terneza, evaluada por los consumidores, está asociada negativamente con la resistencia al corte, evaluada mediante el uso de la cizalla Warner Bratzler (Otremba *et al.*, 1999; Destefanis *et al.*, 2008). Por lo tanto, existen valores de resistencia al corte relacionados con la terneza y aceptabilidad por parte del consumidor. En términos generales, la carne es considerada tierna cuando los valores de resistencia al corte son inferiores a 3,0 pero no superan los 4,3 kgf; cuando los valores superan los 4,9 kgf es considerada levemente dura (Miller *et al.*, 2001; Destefanis *et al.*, 2008).

Desde el punto de vista físico, la terneza es dependiente de la matriz extracelular dada por el tejido conectivo, la estructura del citoesqueleto de la fibra muscular y la actividad proteolítica endógena. Sin embargo, la disponibilidad de metabolitos intracelulares, específicamente glucógeno, y la temperatura *post mortem* son factores que deben ser considerados; los mismos están asociados a la alteración de la

estructura del citoesqueleto, en particular la de los sarcómeros, y a la actividad proteolítica *post mortem* (Tatum *et al.*, 1982; Thompson, 2002, Huff Lonergan *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2014). De hecho, actualmente se considera que la interacción entre estos factores es el componente crítico en la definición de la ternura de la carne (Huff Lonergan *et al.*, 2010).

### **2.3.2.1. Tejido conectivo**

El tejido conectivo en su conjunto se encuentra formado por el epimisio (tejido que rodea cada músculo), el perimisio (tejido que rodea cada haz de fibras musculares) y el endomisio (tejido que rodea cada fibra muscular). Su composición consta principalmente de fibras proteicas de colágeno y elastina, rodeadas por una matriz de proteoglicanos. El contenido total de colágeno en distintos músculos del bovino puede variar del 1 al 15% de la materia seca; en tanto que la elastina se presenta en menor proporción variando del 0,6 al 3,7% de la materia seca de la carne (Bendall, 1967). El colágeno se compone de subunidades denominadas tropocolágeno que tienen un alto contenido de aminoácidos glicina, prolina e hidroxiprolina. Las moléculas de tropocolágeno están alineadas en paralelo, y se mantienen unidas por enlaces intermoleculares covalentes cruzados que le brindan termoestabilidad. Estos enlaces se incrementan a medida que avanza la edad de los animales, disminuyendo la solubilidad del colágeno (Etherington y Sims, 1981). Por lo tanto, la contribución del colágeno sobre la ternura se estima teniendo en cuenta su concentración total en la carne y cuánto del mismo se encuentra como fracción insoluble. Además, debe tenerse en cuenta que los músculos varían su contenido en colágeno, dependiendo de las funciones que cumplan (Pette y Staron, 1990; Sentandreu *et al.*, 2002). Otros factores que influyen en el contenido y composición del colágeno son la tasa de crecimiento del animal y el manejo nutricional (Therkildsen *et al.*, 2008; Archile Contreras *et al.*, 2010).

Existe una gran cantidad de información sobre las relaciones entre las características del tejido conectivo y su efecto sobre la ternura, que ha conducido a conclusiones contradictorias. Las contradicciones, por lo general, se deben al tipo de músculo evaluado y el modo de cocción de la carne, que modifican la estructura del tejido conectivo (Lepetit, 2008; Archile Contreras *et al.*, 2010). La contracción del tejido conectivo durante la cocción, influye sobre la ternura. Según Lepetit (2007) y Lepetit (2008), cuando las fibras de colágeno se acortan con la temperatura comprimen a las fibras musculares, lo que genera la disminución de la ternura. Li *et al.* (2010)

observaron que los cambios causados por la temperatura afectan tanto al endomisio como al perimisio, pero es este último el que más contribuye en la disminución de la terneza durante la cocción. El endomisio se desnaturaliza parcialmente a los 55°C, y totalmente a 60°C, en cambio el perimisio comienza a desintegrarse recién a los 75°C (Li *et al.*, 2010). La mayoría de los estudios de resistencia al corte utilizan una temperatura de cocción interna de 71°C, la cual es inferior a la temperatura que desintegra al perimisio.

La cantidad total de colágeno contribuye significativamente sobre las variaciones de terneza de la carne cruda, explicando entre el 52 y 90% de la misma (Dransfield *et al.*, 2003), y predice mejor a la terneza cuando su contenido en el músculo es elevado (Parrish *et al.*, 1962). En cambio, tiene poco efecto sobre la carne cocida, en la cual explica entre el 0,04 y 4% de la variación en la terneza, probablemente debido a los cambios que genera el calor sobre las miofibras y fibras de colágeno (Campo *et al.*, 2000; Dransfield *et al.*, 2003). Varios autores (Destefanis *et al.*, 2000; Torrecano *et al.*, 2003 y Rhee *et al.*, 2004) han reportado una relación negativa entre la cantidad de colágeno y la terneza en el músculo *Longissimus dorsi*.

### **2.3.2.2. Longitud de los sarcómeros**

Como es conocido, el sarcómero constituye la unidad anatómica y funcional del músculo esquelético. Se encuentra delimitado por discos Z y conformado por los filamentos finos de actina y gruesos de miosina, dispuestos longitudinalmente en miofibrillas. Existen a su vez, otras proteínas que componen a los sarcómeros y se encuentran involucradas en el proceso de contracción muscular, como ser la titina, nebulina, troponina, filamina y desmina (Huff Lonergan *et al.*, 2010).

La asociación entre la longitud de los sarcómeros y la terneza surge a partir de los estudios de Herring *et al.* (1965), Bouton *et al.* (1973) y Marsh y Carse (1974). En estos trabajos se observó que la carne cuyos sarcómeros eran más largos, presentaba menor fuerza de corte o mayor terneza. Bouton *et al.* (1973) encontraron que la fuerza de corte decrecía exponencialmente en la medida en que la longitud de los sarcómeros incrementaba. Estos autores también observaron que la relación entre la fuerza de corte y la longitud de los sarcómeros era mayor cuando los mismos medían menos de 2  $\mu\text{m}$ . Los sarcómeros pueden medir hasta 2,57  $\mu\text{m}$  cuando se evita la contracción o se extiende al músculo antes del rigor; mientras que en su estado de máxima contracción los mismos pueden medir 1,4  $\mu\text{m}$  (Weaver *et al.*, 2008). Un mínimo grado de acortamiento (10% de su longitud en estado de relajación) ocurre

cuando el músculo pre rigor, queda expuesto a temperaturas que oscilan entre los 14 y los 20°C. En cambio, cuando el rango de temperaturas pre rigor es de 0 a 10°C, el acortamiento de los sarcómeros es excesivo, dando como resultado sarcómeros con el 50% de su longitud normal. Este fenómeno es denominado *cold shortening* y está relacionado con la obtención de carnes duras (Huff Lonergan *et al.*, 2010). El acortamiento por frío puede explicarse mediante la inactivación generada por el frío sobre las bombas de calcio presentes en la membrana de retículo sarcoplásmico. Las bombas ejercen el control químico de la contracción muscular a través de la liberación/secuestro de iones calcio al medio celular. Durante la relajación fisiológica del músculo, dichas bombas ingresan los iones de calcio dentro del retículo. Cuando, debido al frío su función se detiene. Los iones de calcio liberados en el citoplasma activan la contracción muscular y no reingresan al retículo, generando así la contracción permanente del músculo (Honikel y Hamm, 1977; Melody *et al.*, 2004). La tasa/velocidad de descenso de la temperatura en el músculo, sobre todo en aquellos más externos como el *Longissimus dorsi*, está relacionado con la cobertura de grasa de la carcasa. Un espesor de grasa dorsal de al menos 6,2 mm evitaría el descenso brusco de temperatura en las carcasas calientes, impidiendo así la ocurrencia del fenómeno de *cold shortening* (Savell *et al.*, 2005). A pesar del riesgo que supone la exposición de las carcasas calientes a bajas temperaturas, el enfriamiento rápido es aplicado para reducir las pérdidas de peso y la proliferación microbiológica (James y Bailey, 1986).

Por otra parte, en carnes donde el pH desciende rápidamente mientras la temperatura se encuentra aún en el rango de los 20 a 40°C, puede presentar sarcómeros con un acortamiento del 30% (Huff Lonergan *et al.*, 2010). Este tipo de acortamiento se denomina *hot shortening*; es menos común y menos severo que el causado por frío. Este fenómeno ocurre en bovinos cuando las carcasas son sobreestimuladas con el fin de generar un rápido descenso del pH mediante la glucólisis (Thompson, 2002; Kim *et al.*, 2014). Ante esta situación, donde el ATP se encuentra en bajas concentraciones, los sarcómeros se contraen pero no totalmente (Huff Lonergan *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2014).

### **2.3.2.3. Maduración (proteólisis)**

La maduración es el proceso mediante el cual la carne incrementa su ternura cuando es almacenada en determinadas condiciones de tiempo y temperatura (Koochmaraie *et al.*, 1996). Durante dicho proceso se favorece la proteólisis miofibrilar,

hecho que mejora notablemente la terneza de la carne sin que ocurran cambios en la longitud de los sarcómeros (Koohmaraie *et al.*, 1996). En esta etapa hay fragmentación de los miofilamentos producida por enzimas proteolíticas intracelulares e intralisosómicas. La m-calpaína y la  $\mu$ -calpaína son proteasas intracelulares calcio-dependientes que difieren en su sensibilidad ante la presencia de estos iones. Las proteasas están reguladas por su inhibidor natural, la calpastatina (Soria *et al.*, 2004; Geesink *et al.*, 2006). Asimismo, las catepsinas son proteasas, que al romperse las membranas lisosomales luego de la caída del pH, son liberadas al citoplasma y a los espacios intercelulares (Cheret *et al.*, 2007).

La actividad proteolítica de las enzimas es afectada por el pH final de la carne y el tiempo de maduración de la misma (Huff Lonergan *et al.*, 1996; Koohmaraie *et al.*, 1996; Wu *et al.*, 2014). La proteólisis puede estimarse mediante la cuantificación de la fracción intacta y degradada de distintas proteínas como ser la titina, nebulina, troponina T, filamina, nebulina y miosina (Huff Lonergan *et al.*, 1996, Huff Lonergan *et al.*, 2010; Lomiwes *et al.*, 2014). Las enzimas que intervienen en el proceso nombrado anteriormente tienen mayor actividad cuando el pH final de la carne es mayor a 6,2, o menor a 5,79. Por lo tanto, entre estos valores de pH el tiernizado sería superior al que ocurriría con valores intermedios de pH (Watanabe *et al.*, 1996; Purchas *et al.*, 1999).

Según Chret *et al.* (2007), en el músculo bovino las calpaínas y catepsinas podrían actuar de manera sinérgica principalmente a las pocas horas *post mortem*, ya que el pH sería adecuado sobre todo para la actividad de las enzimas intralisosómicas. Si bien el tiempo de maduración aumenta el tiernizado de la carne, se ha observado que la actividad de la  $\mu$ -calpaína, principal enzima implicada en el proceso de tiernizado, disminuye a medida que aumenta el tiempo transcurrido desde la faena. Algunos estudios indican que la actividad de la  $\mu$ -calpaína disminuiría al 4% de la inicial a los 7 días *post mortem* (Dutson, 1983; Lomiwes *et al.*, 2014). Sin embargo, Lomiwes *et al.* (2014) demostraron que cierta actividad proteolítica se mantiene a los 28 días *post mortem*. Por otra parte, Huff Lonergan *et al.* (1996), utilizando la técnica de SDS-PAGE- Western blott, visualizaron fragmentos de 1.200 kDa, cuyo peso molecular corresponde a la mitad del peso molecular del producto de degradación de la titina y de la desmina no degradada a los 56 días *post mortem*, lo que permitiría suponer que hasta ese tiempo hay degradación proteica, aunque ésta sea mínima.

La disminución de la actividad proteolítica ocurre mediante la autólisis de las calpaínas, con una consecuente disminución de su masa (Goll *et al.*, 1992). La autólisis



también disminuye el calcio necesario para la actividad de estas enzimas en condiciones *post mortem*.

#### **2.4. Nutrición y calidad de la carne**

El principal factor para asegurar la producción de carne de buena calidad, referida a color y terneza, es mantener o lograr un adecuado nivel de glucógeno muscular al momento de la faena (Gardner *et al.*, 2001; Pösö y Puolanne, 2005; Ferguson *et al.*, 2008). Si el nivel de glucógeno almacenado en el músculo no es suficiente para generar adecuados niveles de ácido láctico y descenso del pH, tanto el color como la terneza se verán afectados de manera negativa (Watanabe *et al.*, 1996; Purchas *et al.*, 1999; Wulf *et al.*, 2002; Huff Lonergan *et al.*, 2010). La nutrición o dieta que recibe el animal impacta directamente en el nivel de glucógeno almacenado en el músculo y, por lo tanto, en la calidad final de la carne obtenida (Immonen *et al.*, 2000, Gardner *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2014).

Se ha reportado que animales terminados en dietas basadas en forrajes contienen un nivel basal de glucógeno muscular un 30% menor en comparación con el obtenido en animales terminados con granos como el maíz o cebada (Gardner *et al.*, 2001).

En Argentina, una práctica común durante el engorde de novillos es la suplementación con grano de maíz como fuente energética, o ensilaje de planta entera de maíz como fuente de energía y fibra (Kloster *et al.*, 2003; Chicatún *et al.*, 2006). Los aceites vegetales (maíz, palma, soja) y las semillas de oleaginosas también pueden ser incluidas en la dieta de los rumiantes como fuentes energéticas, observándose mejoras en la respuesta productiva de los animales cuando la dieta es fibrosa (Pavan *et al.*, 2007; Dawson *et al.*, 2010; Scholljegerdes y Kronberg, 2010; Pouzo *et al.*, 2015).

Debido a la capacidad fermentativa del tracto digestivo de los rumiantes, los componentes dietarios son transformados en ácidos grasos volátiles (acético, propiónico y butírico), cuyas concentraciones dependen de la composición de la dieta; o son utilizados para el crecimiento microbiano (France y Dijkstra, 2005). Los bovinos absorben muy poca cantidad de carbohidratos dietarios, incluso cuando su alimentación sea con dietas ricas en almidón. Se calcula que la absorción de glucosa en el intestino puede representar sólo el 30% del total de la glucosa utilizada por el animal (Brockman, 1993). Para suplir la baja absorción, la glucosa es sintetizada en el hígado a partir de precursores gluconeogénicos. Estudios realizados con metabolitos marcados han permitido estimar que del 90% de la glucosa neosintetizada, aproximadamente el 73% proviene del ácido propiónico, el 13% del ácido láctico, el

12% de los aminoácidos potencialmente glucogénicos (glicina y serina), y lo restante del glicerol (Lindsay, 1993). La inclusión de maíz como suplemento aumenta la producción de ácido propiónico, aumentando la gluconeogénesis, que es sustrato dependiente, y por lo tanto la disponibilidad de glucosa en la sangre (Lindsay, 1993). De la glucosa sanguínea transportada, el músculo extrae el 3% y la almacena como glucógeno (Brockman, 1993).

Los lípidos, específicamente los triacilgliceroles (TG), incorporados con la dieta pueden utilizarse como fuente de energía mediante la oxidación de los ácidos grasos, o almacenarse como TG en el tejido adiposo. La vía metabólica que sigan dependerá de la regulación hormonal establecida para mantener la homeostasis energética (Pethick *et al.*, 2004). Dentro de los procesos bioquímicos para la liberación de energía se encuentra la  $\beta$ -oxidación de los ácidos grasos que forman los TG pero sólo el glicerol puede ser utilizado en la gluconeogénesis (Gurr *et al.*, 2002; Pethick *et al.*, 2004; Hess *et al.*, 2008). Cuando las dietas incluyen fuentes lipídicas como suplemento concentrado en energía, se ha observado que los animales en crecimiento tienden a incrementar los depósitos de grasa corporal a partir de ácidos grasos provenientes directamente de la dieta (Andrae *et al.*, 2001). Asimismo, un incremento de ácidos grasos en plasma podría disminuir el catabolismo de la glucosa a través de la secreción de insulina, generando una mayor capacidad de almacenamiento de glucosa en tejido muscular y hepático (Chillard, 1993).

La carne de vacunos terminados con dietas pastoriles, es en su mayoría de color más oscuro (Priolo *et al.*, 2001; Bruce *et al.*, 2004). Mancini y Hunt (2005), en una revisión acerca del color de la carne, indicaron que las dietas afectan el color al modificar la concentración de glucógeno. Según Immonen *et al.* (2000), una dieta de elevada energía disminuye la depleción de glucógeno ante situaciones de estrés; además aumenta la tasa de recuperación pos estrés durante las primeras 72 horas (Gardner *et al.*, 2001). En este mismo sentido, Muchenje *et al.* (2009) indicaron que la carne de animales provenientes de dietas pastoriles *versus* animales alimentados con granos, presentan carne más oscura atribuible a la menor concentración de glucógeno muscular y mayor pH final de la carne.

La nutrición animal también podría influir sobre el tipo de fibras musculares, el contenido de colágeno y su solubilidad. Sami *et al.* (2004) y Thénard *et al.* (2006) evaluaron la influencia de la dieta sobre la terneza de la carne, resaltando la importancia del estado nutricional previo a la faena. Diversos autores (Miller *et al.*, 1987; Cranwell *et al.*, 1996; Schnell *et al.*, 1997; Archile Contreras *et al.*, 2010)

observaron que las dietas con elevada energía generan una disminución en la cantidad total de colágeno. En otros estudios la cantidad de colágeno total no se vio afectada por la dieta (Cox *et al.*, 2006; Serrano *et al.*, 2007). Las dietas concentradas en energía, en comparación con dietas pastoriles, o la suplementación energética en dietas basadas en pasturas, generan un incremento de la fracción soluble del colágeno (Miller *et al.*, 1987; Cranwell *et al.*, 1996; Silva *et al.*, 2010). El aumento de la cantidad de colágeno soluble reportada en animales que reciben más energía dietaria se debería al incremento en la tasa de crecimiento, que va acompañada por un incremento en el catabolismo y síntesis de nuevas fibras de colágeno. Estas últimas, al estar menos polimerizadas hacen que el colágeno sea más soluble (McCormick, 1994; Sylvestre *et al.*, 2002). Al aumentar la solubilidad, la ternura de la carne es mayor (Maltín *et al.*, 2003).

Si bien no se encontraron trabajos que hayan evaluado el efecto de la concentración energética de la dieta, o del tipo de dieta, sobre la longitud de los sarcómeros, esta variable se encuentra asociada a las tasas de descenso del pH y la temperatura, como se describió en la sección 2.1.2.2. Cuanto mayor es la concentración de glucógeno más rápido es el descenso del pH (Daly *et al.*, 2006). En consecuencia, los animales en pastoreo con menor glucógeno muscular no sólo presentarían mayor riesgo de generar carnes duras por el mayor pH final, sino por un descenso del pH más lento y un enfriamiento más rápido de las reses atribuible a la menor cobertura grasa. La combinación de los factores anteriormente nombrados favorecería el *cold shortening*. Esta última puede ser inferior a la requerida para evitar el acortamiento de los sarcómeros cuando los animales son faenados a igual edad o peso y son alimentados con dietas a base de forrajes (Agastin *et al.*, 2013).

Finalmente, como ha sido mencionado, la proteólisis *post mortem* es dependiente del pH final de la carne, por lo que los factores dietarios que afecten a la concentración de glucógeno en músculo, también podría tener repercusión sobre la actividad enzimática.

## **2.5. Peso/ edad del animal y calidad de la carne**

El crecimiento implica un incremento en el tamaño del animal en el tiempo. Esta relación puede ser medida en términos de peso vivo del animal o de sus órganos y tejidos (Gill y Oldham, 1993).

Como fue previamente mencionado, el contenido de colágeno aumenta con la edad; hecho que fue observado por Jurie *et al.* (2005) en tres músculos del bovino

(*Longissimus thoracis*, *Semitendinosus* y *Triceps brachii*). En adición, también hay evidencias que indican que animales más maduros tienden a presentar más cantidad de colágeno insoluble, debido a la creciente formación de enlaces covalentes entre las fibras de colágeno (Jurie *et al.*, 2005; Schönfeldt y Srydom, 2011). Sin embargo, además de la edad del animal a la faena, también habría que considerar su tasa de ganancia de peso previo a la misma. La hipertrofia muscular que ocurre durante el aumento de peso genera el incremento de miofibrillas musculares provocando un efecto de dilución del contenido de colágeno que favorece a la ternura de la carne (McCormick, 1994; Archile Contreras *et al.* 2010).

Durante el crecimiento del animal, el tejido muscular tiene un desarrollo más rápido respecto al tejido adiposo, pero la relación entre la deposición de grasa y proteína de la res dependerá de la edad del animal al momento de la faena (Blaxter *et al.*, 1966; Martin *et al.*, 1971; Grill y Oldham, 1993). En la medida que aumenta el peso, la energía consumida se retiene en forma de grasa, por lo que la ganancia diaria de peso disminuye (Di Marco, 1998; NRC, 2000; Jurie *et al.*, 2005). El aumento de la deposición de grasa es evidenciada en el engrasamiento general de la carcasa, el espesor de grasa dorsal y el nivel de grasa intramuscular (Wood *et al.*, 2008).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Descripción del proceso de generación de muestras

##### 3.1.1. Ensayo a campo

Las muestras de carne utilizadas en este trabajo provinieron de un ensayo a campo llevado a cabo en la Reserva 7 de la EEA INTA Balcarce durante un ciclo de invernada. En el mismo se utilizaron 48 novillos Aberdeen Angus, los que se asignaron al azar a ocho tratamientos con arreglo factorial, producto de la combinación de cuatro dietas y dos niveles de PESO/edad de los animales.

Los tratamientos dietarios se definieron por el nivel de semilla entera de lino agregada al grano de maíz con el cual se suplementaron durante los últimos 70 días de engorde a los animales que consumían una dieta pastoril. El grano de maíz se suministró al 0,7% del peso vivo (PV) de los animales y al mismo se le adicionó semilla de lino al 0% (LINO-0), 0,125% (LINO-1) o 0,25% del PV (LINO-2). El cuarto tratamiento dietario correspondió al control negativo (CTRL), es decir, los animales que no recibieron grano de maíz ni semilla de lino como suplemento. Cabe mencionar que en los cuatro tratamientos dietarios los animales recibieron 0,5 kg de afrechillo de trigo, el cual fue utilizado como vehículo de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  debido a que en el ensayo a campo se midió el consumo en pastoreo. La incorporación de la semilla de lino como suplemento tuvo un doble propósito, evaluar su efecto sobre el color y terneza objeto del presente estudio y sobre la calidad nutricional de la carne (Pouzo *et al.*, 2015), ya que este suplemento es una fuente rica en energía y ácido linolénico (omega-3), de reconocidos beneficios para la salud humana.

El nivel de PESO de los animales se definió en base al peso vivo medio al inicio de la suplementación. El primer grupo (n=24) comenzó a ser suplementado cuando el peso medio de los animales alcanzó los 350 kg (LIVIANO) y el segundo (n=24), los 450 kg (PESADO).

Los animales durante la recría y terminación pastorearon raigrás anual (*Lolium multiflorum*) en franjas diarias. Durante los 70 días de suplementación el pastoreo continuó siendo rotativo y grupal, pero la suplementación tanto de afrechillo como de maíz y/o lino se realizó de manera individual. Para más detalles véase Pouzo *et al.* (2015).

### 3.1.2. Faena

Al finalizar los 70 días de suplementación los animales fueron faenados en un frigorífico comercial distante 200 km del campo experimental. A las 15:00 horas del día anterior al envío al frigorífico, los animales fueron encerrados con acceso a agua fresca pero sin alimento. Los animales correspondientes a LIVIANO se faenaron a la mañana siguiente de su arribo al frigorífico, permaneciendo hasta entonces en los corrales de espera con acceso a agua fresca; en cambio los animales correspondientes a PESADO, por cuestiones ajenas al trabajo experimental, permanecieron dos noches en los corrales de espera del frigorífico también con agua fresca, antes de ser faenados. Para el sacrificio, los animales fueron aturdidos y luego desangrados.

### 3.1.3. Determinaciones durante y pos-faena, toma y acondicionamiento de muestras

Durante la faena se tomó el peso de la media res caliente (PCC). A los 45 minutos y a las 24 horas del noqueo se determinó el pH (pH@45m y pH@24h, respectivamente), y la temperatura a los 45 minutos *post mortem* (Temp@45m). Ambas determinaciones se realizaron en el músculo *Longissimus dorsi* (ML) de la media res izquierda, entre la 12<sup>a</sup> y 13<sup>a</sup> costilla con un peachímetro y termómetro portátil (Sper Scientific mod. 850081).

A las 24 horas post faena, se obtuvieron muestras del ML del lado izquierdo de cada carcasa. Para ello se realizaron dos cortes perpendiculares al eje axial, el primero entre la 8<sup>a</sup>-9<sup>a</sup> costilla y el restante a la altura de la 12<sup>a</sup>-13<sup>a</sup> costilla. Las muestras fueron trasladadas en conservadoras refrigeradas desde el frigorífico hasta el laboratorio de Calidad de Carnes de la EEA Balcarce, donde se continuó con el acondicionamiento.

De cada bloque de carcasa se separó el ML, del cual se obtuvieron las siguientes muestras (bifes) en sentido caudal a craneal: un bife de 2,5 cm de espesor para determinación glucosa, lactato y la cuantificación de colágeno; dos bifes de 0,5 cm de espesor, el primero para la determinación de la longitud de los sarcómeros y el segundo para la determinación de troponina T no degradada (TnT) después de 3 días de maduración; y cuatro bifes de 2,5 cm de espesor, el primero de ellos para el análisis proximal, y los tres restantes para la determinación de la resistencia al corte. Estos últimos tres bifes se asignaron al azar a uno de tres tiempos de maduración (TM 3, 14 y 56 días). Todos los bifes se envasaron al vacío con envasadora Multivac (mod.

C200) a 5 mbar de presión y se almacenaron a -20°C después de haber completado el período de maduración correspondiente, a 4°C. Las muestras que no requerían maduración (PG, colágeno y longitud de sarcómeros) se almacenaron a -20 °C inmediatamente después del envasado.

### **3.2. Determinaciones en el laboratorio**

#### **3.2.1. Espesor de grasa dorsal (EGD) y área de ojo de bife (AOB)**

En la cara caudal del ML, entre la 12<sup>a</sup> y 13<sup>a</sup> costilla, sobre la grasa que recubre externamente al músculo, en el tercer tercio contabilizado desde el raquis, se determinó el espesor de grasa subcutánea con un calibre Starrent 125 MEA y el área de ojo de bife, calcando sobre una hoja de acetato transparente que luego se digitalizó. Posteriormente, sobre la imagen digital se determinó el área mediante el software APS-AssesInk. (University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canadá, 2002).

#### **3.2.2. Parámetros colorimétricos**

Los parámetros colorimétricos se determinaron sobre la cara caudal del ML, usando un colorímetro Minolta CR-310 (Minolta Corp., Ramsey, NJ.) con el iluminante D65, una apertura de 8mm y un ángulo de observación de 10°. El equipo fue calibrado con una placa blanca ( $Y = 93.9$ ,  $x = 0.3159$ ,  $y = 0.3320$ ). El sistema utilizado fue el CIE Lab, que proporciona tres componentes del color:  $L^*$  (lightness, 0 = negro, 100 = blanco),  $a^*$  (redness,  $-a^*$  = verde,  $+a^*$  = rojo) y  $b^*$  (yellowness,  $-b^*$  = azul,  $+b^*$  = amarillo). La medición fue realizada a las 24 horas *post mortem*, por sextuplicado, luego de 30 minutos de *blooming*.

#### **3.2.3. Resistencia al corte**

Para la determinación de la resistencia al corte (RC) se realizaron seis tandas de cocción siguiendo el procedimiento de AMSA (1995). En cada tanda estuvieron representadas cada una de las 24 combinaciones de tratamientos (4 tratamientos dietarios x 2 tratamientos de peso x 3 tiempos de maduración).

El procedimiento de cocción seguido fue el siguiente: los bifes se descongelaron durante 12 horas a 4°C y se cocinaron en parrillas precalentadas Farberware Open Hearth (Farberware, Bronx, Nueva York). Durante la cocción la temperatura interna de cada bife se controló usando un termómetro digital multiscan (Scanning Termómetro, Digi-Sense, Cole Palmer) y termocuplas (Type T. Industrial Temperature Sensors Ltd.)

ubicadas en el centro geométrico del bife. Estos se cocinaron de uno de los lados hasta que la temperatura interna alcanzó 35°C, y luego se cocinaron del otro lado hasta los 71°C de temperatura interna. Una vez retirados de la parrilla, los bifes se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 1 hora y luego se enfriaron en cámara a 4°C durante 1 hora más, registrándose la temperatura de los bifes fríos con un termómetro portátil (Sper Scientific mod. 850081).

Para medir la resistencia al corte se obtuvieron seis cilindros de 1,27 cm de diámetro, extraídos de forma paralela a la orientación de las fibras musculares de cada bife. Cada cilindro se cortó una vez con una cizalla Warner-Bratzler (Warner Bratzler meat shear, G-R Manufacturing CO., Manhattan, KS, US). La resistencia al corte se expresó en kilogramos fuerza (kgf) como el promedio de las seis determinaciones por bife.

### **3.2.4. Contenido de colágeno muscular**

#### **3.2.4.1. Colágeno total**

Para determinar colágeno total, 4 g de carne fresca se homogeneizaron en una solución buffer. El homogenato primero se sometió a hidrólisis térmica en baño húmedo a 77 °C y luego a una hidrólisis ácida, mediante la adición de HCl 5N e incubación a 110 °C durante 12 horas. El sobrenadante se filtró y neutralizó, para luego determinar la concentración de hidroxiprolina (OH-Prol; aminoácido utilizado para la estimación del colágeno) mediante colorimetría. Brevemente, la reacción colorimétrica se realizó mezclando 500 µL del hidrolizado con 1000 µl alcohol isopropílico y 1000 µl de Cloramina T. Luego, 1000 µl dedimetilamino-benzaldehído suspendido en ácido perclórico (Reactivo de Erlich) se adicionaron a la reacción. La absorbancia de la reacción se leyó con un espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific. mod. Génesis 10 S. madison Wi. USA) y se comparó contra una curva de calibración realizada con OH-Prol (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO). La concentración total de colágeno se calculó usando el factor de conversión 7,25 para estimar el colágeno a partir de la concentración de OH-Prol (Silva *et al.*, 2010). El colágeno total se expresó como mg de colágeno por g de tejido fresco.



#### **3.2.4.2. Colágeno insoluble y soluble**

Para determinar la concentración de colágeno insoluble, 4 g de carne fresca se homogeneizaron en una solución buffer y luego se sometieron a hidrólisis térmica a 77 °C durante 70 minutos. A continuación, el homogenato hidrolizado se centrifugó y se descartó el sobrenadante que contenía la fracción soluble. El sedimento se hidrolizó con HCl 5N a 110 °C durante 12 horas y luego se filtró y neutralizó para determinar la concentración de OH-Prol. La reacción colorimétrica fue la misma que la utilizada para la determinación del colágeno total.

El colágeno soluble se determinó como la diferencia entre el colágeno total y el insoluble.

#### **3.2.5. Longitud de los sarcómeros**

El largo de los sarcómeros se determinó con un láser de difracción (CVI Melles Griot. Serie 7822 FH-1) de acuerdo con los procedimientos detallados por Cross *et al.* (1981). Para ello, 3 g de tejido muscular se homogeneizaron en 20 ml de solución 0,25 M de sacarosa a 4 °C durante 15 segundos con un dispersor (CAT x 120, Alemania). Una gota del tejido en suspensión se colocó en un portaobjetos y se cubrió con un cubreobjetos. Sobre el preparado se hizo incidir la luz del láser y se midió la distancia entre el centro de incidencia lumínica y las líneas nítidas observadas después que la luz atravesara el portaobjetos. Se midieron 20 sarcómeros por muestra y se calculó la longitud de los mismos mediante la fórmula indicada por Cross *et al.* (1981), utilizando la distancia de 100 mm entre el portaobjetos y la superficie de lectura.

#### **3.2.6. Glucógeno total**

Para la estimación del glucógeno total (Glu) se utilizaron las concentraciones de glucógeno residual y lactato muscular obtenidos en muestras tomadas a las 24 horas *post mortem* (ver sección 3.2.6.1. y 3.2.6.2). El Glu se calculó como la suma de la concentración de glucosa más la de lactato. Este último se dividió por dos, teniendo en cuenta que en condiciones anaeróbicas se obtienen dos moléculas de lactato a partir de una molécula de glucosa

### 3.2.6.1. Glucógeno residual

El glucógeno remanente en el músculo se extrajo luego de homogeneizar 1,5 g de músculo con HCl 2N. Luego de 45 minutos de hidrólisis ácida a 4°C, las muestras se centrifugaron, el sobrenadante se filtró y se incubó a 100 °C en un baño térmico húmedo, y se neutralizó con NaOH.

La glucosa se determinó por colorimetría utilizando un espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific. mod. Génesis 10 S. madison Wi. USA) y el kit comercial de Wiener Lab (GOD/POD). El contenido de glucógeno se expresó como  $\mu\text{mol}$  de glucosa por g de carne fresca. La glucosa cuantificada incluye glucosa libre, glucosa producto de la hidrólisis del glucógeno y glucosa-6-fosfato (Pighin *et al.*, 2013).

### 3.2.6.2. Lactato muscular

El lactato se determinó siguiendo la técnica descrita por Neath *et al.* (2007), con modificaciones. Se homogeneizaron 3 g de carne fresca en una solución de ácido perclórico 1,5 N, las que permanecieron durante 5 minutos a 4°C. Luego se adicionaron 5 ml de agua destilada a 90 °C, se mantuvieron a esa temperatura durante 2 minutos para, finalmente, ser incubadas a 4°C durante 45 minutos y filtradas. El sobrenadante se neutralizó con NaOH. El lactato se determinó por colorimetría con un espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific. Mod Génesis 10 S. madison Wi. USA) usando un kit Randox LAC (Randox Laboratories Ltd, Crumlin, Co. Antrim, UK). La concentración de lactato se expresó como  $\mu\text{mol}$  de lactato por g de carne fresca

### 3.2.7. Troponina T no degradada (TnT)

Las muestras de carne maduradas durante 3 días se utilizaron para determinar la proporción de troponina T no degradada (TnT). La proteína muscular se extrajo a partir de 0,4 g de carne fresca, siguiendo el procedimiento descrito por Huff Lonergan *et al.* (1996). La concentración proteica en el extracto se determinó usando Microplate Spectrophotometer equipado con un lector tipo Epoch (N° 257878; Biotek).

Para separar la fracción intacta de la troponina de la fracción degradada, las muestras se sembraron en geles de 5% (p/v) de poliacrilamida en el gel de apilamiento y 12% (p/v) de poliacrilamida en el gel de separación (Bio Rad). En cada calle se colocaron 30  $\mu\text{g}$  de proteína contenidos en 10  $\mu\text{l}$  de solución. Luego de la electroforesis las proteínas se transfirieron a una membrana de PVDF (polifluoruro de vinilideno. N° 55518; Thermo Scientific). A continuación, las membranas se bloquearon con una solución de leche descremada al 5% (p/v) disuelta en solución salina

bufferada y 0,1% (v/v) de Tween 20 (solución PBS Tween), durante 1 hora. Luego, las membranas se incubaron a 4°C durante 12 horas con el anticuerpo primario anti troponina (Sigma, St. Louis, MO). Después de eliminar el anticuerpo primario, las membranas se expusieron durante 1 hora a temperatura ambiente con el anticuerpo secundario conjugado con peroxidasa de rábano (anti-mouse IgG, Sigma). Ambos anticuerpos se utilizaron en una concentración 1:7000, utilizando como diluyente la solución de PBS Tween. Las bandas se detectaron mediante quimioluminiscencia luego de exponer a la membrana durante 5 minutos a los sustratos (Pierce Super Signal Substrate; Pierce, Rockford, IL). Para la cuantificación de la intensidad de las bandas, se utilizó el equipo Image Quant 400 digital analysis.

Para normalizar las corridas se utilizó una muestra control que había sido sembrada en todos los geles, y a partir de ella se calculó el índice de TnT como la razón entre la troponina T no degradada de cada muestra y la troponina T no degradada de la muestra control (Lucero Borja *et al.*, 2014).

### **3.3. Diseño y análisis estadístico**

Los datos se analizaron bajo un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 4 x 2: el factor dieta con cuatro niveles (CTRL, LINO-0, LINO-1 y LINO-2) y el factor PESO al inicio de la suplementación con dos niveles: LIVIANO y PESADO. Las diferencias fueron consideradas significativas cuando  $P \leq 0,05$  y se consideraron tendencias cuando  $P \leq 0,10$ .

Ante la significancia de efectos principales o sus interacciones se realizó la comparación de medias mediante el test de comparación múltiple de Tukey. Para evaluar el grado de asociación entre las distintas variables de calidad de carne se utilizaron correlaciones de Pearson (significativas  $P \leq 0,05$ ; tendencias  $P \leq 0,10$ ).

El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete rcmdr del programa estadístico R core team (2013).

El modelo matemático utilizado para todas las variables analizadas, excepto para la resistencia al corte, fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_i + \tau_j + (\beta\tau)_{ij} + e_{ijk}$$

donde:

$Y_{ijk}$  = observación para la i ésima dieta, el j ésimo peso y la k ésima repetición

$\mu$  = media general

$\beta_i$  = efecto de DIETA (i= 1-4)

$\tau_j$  = efecto PESO (j=1-2)

$(\beta\tau)_{ij}$  = efecto de la interacción entre DIETA y PESO

$e_{ijk}$  = error experimental

La resistencia al corte en distintos tiempos de maduración se analizó bajo un diseño en parcelas divididas, según el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + \tau_j + (\beta\tau)_{ij} + d_{ijk} + \gamma_l + (\beta\gamma)_{il} + (\tau\gamma)_{jl} + (\beta\tau\gamma)_{ijl} + e_{ijkl}$$

donde:

$Y_{ijkl}$  = observación para la iésima dieta, jésimo peso, lésimo tiempo de la k ésimo tiempo de maduración

$\mu$  = media general

$\beta_i$  = efecto de la DIETA (i=1-4)

$\tau_j$  = efecto del PESO (1-2)

$(\beta\tau)_{ij}$  = efecto de la interacción entre DIETA y PESO

$d_{ijk}$  = error aleatorio de la parcela principal

$\gamma_l$  = efecto de TM(3, 14, 56)

$(\beta\gamma)_{il}$  = interacción entre DIETA y TM

$(\tau\gamma)_{jl}$  = interacción entre PESO y el TM

$(\beta\tau\gamma)_{ijl}$  = interacción entre DIETA, PESO y TM

$e_{ijkl}$  = error aleatorio de la subparcela

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Características de la res y del músculo *Longissimus dorsi*

No se encontró interacción entre PESO y DIETA para ninguna de las características evaluadas en la carcasa o en el ML ( $P > 0,05$ ; Tabla 1); tampoco se observaron efectos de DIETA sobre las mismas variables ( $P > 0,05$ ), excepto sobre el espesor de grasa dorsal ( $P = 0,03$ ). El menor EGD se observó en CTRL, en tanto que el valor más alto se halló con el mayor nivel de suplementación energética (LINO-2). El EGD con el menor nivel de suplementación (LINO-0) no difirió del CTRL, ni del obtenido con el nivel intermedio (LINO-1), pero fue menor al obtenido con el máximo nivel de suplementación. En tanto, que el EGD obtenido en LINO-1 no difirió del de LINO-2.

El EGD, el AOB y la Temp@45m no fueron afectados ( $P > 0,05$ ) por PESO, mientras que el pH@45m fue menor ( $P < 0,01$ ); el pH@24h y PCC mayor ( $P < 0,01$ ), en PESADO que en LIVIANO. Por su parte, glucógeno total fue 22% mayor ( $P < 0,01$ ) en LIVIANO que en PESADO (Tabla 1).

**Tabla 1.** Características de las carcasas y del músculo *Longissimus dorsi* de novillos Angus en pastoreo, suplementados con grano de maíz y niveles crecientes de semilla de lino en dos pesos de inicio de la suplementación.

Ítems <sup>W</sup>	DIETA <sup>X</sup>				PESO <sup>Y</sup>		E.E. <sup>Z</sup>	P-valor		
	CTRL n= 12	LINO-0 n= 12	LINO-1 n= 12	LINO-2 n= 12	LIVIANO n= 24	PESADO n= 24		DIETA	PESO	DIETA x PESO
PCC	271	271	274	270	261 <sup>b</sup>	281 <sup>a</sup>	1,82	0,98	<0,01	0,66
EGD, mm	5,17 <sup>c</sup>	5,48 <sup>b,c</sup>	6,95 <sup>a,b</sup>	7,36 <sup>a</sup>	5,96	6,52	0,31	0,03	0,35	0,99
AOB, cm <sup>2</sup>	69,22	68,10	65,08	66,10	67,08	67,68	0,89	0,44	0,75	0,88
pH@45m	6,83	6,78	6,89	6,91	7,01 <sup>a</sup>	6,70 <sup>b</sup>	0,04	0,48	<0,01	0,75
pH@24h	5,39	5,47	5,46	5,39	5,36 <sup>b</sup>	5,50 <sup>a</sup>	0,03	0,56	<0,01	0,41
Temp@45m, °C	35,86	36,12	35,76	36,22	36,09	35,89	1,16	0,74	0,55	0,72
Glu, µmol glucosa g <sup>-1</sup>	36,77	43,70	36,90	39,06	43,04 <sup>a</sup>	35,35 <sup>b</sup>	1,48	0,22	<0,01	0,12

<sup>a,b,c,d</sup> Medias en la misma fila dentro de un efecto principal con letras minúsculas iguales no difieren ( $P > 0,05$ ).

<sup>W</sup> **PCC:** Peso de carcasas calientes; **EGD:** Espesor de grasa dorsal, **AOB:** Área de ojo de bife, **pH@45m:** pH 45 m *post mortem*, **pH@24h:** pH 24 h *post mortem*; **Temp@45m:** Temperatura 45 m *postmortem*; **Glu:** glucógeno.

<sup>X</sup> **CTRL:** en pastoreo sin suplementación, **LINO-0:** pastoreo más 0,7 % del PV de maíz; **LINO-1 y LINO-2:** ídem LINO-0 más 0,125 y 0,25% del PV con semilla de lino entera

<sup>Y</sup> **LIVIANO:** 350 kg peso vivo al inicio de la suplementación; **PESADO:** 450 kg peso vivo al inicio de la suplementación.

<sup>Z</sup> **E.E.:** Error estándar de la media.

#### 4.2. Color de la carne

Ninguno de los parámetros de color estimados ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) fueron afectados por la interacción entre DIETA y PESO ( $P > 0,05$ ), ni por el factor DIETA ( $P > 0,05$ ). Por el contrario, sí se observaron diferencias en el factor PESO; los valores de los tres parámetros evaluados fueron mayores ( $P < 0,01$ ) en LIVIANO que en PESADO (Tabla 2).

**Tabla 2.** Parámetros colorimétricos evaluados en el músculo *Longissimus dorsi* de novillos Angus en pastoreo, suplementados con grano de maíz y niveles crecientes de semilla de lino en dos pesos de inicio de la suplementación.

Items <sup>w</sup>	DIETA <sup>x</sup>			PESO <sup>y</sup>		E.E. <sup>z</sup>	P-valor			
	CTRL (n=12)	LINO-0 (n=12)	LINO-1 (n=12)	LINO-2 (n=12)	LIVIANO (n=24)		PESADO (n=24)	DIETA	PESO	DIETA X PESO
$L^*$	34,97	34,88	34,74	35,17	35,81 <sup>a</sup>	34,09 <sup>b</sup>	0,33	0,95	< 0,01	0,27
$a^*$	18,02	18,86	18,16	18,86	19,50 <sup>a</sup>	17,46 <sup>b</sup>	0,31	0,53	< 0,01	0,48
$b^*$	10,42	10,57	10,45	10,84	11,26 <sup>a</sup>	9,88 <sup>b</sup>	0,23	0,84	< 0,01	0,36

<sup>a,b</sup> Medias en la misma fila dentro de un efecto principal con letras minúsculas iguales no difieren ( $P > 0,05$ ).

<sup>w</sup> Parámetros colorimétricos:  $L^*$  (Lightness);  $a^*$  (redness);  $b^*$  (yellowness).

<sup>x</sup> CTRL: en pastoreo sin suplementación, LINO-0: pastoreo más 0,7% del PV de maíz;

LINO-1 y LINO- 2: ídem LINO-0 más 0,125 y 0,25% del PV con semilla de lino entera.

<sup>y</sup> LIVIANO: 350 kg peso vivo al inicio de la suplementación; PESADO: 450 kg peso vivo al inicio de la suplementación.

<sup>z</sup> E.E.: Error estándar de la media.

#### 4.3. Resistencia al corte (RC) y variables asociadas

No se observó interacción ( $P > 0,05$ ) entre los tres factores principales evaluados (DIETA, PESO, TIEMPO DE MADURACIÓN), ni de DIETA ( $P > 0,05$ ) para la RC. En cambio, sí se detectaron diferencias en esta variable para los factores principales PESO y TIEMPO DE MADURACIÓN ( $P < 0,01$ ).

La RC para las dietas CTRL, LINO-0, LINO-1 y LINO-2 fue de  $3,39 \pm 1,00$ ;  $3,54 \pm 0,92$ ;  $3,58 \pm 1,19$  y  $3,50 \pm 0,83$  kgf respectivamente, ( $P > 0,05$ ). Respecto al efecto DIETA, la RC promedio fue mayor ( $P < 0,01$ ) en PESADO ( $3,78 \pm 1,09$  kgf) que en LIVIANO ( $3,21 \pm 0,76$  kgf), (Tabla 3).

La extensión del período de maduración de 3 a 14 días no afectó ( $P > 0,05$ ) la RC ( $3,93 \pm 1,06$  y  $3,55 \pm 0,93$  kgf, respectivamente). En cambio, RC fue significativamente menor a los 56 días ( $3,03 \pm 0,73$  kgf) con respecto a los otros dos tiempos de maduración ( $P < 0,05$ ), (Tabla 3).

**Tabla 3.** Resistencia al corte (kgf) evaluada en el músculo *Longissimus dorsi* de novillos Angus a dos pesos de inicio de la suplementación y tres tiempos de maduración

Item <sup>w</sup>	PESO <sup>x</sup>		TIEMPO DE MADURACIÓN (TM) <sup>y</sup>			E.E. <sup>z</sup>	P- valor	
	LIVIANO n=24	PESADO n=24	3 d n=48	14 d n=48	56 d n=48		PESO	TM
RC, kgf	3,20 <sup>b</sup>	3,78 <sup>a</sup>	3,92 <sup>a</sup>	3,55 <sup>a</sup>	3,03 <sup>b</sup>	0,11	< 0,01	<0,01

La interacción triple (DIETA x PESO x TM), doble (DIETA x PESO; DIETA x TM; PESO x TM) y el efecto principal de DIETA no fueron significativos ( $P > 0,05$ ) y no son mostrados en la Tabla.

<sup>a, b</sup> Letras minúsculas iguales dentro de un efecto principal (PESO ó MADURACIÓN) no difieren ( $P > 0,05$ ).

<sup>w</sup> RC: Resistencia al corte

<sup>x</sup> LIVIANO: 350 kg peso vivo al inicio de la suplementación; PESADO: 450 kg peso vivo al inicio de la suplementación.

<sup>y</sup> 3 d: 3 días de maduración; 14 d: 14 días de maduración; 56 d: 56 días de maduración.

<sup>z</sup> E.E.: Error estándar de la media.

El contenido de colágeno total, soluble e insoluble del ML no fueron afectados por los tratamientos dietarios ( $P > 0,05$ ), ni por la interacción de DIETA con PESO ( $P > 0,05$ ). El PESO tuvo efecto en el contenido de colágeno total y soluble, los cuales fueron mayores en PESADO que en LIVIANO ( $P < 0,03$ ). En cambio, no hubo efecto de PESO sobre el contenido de colágeno insoluble del músculo ( $P = 0,56$ ), (Tabla 4).

Las longitudes de los sarcómeros del músculo *Longissimus dorsi* no fueron afectados por ninguno de los dos factores principales evaluados ni por su interacción ( $P > 0,05$ ). Si bien la degradación de troponina T a los 3 días de maduración no fue afectada ( $P = 0,72$ ) por la interacción entre los factores principales DIETA y PESO, ni por DIETA ( $P = 0,96$ ), tendió a ser inferior ( $P = 0,06$ ) en PESADO que en LIVIANO (Tabla 4).



**Tabla 4.** Variables que influyen sobre la resistencia al corte del músculo *Longissimus dorsi* de novillos Angus en pastoreo, suplementados con grano de maíz y niveles crecientes de semilla de lino en dos pesos de inicio de la suplementación.

Items	DIETA <sup>X</sup>				PESO <sup>Y</sup>		E.E. <sup>Z</sup>	P- valor		
	CTRL (n=12)	LINO-0 (n=12)	LINO-1 (n=12)	LINO-2 (n=12)	LIVIANO (n=48)	PESADO (n=48)		DIETA	PESO	DIETA X PESO
Colágeno total mg/g	4,35	4,18	4,12	4,01	3,79 <sup>b</sup>	4,52 <sup>a</sup>	0,17	0,88	0,03	0,63
Colágeno soluble, mg/g	1,44	1,18	1,26	1,15	0,80 <sup>b</sup>	1,69 <sup>a</sup>	0,14	0,81	<0,01	0,79
Colágeno insoluble, mg/g	2,91	2,99	2,85	2,86	2,98	2,82	0,14	0,98	0,57	0,34
Longitud de sarcómeros, $\mu\text{m}$	1,92	1,90	1,96	1,99	1,91	1,96	0,02	0,48	0,26	0,80
Troponina no degradada, %	2,52	2,20	2,35	2,86	1,65	3,26	0,41	0,96	0,06	0,72

<sup>a,b</sup> Medias en la misma fila dentro de un efecto principal con letras minúsculas iguales no difieren ( $P > 0,05$ ).

<sup>X</sup> **CTRL**: en pastoreo sin suplementación, **LINO-0**: pastoreo más 0,7% del PV de maíz; **LINO-1 y LINO- 2**: ídem LINO-0 más 0,125 y 0,25% del PV con semilla de lino entera.

<sup>Y</sup> **LIVIANO**: 350 kg peso vivo al inicio de la suplementación; **PESADO**: 450 kg peso vivo al inicio de la suplementación.

<sup>Z</sup> **E.E.**: Error estándar de la media.

#### **4.4. Análisis de correlación entre las variables que afectan al color y a la resistencia al corte de la carne**

Las correlaciones entre variables se muestran en la Tabla 5. Las variaciones observadas en el color de la carne se asociaron negativamente con el pH@24 h, y positivamente con el glucógeno. Sin embargo, los parámetros L\*, a\* y b\* no se asociaron con el pH@45m, con el espesor de grasa dorsal ni con el peso de las carcasas calientes. Los parámetros a\* y b\* colorimétricos estuvieron asociados negativamente con el contenido de colágeno. Por otro lado, la temp@45m mostró una asociación positiva con el espesor de grasa dorsal.

La resistencia al corte en los tres tiempos de maduración (3, 14 y 56 días) estuvo asociada negativamente con los tres parámetros colorimétricos evaluados (L\*, a\* y b\*). También se observó una asociación positiva entre la RC a los 3 y 14 días con el potencial glucolítico. Además, la RC a los 14 y 56 días se asoció positivamente con el peso de las carcasas.

La RC a 3, 14 y 56 días de maduración estuvo correlacionada positivamente, o mostró una tendencia, a estar asociada, con el contenido de colágeno total. También la RC a los 3 y 56 días mostró una asociación positiva con el contenido de colágeno insoluble. No se observó asociación entre el colágeno soluble y la RC en ninguno de los tiempos de maduración.

La RC tampoco estuvo asociada en ninguno de los casos con la longitud de los sarcómeros. En cambio, esta última variable mostró una tendencia a estar asociada con el espesor de grasa dorsal, no así con la Temp@45m *post mortem*.

No se observó asociación de la RC con el índice de troponina no degradada en ninguno de los tres tiempos de maduración. En cambio, se observó una tendencia de asociación positiva entre esta variable (TnT) y el pH@24h.

**Tabla 5.** Coeficientes de correlación de Pearson entre variables relacionadas a la calidad de carne.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>Características de la carcasa</b>																	
1. PCC <sup>a</sup>																	
2. AOB <sup>b</sup>	0,44**																
3. EGD <sup>c</sup>	0,26 $\times$	-0,10															
4. Temp@45 m <sup>d</sup>	0,23	0,25 $\times$	0,36*														
5. pH@45 m <sup>e</sup>	-0,20	0,01	-0,11	-0,06													
6. pH@ 24 h <sup>f</sup>	0,30*	-0,01	0,05	-0,24	-0,20												
<b>Características del músculo <i>Longissimus dorsi</i></b>																	
7. Parámetro L*	-0,17	-0,22	0,24	0,12	0,07	-0,38*											
8. Parámetro a*	-0,17	-0,15	0,16	0,18	0,18	-0,44**	0,88**										
9. Parámetro b*	-0,13	-0,13	0,23	0,13	0,22	-0,39*	0,85**	0,92**									
Resistencia al corte																	
10. a los 3 d	0,18	0,34*	0,02	-0,04	-0,19	0,11	-0,43**	-0,44**	-0,41**								
11. a los 14 d	0,27 $\times$	0,23	0,01	0,12	0,01	0,42**	-0,61**	-0,61**	-0,57**	0,50**							
12. a los 56 d	0,26 $\times$	0,37*	-0,10	0,01	-0,16	0,28 $\times$	-0,57**	-0,56**	-0,53**	0,44**	0,45**						
Colágeno																	
13. Total	-0,04	0,11	-0,25 $\times$	-0,39*	-0,24	0,25 $\times$	-0,39*	-0,43**	-0,42**	0,44**	0,26 $\times$	0,34*					
14. Soluble	0,01	-0,13	-0,15	-0,31*	-0,24*	0,04	-0,12	-0,20	-0,21	0,15	0,07	0,01	0,58**				
15. Insoluble	-0,04	0,25 $\times$	-0,15	-0,15	-0,05	0,25 $\times$	-0,34*	-0,31*	-0,29*	0,37**	0,23	0,40*	0,61**	-0,29			
Otras variables																	
16. LS <sup>g</sup>	0,22	0,13	0,25 $\times$	0,08	0,09	0,09	-0,26 $\times$	-0,22	-0,19	0,06	0,05	-0,08	-0,20	-0,10	-0,13		
17. Glu <sup>h</sup>	-0,04	-0,08	-0,05	-0,01	0,24	-0,09	0,20	0,36**	0,37**	-0,41**	-0,25 $\times$	-0,20	-0,29*	-0,13	-0,20	-0,06	
18. TnT <sup>i</sup>	0,25	0,20	0,01	-0,01	-0,09	0,25 $\times$	-0,02	-0,03	-0,06	0,13	0,11	0,06	0,01	-0,17	-0,15	0,04	0,01

\* P < 0,05 \*\* P < 0,01  $\times$  P < 0,10<sup>a</sup>PCC: Pesos de carcasas calientes; <sup>b</sup>AOB: Área de ojo de bife; <sup>c</sup>EGD: Espesor de grasa dorsal; <sup>d</sup>Temp@45 m: Temperatura del músculo *Longissimus dorsi* a los 45 m *post mortem*<sup>e</sup>pH@45 m: pH del músculo *Longissimus dorsi* a los 45 m *post mortem*; <sup>f</sup>pH@24 h: pH del músculo *Longissimus dorsi* a las 24 h *post mortem*<sup>g</sup>LS: Longitud de sarcómeros; <sup>h</sup>Glu: Glucógeno; <sup>i</sup>TnT: Índice de troponina no degradada del músculo *Longissimus dorsi* a los 3 d *post mortem*

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. DIETA y PESO: implicancias sobre el color de la carne

Uno de los objetivos del presente estudio fue evaluar el impacto de la suplementación energética sobre el color de la carne. A su vez, se propuso estudiar el efecto de la dieta en dos grupos de animales de distinto peso vivo/edad al inicio de la suplementación. Hipotéticamente la suplementación energética creciente de novillos en pastoreo podría generar un incremento de la energía almacenada en el músculo en forma de glucógeno, en concordancia con lo señalado por Immonen *et al.* (2000) y Gardner *et al.* (2001). Este aumento de energía en la dieta incrementaría, a su vez, el espesor de grasa dorsal, generando mejoras en el color de la carne.

No obstante, en este trabajo no se encontraron efectos de las dietas sobre el contenido de glucógeno muscular, como puede observarse en la Tabla 1. Contrariamente, Immonem *et al.* (2000) observaron un incremento en las reservas de glucógeno muscular al alimentar toros jóvenes con dietas altas en energía respecto a aquellos alimentados con dietas de baja energía. Gardner *et al.* (2001), por su parte, también encontraron que las reservas de glucógeno basal fueron mayores en dietas basadas en cebada, maíz o ensilaje de pasturas en comparación con heno de pastura. Debido a que en los trabajos citados los autores utilizaron animales de distinto peso, y dietas con diferente concentración energética, se calculó el consumo de energía metabolizable (EM) en megacalorías (Mcal) por unidad de peso metabólico ( $\text{kg}^{0,75}$ ) con el fin de comparar los resultados bibliográficos con los obtenidos en el presente trabajo. Tanto Immonen *et al.* (2000) como Gardner *et al.* (2001) obtuvieron menores valores de glucógeno con dietas cuya concentración energética fue 2,58 y 1,91 Mcal/kg MS, respectivamente, cuando las compararon con dietas de mayor concentración energética. Sin embargo, cuando en el presente estudio se calculó el consumo de EM/kg<sup>0,75</sup> reportados en los trabajos de Immonen *et al.* (2000) y Gardner *et al.* (2001), se encontró que en ambas dietas el consumo de energía fue de 0,17 Mcal EM/kg<sup>0,75</sup>. Cuando la energía consumida superó las 0,24 Mcal EM/kg<sup>0,75</sup>, Gardner *et al.* (2001) e Immonen *et al.* (2000) obtuvieron mayores niveles de glucógeno muscular, en comparación con las dietas anteriores. Resulta importante destacar que Gardner *et al.* (2001) no observaron incremento en el glucógeno muscular cuando la energía consumida abarcó el rango de 0,24 a 0,41 Mcal EM/kg<sup>0,75</sup>. En el presente trabajo, la falta de efecto de la suplementación sobre el glucógeno podría atribuirse a que el consumo de energía por unidad metabólica fue superior a 0,21 Mcal EM/kg<sup>0,75</sup>

tanto en LIVIANO como en PESADO y para cualquiera de las cuatro dietas evaluadas. El consumo energético total se presenta en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Consumo total de energía metabolizable, expresado en megacalorías, en novillos Angus en pastoreo, suplementados con grano de maíz y niveles crecientes de semilla de lino en dos pesos de inicio de la suplementación.

PESO <sup>Y</sup>	DIETA <sup>Z</sup>			
	CTRL	LINO-0	LINO-1	LINO-2
LIVIANO	24,54	32,69	29,66	27,23
PESADO	20,94	33,22	31,22	31,51

<sup>Y</sup>**LIVIANO:** 350 kg peso vivo al inicio de la suplementación; **PESADO:** 450 kg peso vivo al inicio de la suplementación.

<sup>Z</sup>**CTRL:** en pastoreo sin suplementación, **LINO-0:** pastoreo más 0,7% del PV de maíz; **LINO-1 y LINO-2:** ídem LINO-0 más 0,125 y 0,25% del PV con semilla de lino entera.

Por otra parte, el aporte extra de precursores gluconeogénicos podría no haber sido suficiente con la suplementación, generando similares niveles de glucógeno entre los tratamientos dietarios evaluados. Andersen *et al.* (2005) indicaron que la síntesis de glucógeno está ligada a la disponibilidad de precursores gluconeogénicos. En dietas basadas en forrajes, la producción de propiónico ruminal en relación con el ácido acético es de aproximadamente 1:3, mientras que con dietas basadas en granos la relación es cercana a 1:1 (Bauman *et al.*, 1971). La relación propiónico: acético aumenta cuando la dieta contiene más cantidad de concentrados energéticos (France y Dijkstra, 2005). En otras palabras, se esperaría una mayor concentración de glucógeno muscular en dietas ricas en concentrados. Al analizar los componentes de la dieta, en el trabajo reportado por Immonen *et al.* (2000) se observó que la que generó menor depósito de glucógeno estuvo constituida por ensilaje de gramíneas. En el mismo trabajo, la dieta que aumentó los depósitos de glucógeno estuvo constituida por grano de cebada y melaza de remolacha azucarera, es decir componentes con alto contenido de hidratos de carbono, como lo señala Lindsay (1993). En el presente trabajo, el grano de maíz representó el 16,89 y 21,72% de la materia seca consumida para las dietas suplementadas con granos (LINO-0, LINO-1 y LINO-2) para LIVIANO y PESADO, respectivamente, mientras que la semilla de lino representó para la dieta LINO-1 el 3,01 y 3,87% del consumo de materia seca, y para la dieta LINO-2 el 6,02 y 7,75%, para LIVIANO y PESADO, respectivamente (Pouzo *et al.*, 2015). Por lo tanto, se deduce que a pesar de la suplementación con grano de maíz y semilla de lino, la

pastura representó más del 70% de la dieta. En consecuencia, es posible que la suplementación no haya sido suficiente para incrementar la producción de ácido propiónico a nivel ruminal.

El glucógeno total, en este trabajo fue levemente menor a lo informado por Warriss. (1990) y Pethick *et al.* (1995) como valores umbrales (40-55  $\mu\text{mol/g}$ ). A pesar de los bajos valores obtenidos, el descenso del pH muscular entre dietas no se vio comprometido, evidenciado en el pH@24h (Tabla 1). Posiblemente, la menor cuantificación del glucógeno, específicamente, podría deberse a pérdidas de glucosa causadas por la hidrólisis ácida y pérdidas ocurridas durante el almacenamiento (Keppler y Decker, 1974; Fabiansson y Laser Reuterswärd, 1984). En consecuencia, la ausencia de efectos dietarios sobre el color de la carne podría atribuirse a que el glucógeno muscular no fue afectado por las dietas como tampoco lo fue el pH@45m ni el pH@24h (Tabla 1). Estos resultados concuerdan con los reportados por Razminowicz *et al.* (2008), quienes no encontraron diferencias en el pH medido a las 3 y 24 horas *post mortem*, ni en el color en el ML de animales faenados a un mismo peso ( $557 \pm 9$  kg) y alimentados con dietas de distinta concentración energética (base de pastura, dieta de concentrados o dieta de concentrados más extrusado de lino). French *et al.* (2001) tampoco observaron diferencias en el pH a las 24 y 48 horas *post mortem*, ni en ninguno de los tres parámetros ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) asociados al color en carne de animales alimentados con dietas formuladas con pastura y seis niveles de suplementación energética. Corazzin *et al.* (2012), en cambio, encontraron que la carne de animales terminados con una dieta energética donde la semilla de lino representaba el 8%, tuvo un pH menor a los 45 minutos *post mortem*, en comparación a la carne de animales terminados con una dieta sin lino. Sin embargo, al igual que en presente estudio estos autores no observaron diferencias atribuibles a la dieta en el pH a las 48 horas *post mortem*, ni tampoco vieron efectos significativos de las dietas sobre los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ .

Los animales en pastoreo faenados a un mismo peso, presentan menor EGD que animales terminados con dietas concentradas; y normalmente se asocian con carnes más oscuras. El incremento en el EGD permite una disminución gradual de la temperatura muscular (Aalhus *et al.*, 2001; Jacob *et al.*, 2014). Por lo tanto, un adecuado EGD ayudaría a mantener la relación apropiada entre el descenso de pH y temperatura, disminuyendo la probabilidad de obtención de cortes oscuros. Si bien en el presente trabajo se observó un incremento en el EGD en animales alimentados con niveles crecientes de suplementación energética, no se observó efecto del tratamiento

dietario sobre la Temp@45m, pH@45m, ni sobre los tres parámetros del color medidos en la carne (Tabla 1 y 2). La ausencia de diferencias en la Temp@45m podría atribuirse a que las diferencias en EGD entre las distintas dietas no fueron suficientes como para modificar la velocidad de descenso de la temperatura y, con ello el color de la carne. Otra posible explicación sería que, el EGD logrado con la dieta CTRL fue suficiente para evitar el descenso abrupto de la temperatura. Como puede observarse en la Tabla 1, el factor PESO tampoco generó diferencias en la Temp@45m. Esto último concuerda con los valores similares de AOB y EGD para LIVIANO y PESADO. Por otra parte, se observó una correlación positiva entre la Temp@45m con el EGD y el AOB (Tabla 4), en concordancia con lo reportado en otros trabajos (Aalhus *et al.*, 2001; Lucero Borja *et al.*, 2014).

Las diferencias de color entre LIVIANO y PESADO obtenidas en este trabajo (Tabla 2) concordaron con los menores niveles en el pH@24h y con el mayor contenido de glucógeno observados en LIVIANOS que en PESADOS. Ha sido reportado que el estrés estimula la liberación de glucocorticoides, como el cortisol, el cual genera importantes cambios en el metabolismo lipídico y glucídico. En este último, estimula la gluconeogénesis hepática y la glucogenolisis muscular (Ferguson y Warner, 2008).

Por lo tanto, la menor concentración de glucógeno como los mayores valores de pH@24h observados en PESADO podrían ser atribuidos a un mayor nivel de estrés de los animales antes de la faena, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Colditz *et al.* (2006) y Maghfiroh *et al.* (2014). Esto se debería al tiempo de espera más prolongado al que fueron sometidos, lo que se tradujo en menores niveles de glucógeno. Tadich *et al.* (2002) observaron que el incremento de 19 a 32 horas en el tiempo transcurrido desde la carga de los animales en el campo hasta la faena, produjo un aumento en la concentración plasmática de cortisol, lo que según Ferguson y Warner (2008) incrementa la tasa de descenso de pH. En base a estos antecedentes se podría inferir que el aumento del tiempo de espera podría haber aumentado los niveles de cortisol. Esta hormona, sería no sólo responsable de la mayor tasa de descenso del pH observada en PESADO, inferido a través de la medición del pH@45m, sino también del mayor pH final (Tabla 1).

En coincidencia con los resultados obtenidos en este trabajo, Toohey y Hopkins (2006) sugirieron que un mayor catabolismo del glucógeno muscular explicaría los mayores valores de pH obtenidos con 48 *versus* 24 horas de espera pre-faena. Por su parte, Díaz *et al.* (2014) observaron que la concentración de glucógeno muscular fue 28 y 14% menor en corderos faenados 12 y 3 horas después de su arribo a la planta

de faena, en comparación con los faenados inmediatamente. Estas disminuciones estuvieron asociadas con mayores valores de pH de la carne y menores valores para el parámetro  $b^*$ .

Otra posible explicación a la menor concentración de glucógeno en PESADO podría deberse a un cambio en el metabolismo de las fibras musculares. Crouse *et al.* (1986) informaron la existencia de asociación negativa entre el porcentaje de fibras rojas (oxidativas), que presentan menores reservas de glucógeno, y el aumento de peso diario. Por su parte, Brandstetter *et al.* (1998) observaron que ocurre un cambio hacia el metabolismo glucolítico durante periodos de rápido crecimiento. Por lo tanto, los animales del grupo PESADO que presentaron una menor tasa de ganancia de peso durante la terminación (Pouzo *et al.*, 2015), podrían haber presentado un cambio hacia el metabolismo oxidativo, con la consecuente disminución en las reservas de glucógeno.

Contrariamente a lo descrito por Pethick *et al.* (1996) y Daly *et al.*, (2006), el glucógeno observado en el presente estudio no estuvo asociado con el pH@24h (Tabla 5). En tanto que Sterten *et al.* (2010), no encontraron asociación alguna entre estas variables, concordando con lo hallado en este estudio. Dichos autores sugirieron que la relación entre el pH final y el glucógeno en músculo es observada sólo cuando los niveles de glucógeno son bajos y el pH final es alto. Van Laack *et al.* (2001), citado por Jacob *et al.* (2005), por su parte indicaron que el 40% de la variación del pH final puede ser explicada por la concentración de glucógeno. Esto indica que posiblemente otras variables además del glucógeno muscular podrían afectar al pH final, requiriéndose más estudios para identificar estas variables (Jacob *et al.*, 2005).

Los datos del presente estudio muestran que el pH@24h se asoció positivamente con el peso de las carcasas, pero tal asociación no fue significativa al analizar dichas variables por separado en LIVIANO y PESADO (datos no mostrados). Por lo tanto podría decirse que, la asociación entre el pH@24h y peso de las carcasas ocurre solamente porque PESADO tuvo carcasas más pesadas y mayor pH@24h, opuesto a lo sucedido con LIVIANO.

Pese a las diferencias informadas, los valores hallados para los parámetros L,  $a^*$  y  $b^*$  (Tabla 2) fueron similares a los obtenidos por Realini *et al.* (2004), Mahecha *et al.* (2009) y Frylinck *et al.* (2013) para animales en pastoreo.



## 5.2. DIETA y PESO: implicancias sobre la resistencia al corte de la carne

Otro objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de la suplementación energética en animales con diferentes pesos/edad al inicio de la suplementación sobre la resistencia al corte de la carne. Al igual que para el color, se esperaba que la suplementación energética incrementase la concentración de glucógeno muscular. Como es sabido un incremento en el nivel de glucógeno muscular permitiría disminuir el pH final de la carne generando una menor resistencia al corte. Esto está asociado a que las principales enzimas proteolíticas involucradas en el tiernizado de la carne actúan preferentemente a bajos niveles de pH. Como fue mencionado anteriormente, la suplementación energética no modificó la concentración de glucógeno, ni el pH@24h en el músculo de los animales (Tabla 1). En coincidencia con esto, la degradación proteica estimada a través del índice de TnT no fue alterada por los tratamientos dietarios, como tampoco lo fue la resistencia al corte (Tabla 4), concordando con lo señalado por diversos autores que relacionan pH, degradación proteica y terneza (Watanabe *et al.*, 1996; Huff Lonergan *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2014).

El otro factor que se esperaba podía contribuir a una menor resistencia al corte de la carne era el incremento del EGD observado al aumentar el nivel de suplementación energética de la dieta (Tabla 1). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el incremento del EGD entre dietas no generó diferencias en el pH@45m y la Temp@45m (Tabla 1). La falta de efecto de DIETA sobre estas variables, indicadoras de velocidad de descenso de pH y temperatura, explicaría el por qué el largo de sarcómero no fue afectado en el presente estudio. Thompson (2002) reportó la existencia de una estrecha asociación entre el descenso de pH y de temperatura con el largo del sarcómero. Esta relación apoyaría los resultados obtenidos en el presente estudio. Posiblemente, las condiciones de enfriamiento de las reses del presente trabajo junto al espesor de grasa dorsal obtenido en animales sin suplementar (CTRL; 5,17 mm) fue suficiente para evitar el acortamiento de los sarcómeros por frío. Savell *et al.* (2005) sugirieron que 6,2 mm de espesor de grasa dorsal a la altura de la 12<sup>a</sup> costilla en bovinos, es adecuado para evitar el acortamiento por frío. No obstante, deben tenerse en cuenta otros factores que también pueden incidir en el acortamiento del sarcómero como el método de enfriado (temperatura de las cámaras) y el uso de electro-estimulación. Si bien no hay una sola manera de evitar el acortamiento por frío, lo más importante es obtener una adecuada relación entre el descenso del pH y la temperatura. Además de los factores nombrados, el tamaño de la masa muscular a

enfriar puede aumentar o disminuir la velocidad del descenso de la temperatura en el músculo (Aalhus *et al.*, 2001; Thompson, 2002; Savell *et al.*, 2005).

En el presente trabajo no se encontraron asociaciones entre la resistencia al corte (RC) y la longitud de los sarcómeros (LS). Al respecto, Bouton *et al.* (1973) observaron una asociación negativa entre estas variables e indicaron que dicha asociación se evidencia cuando los sarcómeros miden menos de 2  $\mu\text{m}$ . Por su parte, Hwang *et al.* (2004) observaron que los sarcómeros cuya longitud promedio es de 1,52  $\mu\text{m}$  impactaban negativamente sobre la RC. Sin embargo, esa longitud es muy diferente a la hallada en el presente trabajo, la cual estuvo en el rango de 1,91-1,96  $\mu\text{m}$  (Tabla 4).

Por otra parte, la mayor RC observada en PESADO respecto a LIVIANO en el presente trabajo, podría explicarse tanto a través de la mayor concentración de colágeno total (Torrescano *et al.*, 2003) como a una menor degradación proteica (Huff Lonergan *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2014), (Tabla 4). Generalmente, el contenido total de colágeno incrementa con la edad del animal mientras que la fracción soluble del mismo disminuye progresivamente (Cross *et al.*, 1984; Maltin *et al.*, 1998). Sin embargo, Jurie *et al.* (2005) observaron que si bien el contenido total de colágeno aumentó con la edad, el de colágeno insoluble disminuyó de los 15 a los 19 meses de edad, y luego se incrementó desde los 19 a los 24 meses, sin poder definir la causa. Los resultados del presente trabajo concuerdan con los reportados por Jurie *et al.* (2005). Como puede observarse en la Tabla 4, el mayor contenido de colágeno total en PESADO, respecto a LIVIANO, podría explicarse por su mayor edad a la faena. En cambio, el mayor contenido de colágeno soluble podría deberse a un estado temporal, donde todavía no se habrían formado los enlaces entre las fibras de colágeno (McCormick, 1994).

En este trabajo, se observó una asociación positiva entre el colágeno total y la RC en los tres tiempos de maduración, lo cual concuerda con los informado por Fang *et al.* (1999), Torrescano *et al.* (2003), Schönfeldt y Stydom (2011) y Dubost *et al.* (2013). Otros autores, en cambio, no encontraron asociación entre estas variables (Hopkins *et al.*, 2013; Lucero Borja *et al.*, 2014). Los mismos, atribuyeron sus hallazgos al bajo contenido de colágeno presente en el músculo *Longissimus dorsi*, o a otros factores como la temperatura, que resultó más asociada a la resistencia al corte que cualquiera de las restantes variables estudiadas.

La bibliografía señala la existencia de una relación entre el contenido de grasa intramuscular y el colágeno de la carne. Destefanis *et al.* (2000) observaron que el extracto etéreo (% de lípidos) y la concentración de hidroxiprolina (aminoácido

cuantificado para la estimación del colágeno) se encuentran positivamente asociados. Por su parte, Christensen *et al.* (2011) observaron la existencia de asociación positiva entre la concentración de grasa intramuscular y el contenido de colágeno total e insoluble en el músculo *Longissimus dorsi*. Estas asociaciones se deberían a que el aumento de fibras de colágeno y la deposición de grasa intramuscular incrementan con la edad del animal (Jurie *et al.*, 2005; Hopkins *et al.*, 2013). En este trabajo, se encontró que los animales del tratamiento PESADO tuvieron mayor concentración de colágeno total y dos veces más concentración de lípidos totales en el ML que LIVIANO, (4,23 *versus* 2,16%, respectivamente), (Pouzo *et al.*, 2015) por lo que se esperaría que ambas variables también resultaran asociadas.

En concordancia con la literatura (Huff Lonergan *et al.*, 1996; Hwang *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2014), la mayor RC en PESADO que en LIVIANO se podría asociar con una menor degradación proteica (TnT) en PESADO. Las diferencias observadas en la degradación proteica de la carne se explicarían por las diferencias observadas en el pH@24h entre los tratamientos. Esto es apoyado por lo observado por Watanabe *et al.* (1996), a medida que el pH post rigor se acerca a un valor de 5,4 la proteólisis aumenta. En el presente trabajo se determinó la degradación proteica a los 3 días *post mortem*, observándose una tendencia ( $P = 0,06$ ) de mayor degradación de troponina T en LIVIANO que en PESADO. Esto indicaría que las diferencias en RC atribuibles a la actividad enzimática se habrían establecido antes de los 3 días *post mortem*. Por otra parte, el efecto de la extensión del período de maduración sobre la resistencia al corte de la carne no fue afectado por el peso/ edad al inicio de la suplementación (interacción no significativa). Lo anterior sugiere que después de los 3 días de maduración la tasa de proteólisis muscular no habría diferido entre los tratamientos (PESO).

De acuerdo a Campo *et al.* (2000) y Monsón *et al.* (2004), los mayores cambios en la RC de la carne se producen durante los primeros 10 días de maduración. En este trabajo, la disminución de la RC entre los 3 y los 14 días no fue significativa. Este resultado difiere con lo reportado por Lucero Borja *et al.* (2014), quienes observaron una disminución de casi 16% de la RC entre los 3 y 14 días de maduración. En el presente estudio, la resistencia al corte mejoró (disminuyó) entre los 14 y 56 días *post mortem*. Sin embargo, no hay en la bibliografía información acerca del efecto de la maduración sobre la RC más allá de los 28 días. En la carne madurada entre 14 a 28 días, Lucero Borja *et al.* (2014) y Wu *et al.* (2014) no encontraron una disminución en la RC. Por el contrario, Viera *et al.* (2007) observaron que la disminución de la RC entre

los 14 y 28 días fue significativa. También Huff Lonergan *et al.* (1996), mediante la técnica de SDS-PAGE-Western blott, identificaron bandas correspondientes a la degradación proteica a los 56 días. Por lo tanto, estos resultados avalan a los obtenidos en la presente tesis; la degradación proteica y el tiernizado podrían extenderse más allá de los 28 días. Debido a que en este trabajo no se avaló la RC a los 28 días, no se puede saber con certeza hasta qué momento, dentro de los 14 a los 56 días, hubo degradación proteica.

Otra variable a tener en cuenta al evaluar la RC es la grasa intramuscular. Algunos autores observaron asociaciones positivas entre esta variable y la textura, la palatabilidad o la terneza (Tatum *et al.*, 1982; Wood *et al.*, 2008). En tanto que French *et al.* (2001) y Blanco *et al.* (2010) no encontraron esa asociación entre la RC y la grasa intramuscular. Los resultados del presente trabajo indicarían que la mayor cantidad de grasa intramuscular de PESADO (Pouzo *et al.*, 2015) no disminuyó la RC. Probablemente esto se debería al hecho de que las variaciones en RC serían explicadas mediante el contenido de grasa intramuscular en un bajo porcentaje (Maltín *et al.*, 1998; Fiems *et al.*, 2000; Chiriki *et al.*, 2013). No habría que descartar que otras variables como el colágeno (McCormick, 1994; Purslow *et al.*, 2005) y la degradación proteica *post mortem* (Huff Lonergan *et al.*, 2010) hayan afectado en mayor medida a la RC.

En síntesis, las diferencias en RC entre PESADO y LIVIANO estarían asociadas a la edad, y a esto se habría sumado el menor glucógeno traducido en mayor pH@24h en PESADO. En el presente trabajo no es posible determinar fehacientemente las causas del menor glucógeno observado en PESADO. Las causas podrían ser el mayor tiempo de espera pre faena en este grupo de animales (Toohey y Hopkins., 2006; Del Campo *et al.*, 2010; Díaz *et al.*, 2014) o cambios en el metabolismo de las fibras musculares (Crouse *et al.*, 1986; Brandstette *et al.*, 1998)

### **5.3. Asociaciones entre el color y la resistencia al corte**

De acuerdo a los resultados de correlación entre el color y la RC, se encontró que todos los parámetros colorimétricos ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) se asociaron negativamente con la RC de la carne a los distintos tiempos de maduración, lo que posiciona al color como un buen predictor de la terneza. Esto es coincidente con lo estudiado por Wulf *et al.* (1997) quienes determinaron al valor  $b^*$  como el mejor predictor de la terneza de la carne cocida. En un trabajo posterior, Wulf y Page (2000) incluyeron al valor  $L^*$ , además del  $b^*$ , como parámetro útil para segregar carne de baja palatabilidad. En

otros dos estudios encontraron que las asociaciones relacionadas con la terniza y el color muscular ya estaban establecidos antes de las 24 horas *post mortem* y no disminuyeron al aumentar el tiempo de maduración hasta 35 días (Wulf *et al.*, 1996; Wulf *et al.*, 1997). En este trabajo de tesis se observó que el color siguió estando correlacionado a la resistencia al corte incluso hasta los 56 días de maduración. Estas asociaciones entre el color y la terniza, se deben a que el pH afecta a ambas variables (Wulf *et al.*, 1996).

Por otra parte, la concentración de colágeno también afectaría de manera negativa tanto al color como a la terniza (McCromick, 1994; Purslow, 2005; Destefanis *et al.*, 2011; Pearse *et al.*, 2011). Resulta interesante destacar que tanto el colágeno total e insoluble estuvieron asociados negativamente con los tres parámetros colorimétricos. Destefanis *et al.* (2000) mediante el análisis de componentes principales encontró que el parámetro L\* se asoció negativamente con la RC e hidroxiprolina. Sin embargo, otros autores como Torrescano *et al.* (2003) y Serra *et al.* (2004) no encontraron esta asociación. Pearce *et al.* (2011) y Velleman (2012) sugieren que la asociación entre el color y la concentración de colágeno se debe a la capacidad de la matriz proteica y proteoglicanos del tejido conectivo de retener agua, lo que se traduciría en carnes más oscuras. Si bien hubieron diferencias en el color y la resistencia al corte entre LIVIANO y PESADO, en ambos casos se encontraron dentro del valor umbral necesario para asegurar la aceptabilidad sensorial de la carne (L\*: 33-41; a\*: 11-23; b\*: 6-11. Resistencia al corte: menor a 3,0 kgf hasta 4,3 kgf).

## 6. CONCLUSIONES

Contrariamente a lo esperado, no se observó efecto de la suplementación energética de novillos en pastoreo durante los últimos 70 días previos a la faena sobre el color y la resistencia al corte del músculo *Longissimus dorsi*. La edad de los novillos al momento de la suplementación sí afectó ambas variables de calidad de carne, pero independientemente del tratamiento dietario. Los animales del grupo PESADO presentaron mayor concentración de colágeno, menor glucógeno y, por lo tanto, mayor pH el cual influyó negativamente sobre el color y la resistencia al corte de la carne. Sin embargo, el mayor valor de pH a las 24 h *post mortem* en PESADO no sería atribuible al peso/ edad de los animales, sino al mayor tiempo de espera pre faena y/ o a posibles cambios metabólicos a nivel de las fibras musculares.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- AALHUS, J.L.; JANZ, J.A.M.; TONG, A.K.W.; JONES, S.D.M.; ROBERTSON, W.M. 2001. The influence of chilling rate and fat cover on beef quality. *Can. J. Anim. Sci.* 81: 321-330.
- ABRIL, M.; CAMPO, M.M.; O'NENC, A.; SAÑUDO, C.; ALBERTÍ, P.; NEGUERUELA, A.I. 2001. Beef colour evolution as a function of ultimate pH. *Meat Sci.* 58: 69-78.
- AGASTIN, A.; NAVES, M.; FARANT, A.; GODARD, X.; BOCAGE, B.; ALEXANDRE, G.; BOVAL, M. 2013. Effects of feeding system and slaughter age on the growth and carcass characteristics of tropical-breed steers. *J. Anim. Sci.* 91:3997-4006.
- ALBERTÍ, P.; BERIAIN, M.J.; RIPOLL, G.; SARRIÉS, V.; PANEA, B.; MENDIZABAL, J.; PURROY, A.; OLLETA, J.L.; SAÑUDO, C. 2014. Effect of including linseed in a concentrate fed to young bulls on intramuscular fatty acids and beef color. *Meat Sci.* 96: 1258-1265.
- ALBERTÍ, P.; PANEA, B.; RIPIO, G.; SAÑUDO, C.; OLLETA, J.L.; HEGUERELA, I.; CAMPO, M.M.; SERRA, X. 2005. Medición del color. En: Chañequé, 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. American Meat Science Association. 1995. Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. American Meat Science Association and National Livestock and Meat Board, Chicago, IL.
- ANDERSEN, H.J.; OKSBJERG, N.; YOUNG, J.F.; THERKILDSEN, M. 2004. Feeding and meat quality. *Review. Meat Sci.* 70: 543–554.
- ANDRAE, J.G.; DUCKETT, S.K.; HUNT, C.W.; PRITCHARD, G.T.; OWENS, F.N. 2001. Effects of feeding high-oil corn to beef steers on carcass characteristics and meat quality. *J. Anim. Sci.* 79: 582–588
- ARCHILE-CONTRERAS, A.C.; MANDELL, I.B.; PURSLOW, P.P. 2010. Disparity of dietary effects on collagen characteristics and toughness between two beef muscles. *Meat Sci.* 86: 491-497.
- ARNETT, E. J.; FLUHARTY, F. L.; LOERCH, S. C.; ZERBY, H. N.; ZINN, R. A.; KUBER, P. S. 2012. Effects of forage level in feedlot finishing diets on carcass characteristics and palatability of Jersey beef. *J. Anim. Sci.* 90: 960-972.
- BAUMAN, D. E.; DAVIS, C. L.; BUCHOLTZ, H. F. 1971. Propionate production in the rumen of cows fed either a control or high- grain low-fiber diet. *J. Dairy Sci.* 54: 1282-1287.

- BENDALL, J.R. 1967. The elastin content of various muscles of beef animals. *J. Sci. Food Agric.* 18: 553–558.
- BERIAIN, M.J. y LIZASO, G. 1997. Calidad de la carne de vacuno. En Buxadé C. “Vacuno de carne: aspectos claves”. Mundi-Prensa. Madrid. Pp: 493-510.
- BIDNER, T. D.; SCHUPP, A. R.; MOHAMAD, A. B.; RUMORE, N. C.; MONTGOMERY, R. E.; BAGLEY, C. P.; MCMILLIN, K. W. 1986. Acceptability of beef from Angus-Hereford or Angus-Hereford-Brahman steers finished on all-forage or a high-energy diet. *J. Anim. Sci.* 62: 381-387.
- BLANCO, M.; CASASÚS, I.; RIPOLL, G.; PANEA, B.; ALBERTÍ, P.; JOY, M. 2010. Lucerne grazing compared with concentrate-feeding slightly modifies carcass and meat quality of young bulls. *Meat Sci.* 84: 545-552.
- BLAXTER, K.L.; CLAPPERTON, J.L.; WAINMAN, F.W. 1966. Utilization of the energy and protein of the same diet by cattle of different ages. *J. Agric. Sci., Cambridge.* 67: 67-75.
- BOLEMAN, S.J.; BOLEMAN, S.L.; MILLER, R.K.; TAYLOR, J.F.; CROSS, H.R.; WHEELER, T.L. 1997. Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. *J. Anim. Sci.* 75: 1521-1524.
- BOUTON, P. E.; FISHER, A. L.; HARRIS, P. V.; BAXTER, R. I. 1973. A comparison of the effects of some post-slaughter treatments on the tenderness of beef. *J. Food Technol.* 8:39–49.
- BRANDSTETTER, A. M.; PICARD, B.; GEAY, Y. 1998. Muscle fiber characteristics in four muscles of growing male cattle I. Postnatal differentiation. *Livest. Prod. Sci.* 53:15– 23.
- BREWER, S. 2010. Technological quality of meat for processing. In Toldrá, F. (2010). *Handbook of meat processing*. John Wiley & Sons. Pp: 25-42.
- BROCKMAN, R.P. 1993. Glucose and short chain fatty acid metabolism. In: Forbes. J.M. y France, J. (Eds). *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. CAB International UK. Pp: 249-265.
- BRUCE, H.L.; STARK, J.L.; 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.
- CAMPO, M.M.; SANTOLARIA, P.; SANUDO, C.; LEPETIT, J.; OLLETA, J.L.; PANEA, B.; ALBERTI, P. 2000. Assessment of breed type and ageing time effects on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Sci.* 55: 371–378.
- CHERET, R.; DELBARRELADRAT, C.; LAMBALLERIEANTON, M.; VERREZBAGNIS, V. 2007. Calpain and cathepsin activities in post mortem fish and meat muscles. *Food Chemist.* 101: 1474-1479.



- CHICATÚN, A.; SANTINI, F. J.; DEPETRIS, G. J.; FAVERÍN, C.; VILLARREAL, E. 2006. Calidad de la carne de novillos producidos bajo distintas estrategias de suplementación. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 26 (Sup.1): 409–410.
- CHILLIARD, Y. 1993. Dietary fat and adipose tissue metabolism in ruminants, pigs, and rodents: a review. *J. Dairy Sci.* 76:3897-3931.
- CHRIKI, S.; GARDNER, G.; JURIE, C.; PICARD, B.; MICOL, D.; BRUN, J. P.; JOURNAUX, L.; HOCQUETTE, J.F. 2012. Cluster analysis application identifies muscle characteristics of importance for beef tenderness. *BMC Biochem.* 13: 29–39.
- CHRISTENSEN, M., ERTBJERG, P., FAILLA, S., SAÑUDO, C., RICHARDSON, R. I., NUTE, G. R.; OLLETA, J. L.; PANEA, B.; ALBERTÍ, P.; JUÁREZ, M.; HOCQUETTE, J.F.; WILLIAMS, J. L. 2011. Relationship between collagen characteristics, lipid content and raw and cooked texture of meat from young bulls of fifteen European breeds. *Meat Sci.* 87: 61-65.
- COLDITZ, I. G.; WATSON, D. L.; KILGOUR, R.; FERGUSON, D. M.; PRIDEAUX, C.; RUBY, J.; KIRKLAND, P. D.; SULLIVAN, K. 2006. Impact of animal health and welfare research within the CRC for Cattle and Beef Quality on Australian beef production. *Aust. J. Exp. Agr.* 46:233-244.
- CONFORTH, D. 1994. Quality Attributes and their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products. *Adv. Meat Res.* 9: 34-78.
- CORAZZIN, M.; BOVOLENTA, S.; SEPULCRI, A.; PIASENTIER, E. 2012. Effect of whole linseed addition on meat production and quality of Italian Simmental and Holstein young bulls. *Meat Sci.* 90: 99–105.
- COX, R.B.; KERTH, C.R.; GENTRY, J.G.; PREVATT, J.W.; BRADEN, K.W.; JONES, W.R. 2006. Determining acceptance of domestic forage- or grain-finished beef by consumers from three southeastern US states. *J. Food Sci.* 71: 542–546.
- CRANWELL, C.D.; UNRUH, J.A.; BRETHOUR, J.R.; SIMMS, D.D. 1996. Influence of steroid implants and concentrate feeding on carcass and *Longissimus* muscle sensory and collagen characteristics of cull beef cows. *J. Anim. Sci.* 74: 1777–1783.
- CROSS, H. R.; SCHANBACHER, B. D.; CROUSE, J. D. 1984. Sex, age and breed related changes in bovine testosterone and intramuscular collagen. *Meat Sci.* 10:187.
- CROSS, H. R.; WEST, R. L.; DUTSON, T. R. 1981. Comparison of methods for measuring sarcomere length in beef semitendinosus muscle. *Meat Sci.* 5: 261-266.

- CROUSE, J. D.; CALKINS, C. R.; SEIDEMAN, S. C. 1986. The effects of rate of change in body weight on tissue development and meat quality of youthful bulls. *J. Anim. Sci.* 63(6): 1824-1829.
- DALY, B.L.; GARDNER, G.E.; FERGUSON, D.M.; THOMPSON, J.M. 2006. The effect of time off feed prior to slaughter on muscle glycogen metabolism and rate of pH decline in three different muscles of stimulated and non-stimulated sheep carcasses. *Austr. J. Agricult. Res.* 57: 1229–1235.
- DAWSON, A.M.; FEARONB, L.E.R.; MOSSB, B.W.; WOODSA, V.B. 2010. Effects of substitution of a proportion of the concentrate in grass silage/concentrate-based diets with extruded linseed on performance and meat quality of dairy bulls. *Anim. Feed Sci. and Tech.* 156:10–18.
- DEL CAMPO, M.; BRITO, G.; SOARES DE LIMA, J.; HERNÁNDEZ, P.; MONTOSI, F. 2010. Finishing diet, temperament and lairage time effects on carcass and meat quality traits in steers. *Meat Sci.* 86: 908–914.
- DERBYSHIRE, W.; LUES, J.F.R.; JOUBERT, G.; SHALE, K.; JACOBY, A.; HUGO, A. 2007. Effect of electrical stimulation, suspension method and ageing on beef tenderness of the Bonsmara breed. *J. Muscle Foods.* 18: 207–225.
- DESTEFANIS, G.; BARGE, M. T.; BRUGIAPAGLIA, A.; TASSONE, S. 2000. The use of principal component analysis (PCA) to characterize beef. *Meat Sci.* 5: 255-259.
- DESTEFANIS, G.; BRUGIAPAGLIA, A.; BARGE, M. T.; DAL MOLIN, E. 2008. Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner–Bratzler shear force. *Meat Sci.* 78: (3) 153-156.
- DI MARCO, O.N. 1998. Crecimiento de vacunos para carne. INTA Balcarce, Argentina. Pp: 21-68.
- DÍAZ, M.T.; VIEIRA, C.; PÉREZ, C.; LAUZURICA, S.; GONZÁLEZ DE CHÁVARRI, E.; SÁNCHEZ, M. 2014. Effect of lairage time (0 h, 3 h, 6 h or 12 h) on glycogen content and meat quality parameters in suckling lambs. *Meat Sci.* 96 : 653-660.
- DRANSFIELD, E.; MARTIN, J.F.; BAUCHART, D.; ABOUELKARAM, S.; LEPETIT, J.; CULIOLI, J.; JURIE, C.; PICARD, B. 2003. Meat quality and composition of three muscles from French cull cows and young bulls. *Meat Sci.* 76: 387-399.
- DUBOST, A.; MICOL, D.; PICARD, B.; LETHIAS, C.; ANDUEZA, D.; BAUCHART, D.; LISTRAT, A. 2013. Structural and biochemical characteristics of bovine intramuscular connective tissue and beef quality. *Meat Sci.* 95: 555-561.
- DUTSON, T.R. 1983. The relationship of pH and temperature to disruption of specific muscle proteins and activity of lysosomal proteases. *J. Food Biochemistry.* 7: 223–245.
- ETHERINGTON, D.J.; SIMS, T.J. 1981. Detection and Estimation of Collagen . *J. Sci. Food Agric.* 32: 539-546.

- FABIANSSON, S.; LASER REUTERSWÄRD, A. 1984. Glycogen Determination in Post-Mortem Beef Muscles. *Food Chem.* 15: 269-284.
- FERGUSON, D. M.; WARNER, R. D. 2008. Have we underestimated the impact of pre-slaughter stress on meat quality in ruminants?. *Meat Sci.* 80: 12-19.
- FIEMS, L. O.; DE CAMPENEERE, S.; DE SMET, S.; VAN DE VOORDE, G.; VANACKER, J. M.; BOUCQUÉ, C. V. 2000. Relationship between fat depots in carcasses of beef bulls and effect on meat colour and tenderness. *Meat Sci.* 56: 41-47.
- FRANCE, J.; DIJKSTRA, J. 2005. Volatile fatty acid production. In: Dijkstra, J; Forbes. J.M. y France, J. (Eds.). *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism.* CABI International UK. Pp: 157- 175.
- FRENCH, P.; O'RIORDAN, E.G.; MONAHAN, F.J.; CAFFREY, P.J.; VIDAL, M.; MOONEY, M.T.; TROY, D.J.; MOLONEY, A.P. 2000. Meat quality of steers finished on autumn grass, grass silage or concentrate-based diets. *Meat Sci.* 56: 173–180.
- FRENCH, P.; O'RIORDAN, E. G.; MONAHAN, F. J.; CAFFREY, P. J.; MOONEY, M. T.; TROY, D. J.; MOLONEY, A. P. 2001. The eating quality of meat of steers fed grass and/or concentrates. *Meat Sci.* 57: 379-386.
- FRYLINCK, L.; STRYDOM, P.E.; WEBB, E.C.; DU TOIT, E. 2013. Effect of South African beef production systems on post-mortem muscle energy status and meat quality. *Meat Sci.* 93: 827–837.
- GARCIA, P.T.; PENSEL, N.; SANCHO, M.; LATIMORI, N.J.; KLOSTER, M.; AMIGONE, M.; CASAL, J.J. 2008. Beef lipids in relation to animal breed and nutrition in Argentina. *Meat Sci.* 79: 500–508.
- GARDNER, G. E.; MCINTYRE, B. L.; TUDOR, G. D.; PETHICK, D. W. 2001. The impact of nutrition on bovine muscle glycogen metabolism following exercise. *Austr. J. Agricult. Res.* 52: 461–470.
- GEESINK G.H.; KUCHAY, S.; CHISHTI, A.H.; KOOHMARAIE, M. 2006.  $\mu$ -Calpain is essential for postmortem proteolysis of muscle proteins. *J. Anim. Sci.* 84: 2834-2840.
- GEESINK, G. H.; KOOHMARAIE, M. 1999. Effect of calpastatin on degradation of myofibrillar proteins by mu-calpain under post- mortem conditions. *J. Anim. Sci.* 77: 2685–2692.
- GILL, M. y OLDHAM, J.D. 1993. Growth. In: Forbes. J.M. y France, J. eds. *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism.* CAB International UK. Pp: 383-403.

- GOLL, D. E.; THOMPSON, V. F.; TAYLOR, R. G.; ZALEWSKA, T. 1992. Is calpain activity regulated by membranes and autolysis or by calcium and calpastatin. *Bioessays*. 14: 549–556.
- GRUNERT, K. G.; BREDAHL, L.; BRUNSØ, K. 2004. Consumer perception of meat quality and implications for product development in the meat sector - a review. *Meat Sci*. 66: 259–272.
- GURR, M. I.; HARWOOD, J. L.; FRAYN, K. N. 2002. *Lipid biochemistry* ). Oxford: Blackwell Science. Pp. 199-212
- HERRING, H.K.; CASSENS, R.G.; BRISKEY, E.J. 1965. Further studies on bovine muscle tenderness as influenced by carcass position, sarcomere length, and fiber diameter. *J. Food Sci*. 30: 1049–1054.
- HESS, B. W.; MOSS, G. E.; RULE, D. C. 2008. A decade of developments in the area of fat supplementation research with beef cattle and sheep. *J. Anim. Sci*. 86:188-204.
- HONIKEL, K. O.; HAMM, R. 1978. Influence of cooling and freezing of minced pre-rigor muscle on the breakdown of ATP and glycogen. *Meat Sci*. 2: 181-188.
- HOPKINS, D.L.; ALLINGHAM, P.G.; COLGRAVE, M.; VAN DE VEN, R.J. 2013. Interrelationship between measures of collagen, compression, shear force and tenderness. *Meat Sci*. 95: 219-223.
- HUFF LONERGAN, E.; ZHANG, W.; LONERGAN, S.M. 2010. Biochemistry of postmortem muscle - lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Sci*. 86: 184-95.
- HUFF LONERGAN, E.; MITSUHASHI, T.; PARRISH, F.C.; RODSON, R.M. 1996. Sodium Dodecyl Sulfate- Polyacrilamide gel electrophoresis and Western blotting comparasions of purified myofibrils and whole muscle preparations for evaluating Titin and Nebulin in postmortem bovine muscle. *J. Anim. Sci*. 74: 779-785.
- HUNSLEY, R. E.; VETTER, R. L.; KLINE E. A.; 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.; PARK, B. Y.; CHO, S. H.; LEE, J. M. 2004. Effects of muscle shortening and proteolysis on Warner–Bratzler shear force in beef *Longissimus* and semitendinosus. *Meat Sci*. 68: 497-505.
- IMMONEN, K.; RUUSUNEN, M.; HISSA, K.; PUOLANNE, E. 2000. Bovine muscle glycogen concentration in relation to finishing diet, slaughter and ultimate pH. *Meat Sci*. 55: 25-31.
- IPCVA. Instituto de promoción de la carne vacuna Argentina. 2015. [En línea] <[http://www.ipcva.com.ar/documentos/1394\\_1429204865\\_informemensualdeexp\\_ortacionesmarzo2015.pdf](http://www.ipcva.com.ar/documentos/1394_1429204865_informemensualdeexp_ortacionesmarzo2015.pdf)> [Consulta: 5 octubre 2015]

- JACOB, R. H.; PETHICK, D. W.; CHAPMAN, H. M. 2005. Muscle glycogen concentrations in commercial consignments of Australian lamb measured on farm and post-slaughter after three different lairage periods. *Animal Prod. Sci.*45: 543-552.
- JACOB, R. H.; SURRIDGE, V. S. M.; BEATTY, D. T.; GARDNER, G. E.; WARNER, R. D. 2014. Grain feeding increases core body temperature of beef cattle. *Anim. Prod. Sci.* 54: (4) 444-449.
- JAMES, S.J.; BAILEY, C. 1986. Temperature changes , weight loss and product loads during beef chilling in Recent advances and developments in the refrigeration of meat by chilling. Paris: International Institute of Refrigeration. Pp 105-114.
- JURIE, C.; MARTIN, J.F.; LISTRAT, A.; JAILLER, R.; CULIOLI, J.; PICARD, B. 2005. Effects of age and breed of beef bulls on growth parameters, carcass and muscle characteristics. *Anim. Sci.* 80: 257-263.
- KEPPLER, D.; DECKER, K. 1974. Glycogen. Determination with amyloglucosidase. In: Bergmeyer, H. U. (Ed.). *Methods of enzymatic analysis* Verlag Chemie, Weinheim/Bergstr., pp. 1127-1131.
- KILLINGER, K.M.; CALKINS, W.J.; UMBERGER, W.J.; FEUZ, D.M.; ESKRIDGE, K.M. 2004a. Consumer visual preferences and value for beef steaks differing in marbling level and color. *J. Anim. Sci.* 82: 3288–3293.
- KILLINGER, K.M.; CALKINS, W.J.; UMBERGER, W.J.; FEUZ, D.M.; ESKRIDGE, K.M. 2004b. A comparison of consumer sensory acceptance and value of domestic beef steaks and steaks from a branded, Argentine beef program. *J. Anim. Sci.* 82: 3302-3307.
- KIM, Y. H. B.; WARNER, R. D.; ROSENVOLD, K. 2014. Influence of high pre-rigor temperature and fast pH fall on muscle proteins and meat quality: a review. *Anim. Prod. Sci.* 54: (4) 375-395.
- KLOSTER, A.M.; LATIMORI, N.J.; AMIGONE, M.A.; GHIDA DAZA, C. 2003. Invernada de alta producción sobre pasturas base alfalfa con suplementación estratégica, Cap VII. En: Latimori, N. J. y Kloster A. M (Eds.) *Invernada bovina en zonas mixtas*. 2da Ed. INTA C. R. Córdoba Argentina. ISSN: 0329-0077. Agro 2 de Córdoba. Pp. 226- 247.
- KOOHMARAIE, M.; DOUMIT, M.E.; WHEELER, T.L. 1996. Meat toughening does not occur when rigor shortening is prevented. *J. Anim. Sci.* 74: 2935-2942.
- KRAMMER, A. 1994. Use of color measurements in quality control of food. *Food Technol.* 48: 63-71.
- LATIMORI, N.J.; KLOSTER, A.M.; GARCÍA, P.T.; CARDUZA, F.J.; GRIGIONI, G.; PENSEL, N.A. 2008. Diet and genotype effects on the quality index of beef produced in the Argentine Pampeana region. *Meat Sci.* 79: 463-469.

- LEFAUCHEUR, L. 2010. A second look into fibre typing—Relation to meat quality. *Meat Sci.*84: 257-270.
- LEPETIT, J. 2007. A theoretical approach of the relationships between collagen content, collagen cross-links and meat tenderness. *Meat Sci.*76: 147-159.
- LEPETIT, J. 2008. Collagen contribution to meat toughness: Theoretical aspects. *Meat Sci.* 80: 960-967.
- LI, C.B.; ZHOU, G.H.; XU, X.L. 2010. Dynamical Changes of Beef Intramuscular Connective Tissue and Muscle Fiber during Heating and their Effects on Beef Shear Force. *Food Bioprocess Technol.* 3: 521-527.
- LINDSAY, D.B. 1993. Metabolism of the portal drained viscera. In: Forbes. J.M. y France, J. (Eds.). *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism.* CAB International UK. Pp: 267- 298.
- LOMIWES, D.; FAROUK, M.M.; WU, G.; YOUNG, O.A. 2014. The development of meat tenderness is likely to be compartmentalised by ultimate pH. *Meat Sci.* 96: 646-651.
- LUCERO-BORJA, J.; POUZO, L. B.; DE LA TORRE, M. S.; LANGMAN, L.; CARDUZA, F.; CORVA, P. M.; SANTINI, F. J.; PAVAN, E. 2014. Slaughter weight, sex and age effects on beef shear force and tenderness. *Livestock Sci.*163: 140-149.
- LUSK, J.L.; FOX, J.A.; SCHROEDER, T.C.; MINTERT, J.; KOOHMARAIE, M. 2001. In- store valuation of steak tenderness. *Am. J. Agricult. Econ.* 83: 539–550.
- MAGyP. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca. 2015. [En línea] <<http://www.minagri.gob.ar/site/ganaderia/bovinos/index.php>> [Consulta: 5 octubre 2015].
- MAGHFIROH, K.; LATIF, H.; SANTOSO, K. 2014. Cortisol hormone concentration and meat quality of beef cattle stunned by captive bolt stun gun before slaughtering. *Media Peternakan.* 37:155-160.
- MAHECHA, L.; NUERNBERG, K.; NUERNBERG, G.; ENDER, K.; HAGEMANN, E.; DANNENBERGER, D. 2009. Effects of diet and storage on fatty acid profile, micronutrients and quality of muscle from German Simmental bulls. *Meat Sci.* 82: 365-371.
- MALTIN, C. A.; SINCLAIR, K. D.; WARRISS, P. D.; GRANT, C. M.; PORTER, A. D.; DELDAY, M. I.; WARKUP, C. C. 1998. The effects of age at slaughter, genotype and finishing system on the biochemical properties, muscle fibre type characteristics and eating quality of bull beef from suckled calves. *Animal Sci.* 66: 341-348.
- MALTIN, C.; BALCERZAK, D.; TILLEY, R.; DELDAY, M. 2003. Determinants of meat quality: tenderness. *Proc. Nutri. Soc.* 62 (02): 337-347.

- MANCINI, R.A. y HUNT, M.C. 2005. Current research in meat color. Review. *Meat Sci.* 71: 100-121.
- MARSH, B. B.; CARSE, W. A. 1974. Meat tenderness and the sliding filament hypothesis. *J. Food Technol.* 9: 129–139.
- MARTIN, A. H.; FREDEEN, H. T.; WEISS, G. M. 1971. Characteristics of youthful beef carcasses in relation to weight, age and sex: iii. Meat quality attributes. *Can. J. Animal Sci.* 51: 305-315.
- MCCORMICK, R. J. 1999. Extracellular modifications to muscle collagen: Implications for meat quality. *Poult. Sci.* 78:785.
- MCCORMICK, R.J. 1994. The flexibility of the collagen compartment of muscle. *Meat Sci.* 36: 79-91.
- MCVEIGH, J.M.; TARRANT, P.V.; HARRINGTON, M.G. 1982. Behavioral Stress and Skeletal Muscle Glycogen Metabolism in young bulls. *J. Anim. Sci.* 54:790-795.
- MEISINGER, D. 1999. A System for Assuring Pork Quality. Des Moines, IA, USA: National Pork Producers Council. Pp. 7.
- MELODY, J.L.; LONERGAN, S.M.; ROWE, L.J.; HUIATT, T.W.; MAYES, M.S.; HUFF-LONERGAN, E. 2004. Early postmortem biochemical factors influence tenderness and water- holding capacity of three porcine muscles. *J. Anim. Sci.* 82:1195–1205.
- MILLER, M.F.; CROSS, H.R.; CROUSE, J.D.; JENKINS, T.G. 1987. Effect of feed energy intake on collagen characteristics and muscle quality of mature cows. *Meat Sci.* 21: 287–294.
- MILLER, M. F.; CARR, M. A.; RAMSEY, C. B.; CROCKETT, K. L.; HOOVER, L. C. 2001. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. *J. Anim. Sci.* 79: (12) 3062-3068.
- MONIN, G. y SELLIER, P. 1985. Pork of low technological quality with a normal rate of muscle pH fall in the intermediate postmortem period: the case of the Hampshire breed. *Meat Sci.* 13: 49-63.
- MONSÓN, F.; SAÑUDO, C.; SIERRA, I. 2004. Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. *Meat Sci.* 68, 595–602.
- MUCHENJE, V.; DZAMA, K.; CHIMONYO, M.; STRYDOM, P. E.; HUGO, A.; RAATS, J. G. 2009. Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review. *Food Chem.* 112(2): 279-289.
- MUIR, P.D., DEAKER, J.M.; BROWN, M.D. 1998. Effects of forage and grain based feeding systems on beef quality: A review. *New Zealand J. Agric. Res.* 41: 623-635.

- NEATH, K.E.; DEL BARRIO, N.; LAPITAN, R.M.; HERRERA, J.R.V.; CRUZ, L.C., FUJIHARA, T.; MUROYA, S.; CHIKUNI, K.; HIRABAYASHI, M.; KANAI, Y. 2007. Difference in tenderness and pH decline between water buffalo meat and beef during postmortem aging. *Meat Sci.* 75: 499-505.
- NRC. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. National Academy Press, Washington, DC. Pp.3-16.
- O'SULLIVAN, A.; GALVIN, K.; MOLONEY, A.P.; TROY, D.J.; O'SULLIVAN, K.; KERRY, J.P. 2003. Effect of pre-slaughter rations of forage and/ or concentrates on the composition and quality of retail packaged beef. *Meat Sci.* 63: 279–286.
- OTREMBIA, M. M.; DIKEMAN, M. E.; MILLIKEN, G. A.; STRODA, S. L.; UNRUH, J. A.; CHAMBERS, E. 1999. Interrelationships among evaluations of beef *Longissimus* and semitendinosus muscle tenderness by Warner-Bratzler shear force, a descriptive-texture profile sensory panel, and a descriptive attribute sensory panel. *J. Anim. Sci.* 77: (4) 865-873.
- PARRISH, F. C.; BAILEY, M. E.; NAUMANN, H. D. 1962. Hydroxyproline as a measure of beef tenderness. *Food Technol.* 16:68-71.
- PAVAN, E., DUCKETT, S.K. y ANDRAE, J.G. 2007. Corn oil supplementation to steers grazing endophyte-free tall fescue. I. Effects on in vivo digestibility, performance, and carcass traits. *J. Anim. Sci.* 85: 1330- 1339.
- PEARCE, K. L.; ROSENVOLD, K.; ANDERSEN, H. J.; HOPKINS, D. L. 2011. Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes—A review. *Meat Sci.* 89: 111-124.
- PEREIRA, P. M. D. C. C.; VICENTE, A. F. D. R. B. 2013. Meat nutritional composition and nutritive role in the human diet. *Meat Sci.* 93: 586-592.
- PETHICK, D. W.; HARPER, G. S.; ODDY, V. H. 2004. Growth, development and nutritional manipulation of marbling in cattle: a review. *Anim. Prod. Sci.* 44: 705-715.
- PETHICK, D. W.; ROWE, J. B.; TUDOR, G. 1995. Glycogen metabolism and meat quality. *Recent Advances in Animal Nutrition in Australia*. Pp. 97-102.
- PETTE, D. y STARON, R. 1990. Cellular and molecular diversities of mammalian skeletal muscle fibers. *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.* 116: 1–76.
- PIGHIN, D.G.; DAVIES, P.; GRIGIONI, G.; PAZOS, A.A.; CECONI, I.; MENDEZ, D., BUFFARINI, M.; SANCHO, A.; GONZALEZ, C.B. 2013. Effect of slaughter handling conditions and animal temperament on bovine meat quality markers. *Arch. Zoot.* 62: 239-404.
- PLATTER, W. J.; TATUM, J. D.; BELK, K. E.; CHAPMAN, P. L.; SCANGA, J. A.; SMITH, G. C. (2003). Relationship of consumer sensory ratings, marbling score,



- and shear force value to consumer acceptance of beef strip loin steaks. *J. of Anim. Sci.* 81: 2741–2750.
- PÖSÖ, A. R.; PUOLANNE, E. 2005. Carbohydrate metabolism in meat animals. *Meat Sci.* 70: 423-434.
- POUZO, L.; FANEGO, N.; SANTINI, F. J.; DESCALZO, A.; PAVAN, E. 2015. Animal performance, carcass characteristics and beef fatty acid profile of grazing steers supplemented with corn grain and increasing amounts of flaxseed at two animal weights during finishing. *Livestock Sci.* 178: 140-149.
- PRIOLO, A.; MICOL, D.; AGABRIEL, J. 2001. Effects of grass feeding systems on ruminant meat colour and flavour. *Review. Anim. Res.* 50: 185-200.
- PURCHAS, R. W.; YAN, X.; HARTLEY, D. G. 1999. The influence of a period of ageing on the relationship between ultimate pH and shear values of beef m. *Longissimus thoracis*. *Meat Sci.* 51: 135-141.
- PURSLOW, P.P. 2005. Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Review. Meat Sci.* 70: 435-447.
- RAZMINOWICZ, R. H.; KREUZER, M.; LEUENBERGER, H.; SCHEEDER, M. R. L. 2008. Efficiency of extruded linseed for the finishing of grass-fed steers to counteract a decline of omega-3 fatty acids in the beef. *Livestock Sci.* 114: 150-163.
- REALINI, C.E.; DUCKETT, S.K.; BRITO, G.W.; DALLA RIZZA, M.; DE MATTOS, D. 2004. Effect of pasture vs. concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. *Meat Sci.* 66: 567-577.
- RESURRECCION, A. V. A. 2004. Sensory aspects of consumer choices for meat and meat products. *Meat Sci.* 66: (1) 11-20.
- RHEE, M.S.; WHEELER, T.L.; SHACKELFORD, S.D.; KOOHMARAIE, M. 2004. Variation in palatability and biochemical traits within and among eleven beef muscles. *J. Anim. Sci.* 82, 534–550.
- SAMI, A.S.; AUGUSTINI, C.; SCHWARZ, F.J. 2004. Effects of feeding intensity and time on feed on performance, carcass characteristics and meat quality of Simmental bulls. *Meat Sci.* 67: 195-201.
- SAÑUDO, C.; MACIE, E.S.; VILLARROEL, J.L.; OLLETA, M.; PANEA, B.; ALBERTI, P. 2004. The effects of slaughter weight, breed type and ageing time on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Sci.* 66: 925-932.
- SAVELL, J. W.; MUELLER, S. L.; BAIRD, B. E. 2005. The chilling of carcasses. *Meat Sci.* 70: 449-459.

- SCHNELL, T.D.; BELK, K.E.; TATUM, J.D.; MILLER, R.K.; SMITH, G.C. 1997. Performance, carcass, and palatability traits for cull cows fed high energy concentrate diets for 0, 14, 28, 42, or 56 days. *J. Anim. Sci.* 75: 1195-1202.
- SCHOLLJEGERDES, E.J.; KRONBERG, S.L. 2008. Influence of level of supplemental whole flaxseed on forage intake and site and extent of digestion in beef heifers consuming native grass hay. *J. Anim. Sci.* 86: 2310-2320.
- SCHÖNFELDT, H.C.; STRYDOM, P.E. 2011. Effect of age and cut on tenderness of South African beef. *Meat Sci.* 87: 206-218.
- SCHOR, A.; COSSU, M. E.; PICALLO, A.; FERRER, J. M.; NAÓN, J. J. G.; COLOMBATTO, D. 2008. Nutritional and eating quality of Argentinean beef: A review. *Meat Sci.* 79: 408-422.
- SCOLLAN, N.; HOCQUETTE, J.F.; NUERNBERG, K.; DANNENBERGER, D.; RICHARDSON, I.; MOLONEY, A. 2006. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Sci.* 74: 17–33.
- SEIDEMAN, C.; SMITHL, C.; DURLANDJ, P.R. 1984. Factors associated with fresh meat color: Heme-Chemistry. *Meat Sci.* 6: 211-237.
- SENTANDREU, M. A.; COULIS, G.; OUALI, A. (2002). Role of muscle endopeptidases and their inhibitors in meat tenderness. *Trends in Food Sci. Tech.* 13: 400–421.
- SERRA, X.; GIL, M.; GISPERT, M.; GUERRERO, L.; OLIVER, M. A.; SAÑUDO, C.; PIEDRAFITA, J. 2004. Characterisation of young bulls of the Bruna dels Pirineus cattle breed (selected from old Brown Swiss) in relation to carcass, meat quality and biochemical traits. *Meat Sci.* 66: 425-436.
- SERRANO, E.; PRADEL, P.; JAILLER, R.; DUBROEUCQ, H.; BAUCHART, D.; HOCQUETTE, J.F. 2007. Young Salers suckled bull production: effect of diet on performance, carcass and muscle characteristics and meat quality. *J. Anim. Sci.* 1: 1068-1079.
- SHACKELFORD, S.D.; WHEELER, T.L.; MEADE, M.K.; REAGAN, J.O.; BYRNES, B.L.; KOOHMARAIE, M. 2001. Consumer impressions of tender select beef. *J. Anim.Sci.* 79: 2605–2614.
- SILVA, C.C.G.; REGO, O.; SIMÕES, E.R.E. ; ROSA, H.J.D. 2010. Consumption of high energy maize diets is associated with increased soluble collagen in muscle of Holstein bulls. *Meat Sci.* 86: 753-757.
- SMITH, G. C.; BELK, K. E.; SOFOS, J. N.; TATUM, J. D.; WILLIAMS, S. N. 2000. Economic implications of improved color stability in beef. Antioxidants in muscle foods: Nutritional strategies to improve quality. Wiley, New York, NY. Pp. 397-426.

- SORIA, L.A.; CORVA, P.M. 2004. Factores genéticos y ambientales que determinan la ternera de la carne bovina. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 12: 73-88.
- SYLVESTRE, M. N.; BALCERZAK, D.; FEIDT, C.; BARACOS, V. E.; BELLUT, J. B. 2002. Elevated rate of collagen solubilization and postmortem degradation in muscles of lambs with high growth rates: Possible relationship with activity of matrix metalloproteinases. J. Anim. Sci. 80: 1871-1878.
- TADICH, N.; GALLO, C.; BUSTAMANTE, H.; SCHWERTER, M.; VAN SCHAİK, G. 2005. Effects of transport and lairage time on some blood constituents of Friesian-cross steers in Chile. Livestock Prod. Sci. 93: 223-233.
- TARRANT, P. V. 1989. Animal behaviour and environment in the dark-cutting condition in beef-a review. Irish J. Food Sci. Tech. 1-21.
- TATUM, J.D.; SMITH, G.C.; CARPENTER, Z.L. 1982. Interrelationships between marbling, subcutaneous fatthickness and cooked beef palatability .J. Anim. Sci. 54: 777-784.
- THÉNARD, V.; DUMONT, R.; GROSSE, M.; TROMMENSCHLAGER, J.M.; FIORELLI, J.L.; ROUX, M. 2006. Grass steer production system to improve carcass and meat quality. Livestock Sci. 105: 185–197.
- THERKILDSEN, M.; HOUBAK, M.B.; BYRNE, D.V. 2008. Feeding strategy for improving tenderness has opposite effects in two different muscles. Meat Sci. 80: 1037–1045
- THOMPSON, J.M. 2002. Managing meat tenderness. Meat Sci. 62: 295-308.
- TOOHEY, E.S.; HOPKINS, D.L. 2006. Effects of lairage time and electrical stimulation on sheep meat quality. Australian J. Experimental Agriculture. 46: 863-867.
- TORRESCANO, G.; SANCHEZ-ESCALANTE, A.; GIMENEZ, B.; RONCALES, P.; BELTRÁN, J. A. 2003. Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. Meat Sci.64: 85-91.
- TROY, D. J.; KERRY, J. P. 2010. Consumer perception and the role of science in the meat industry. Meat Sci. 86(1): 214-226.
- USDA. UNITED STATE DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 2015. [En línea]  
< <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome> > [Consulta: 1 octubre 2015]
- VELLEMAN, S. G. 2012. Meat science and muscle biology symposium: Extracellular matrix regulation of skeletal muscle formation. J. Anim. Sci. 90: 936-941.
- VESTERGAARD, M.; OKSBJERG, N.; HENCKEL, P. 2000. Influence of feed intensity, grazing and finishing feeding on muscle fibre characteristics and meat colour of semitendinosus, *Longissimus dorsi* and supraspinatus muscles of young bulls. Meat Sci. 54:177-185.

- VIEIRA, C.; CERDEÑO, A.; SERRANO, E.; LAVÍN, P.; MANTECÓN, A.R. 2007. Breed and ageing extent on carcass and meat quality of beef from adult steers (oxen). *Livestock Sci.* 107: 62-69.
- WARNER, R.D.; KEARNEY, G.A.; THOMPSON, J.M.; POLKINGHORNE, R. 2009. Rigor temperature influences objective and consumer quality traits of beef striploin. *Proceedings of the 55th international congress of meat science and technology*, 16–21 August 2009, Copenhagen, Denmark.
- WARNER, R. D.; DUNSHEA, F. R.; GUTZKE, D.; LAU, J.; KEARNEY, G. 2014. Factors influencing the incidence of high rigor temperature in beef carcasses in Australia. *Anim. Prod. Sci.* 54: (4) 363-374.
- WARREN, H. E.; SCOLLAN, N. D.; NUTE, G. R.; HUGHES, S. I.; WOOD, J. D.; RICHARDSON, R. I. (2008). Effects of breed and a concentrate or grass silage diet on beef quality in cattle of 3 ages. II: Meat stability and flavour. *Meat Sci.* 78: 270-278.
- WARRISS, P. D.; KESTIN, S. C.; BROWN, S. N.; WILKINS, L. J. 1984. The time required for recovery from mixing stress in young bulls and the prevention of dark cutting beef. *Meat Sci.* 10: 53-68.
- WARRISS, P.D. 1990. The handling of cattle pre-slaughter and its effects on carcass and meat quality. *Applied Anim. Behav. Sci.* 28: 171–186.
- WARRISS, P.D. 2000. *Meat science an introductory text*. CABI. P. 309 p.
- WARRISS, P.D., BROWN, S.N., BEVIS, E.A., KESTIN, S.C. y YOUNG, C.S. 1987. Influence of food withdrawal at various times pre slaughter on carcass yield and meat quality in sheep. *J. Food and Agriculture.* 39: 325-334.
- WATANABE, A.; DALY, C.C.; DEVINE, C.E. 1996. The effects of the ultimate pH of meat on tenderness changes during ageing. *Meat Sci.* 42: 67-78.
- WEAVER, A. D.; BOWKER, B. C.; GERRARD, D. E. 2009. Sarcomere length influences  $\mu$ -calpain-mediated proteolysis of bovine myofibrils. *J. Anim. Sci.* 87: 2096-2103.
- WEAVER, A.D.; BOWKER, B.C.; GERRARD, D.E. 2008. Sarcomere length influences post- mortem proteolysis of excised bovine semitendinosus muscle. *J. Anim. Sci.* 86: 1925-1932.
- WILLIAMS, P. 2007. Nutritional composition of red meat. *Nutrition & Dietetics.* 64: 113S119.
- WOOD, J.D.; ENSER, M.; FISHER, V.; NUTE, G.R.; SHEARD, P.R.; RICHARDSON, R.I.; HUGHES, S.I.; WHITTINGTON, F.M. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Sci.* 78: 343-58.

- WU, G.; FAROUK, M.M.; CLERENS, S.; ROSENVOLD, K. 2014. Effect of beef ultimate pH and large structural protein changes with aging on meat tenderness. *Meat Sci.* 98: 637-45.
- WULF, D.M.; TATUM, J.D.; GREEN, R.D.; MORGAN, J.B.; GOLDEN, B.L.; 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.; SMITH, G.C. 1997. Using objective measures of muscle color to predict beef *Longissimus* tenderness. *J. Anim. Sci.* 75: 684-692.
- WULF, D.M.; PAGE, J. K. 2000. Using measurements of muscle color, pH, and electrical impedance to augment the current USDA beef quality grading standards and improve the accuracy and precision of sorting carcasses into palatability groups. *J. Anim. Sci.* 78: 2595-2607.
- WULF, D.M.; EMNETT, R.S.; LEHESKA, J.M.; MOELLER S. J. 2002. Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. *J. Anim. Sci.* 80: 1895-1903.