

**VARIACIONES EN LA CALIDAD DE LA CARNE ASOCIADAS AL CONSUMO
RESIDUAL DE BOVINOS EN PASTOREO**

María Milagros, DELLA ROSA

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

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS AGRARIAS

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

Balcarce, Argentina

Diciembre 2018

VARIACIONES EN LA CALIDAD DE LA CARNE ASOCIADAS AL CONSUMO
RESIDUAL DE BOVINOS EN PASTOREO

María Milagros, DELLA ROSA

Comité asesor:



.....
Ing. Agr. Enrique Pavan, *M.Sc., Ph. D.*

Director de Tesis

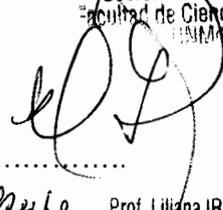
VARIACIONES EN LA CALIDAD DE LA CARNE (COLOR Y LA RESISTENCIA AL CORTE) ASOCIADAS AL CONSUMO RESIDUAL DE BOVINOS EN PASTOREO

María Milagros, DELLA ROSA

Aprobada por:

.....
Dr. Carlos Sañudo

.....
Dr. Ali Saadoun *p/skype* 

.....
Dra. Gabriela Grigioni *p/skype* 
Prof. Liliانا IRIARTE, Mag
Secretaria de Posgrado
Facultad de Ciencias Agrarias
UNMdP

ÍNDICE

ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ABREVIATURAS Y SIGLAS	IX
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN.....	1
1. Hipótesis	3
2. Objetivos generales.....	3
3. Objetivos particulares.....	4
CAPÍTULO I	
Revisión bibliográfica	5
1. Producción y comercialización de la carne bovina.....	6
2. Eficiencia en el uso de los alimentos.....	6
2.1. Regulación del consumo	10
2.2. Factores que modifican la clasificación de los animales por consumo residual.....	11
3. Variables que explican al consumo residual.....	13
3.1. Actividad física	13
3.2. Comportamiento ingestivo.....	14
3.3. Digestibilidad.....	14
3.4. Calor	15
3.5. Estrés, recambio proteico, y metabolismo tisular.....	15
3.6. Composición corporal.....	17
4. Dificultades para la evaluación y adopción del consumo residual como medida de selección.....	19
5. Variables sensoriales de calidad de la carne.....	19
5.1. Color del músculo.....	19
5.1.1. Factores que afectan el descenso del pH <i>post mortem</i>	21
5.1.2. Factores que afectan el descenso de la temperatura <i>post mortem</i>	22
5.2. Terneza.....	23
5.2.1. El tejido conectivo	24
5.2.2. La longitud de los sarcómeros.....	25

5.2.3. La maduración de la carne: proteólisis <i>post mortem</i>	26
5.3. El color y la terneza de la carne en animales de alto y bajo consumo residual	27
6. Relevancia del trabajo	33
CAPÍTULO II:	
Materiales y Métodos	34
1. Introducción.....	35
2.1. Ensayo a campo.....	36
2.1.1. Animales y lugar experimental.....	36
2.1.2. Manejo general de los animales	36
2.1.3. Estimación del consumo en pastoreo	37
2.1.3.1. Estimación del consumo residual	42
2.1.4. Determinación de la velocidad de escape	42
2.1.5. Manejo pre-faena	43
2.2. Faena, mediciones en frigorífico y toma de muestras.....	43
2.2.1. Color del músculo <i>Longissimus</i>	44
2.2.2. Área de ojo de bife y espesor de grasa dorsal.....	44
2.2.3. Acondicionamiento de muestras	44
2.3. Determinaciones en el laboratorio	45
2.3.1. Glucógeno total	45
2.3.1.1. Glucógeno residual.....	46
2.3.1.2. Lactato muscular	46
2.3.2. Determinación de materia seca y lípidos intramusculares	47
2.3.3. Contenido de colágeno muscular	47
2.3.3.1. Colágeno total	47
2.3.3.2. Colágeno insoluble	47
2.3.4. Longitud de los sarcómeros.....	48
2.3.5. Índice de fragmentación miofibrilar (IFM).....	48
2.3.6. Resistencia al corte del músculo <i>Longissimus</i>	49
CAPÍTULO III:	
Variables que explican el consumo y se relacionan con el consumo residual	50
1. Introducción.....	51
2. Materiales y métodos	53
3. Resultados	55
3.1. Velocidad de escape	55

3.2. Consumo de materia seca, características productivas y calidad de carcasas.....	57
3.3. Variables que explican el consumo	60
4. Discusión	62
4.1. Generalidades.....	62
4.1.1. Evolución de la velocidad de escape a través del tiempo	63
4.2. Variables evaluadas como candidatas para explicar la variación en el consumo.....	64
4.2.1. Composición corporal y consumo de materia seca.....	65
4.2.2. Recambio protéico y consumo de materia seca	67
4.2.3. Temperamento y consumo de materia seca.....	67
4.3. Relación entre el consumo y el color de la carne.....	68
4.4. Relación entre el consumo y la resistencia al corte de la carne.....	69
5. Consideraciones finales	70
CAPÍTULO IV:	
Variaciones en color y resistencia al corte de la carne	71
1. Introducción.....	72
2. Materiales y métodos	74
3. Resultados	75
3.1. Análisis de componentes principales y correlaciones	75
3.2. Variables que explican el color y la resistencia al corte de la carne.....	82
4. Discusión	84
4.1. Variables que explican el color de la carne.....	84
4.2. Variables que explican la resistencia al corte de la carne.....	87
4.3. Asociaciones entre variables productivas y/o de calidad de la carne.....	90
5. Consideraciones finales	91
CONCLUSIONES GENERALES.....	92
1. Implicancias	92
2. Limitaciones	92
3. Investigaciones futuras.....	93
Bibliografía	94

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1. Resultados obtenidos en trabajos con bovinos donde se estudió el efecto del consumo residual sobre el color, la resistencia al corte de la carne y variables asociadas	29
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO II

Tabla 2. Composición de la dieta de los animales durante el período de medición de consumo en ambos ciclos productivos.....	39
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO III

Tabla 3. Media, desvío estándar y coeficientes de correlación de Pearson entre los promedios de la velocidad de escape tomados en cien días para los animales del primer ciclo productivo (arriba de la diagonal) y los del segundo ciclo productivo (debajo de la diagonal).....	55
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 4. Consumo diario de materia seca, pastura y suplemento; y digestibilidad <i>in vivo</i> en novillos y vaquillonas Angus al inicio de la terminación en dos ciclos productivos consecutivos en pasturas perennes.....	58
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 5. Variables productivas y características de carcasa de novillos y vaquillonas Angus recriados y terminados en pastoreo durante dos ciclos productivos.....	59
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 6. Coeficientes de determinación para el consumo de materia seca que incluye el ciclo, sexo de los animales, características de las carcasas y de calidad de carne.....	61
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO IV

Tabla 7. Media y desvío estándar asociadas con la calidad de la carne de novillos y vaquillonas Angus recriados y terminados en pastoreo durante dos ciclos productivos.....	76
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 8. Resultados del análisis de componentes principales para las seis primeras componentes	77
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 9. Media, desvío estándar y autovectores para las cuatro componentes principales de las características de carcasas y calidad del músculo <i>Longissimus thoracis</i> incluidas en el análisis de componentes principales	79
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 10. Coeficientes de correlación de Pearson entre variables relacionadas a la calidad de carne.....	81
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Tabla 11. Ecuaciones para predecir el color y la resistencia al corte a los 3, 7 y 14 d de maduración del músculo Longissimus thoracis de novillos y vaquillonas criados y terminados con pasturas	83
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Consumo residual.....	9
Figura 2. Variables que explican al consumo residual	13

CAPÍTULO III

Figura 3. Media de mínimos cuadrados para velocidad de escape en el primer ciclo de producción para cada RANKING de velocidad de escape.....	56
Figura 4. Media de mínimos cuadrados para velocidad de escape en el segundo ciclo de producción para cada RANKING de velocidad de escape.....	57

CAPÍTULO IV

Figura 5. Gráfico de las dos componentes principales (CP 1 y CP 2) y sus vectores de carga	80
Figura 6. Relación entre la concentración de glucógeno y el pH medido a las 24 horas <i>post mortem</i>	84

ABREVIATURAS Y SIGLAS

μL: microlitro

μmol: micromol

ADPV g: aumento diario de peso general

ADPV r: aumento diario de peso en recría

ADPV t: aumento diario de peso en terminación

AOB: área de ojo de bife

BBA: bloque de bife angosto

C-1: primer ciclo productivo

C-2: segundo ciclo productivo

CI: colágeno insoluble

cm: centímetro

cm²: centímetro cuadrado

CMSE: consumo de materia seca esperado

CR: consumo residual

Cr₂O₃: bióxido de tricromo

CT: colágeno total

d: día

DABA: dimetilamino benzaldehído

EGD: espesor de grasa dorsal

FDA: fibra detergente ácido

FDN: fibra detergente neutro

FDNi: fibra detergente neutro indigestible

g: gramo

GBBA: grasa en bloque de bife angosto

GIM: grasa intramuscular

Gluco: glucógeno

h: hora

HB: proporción de hueso en bloque

HBBA: hueso en bloque de bife angosto

HCl: ácido clorhídrico

IFM: índice de fragmentación miofibrilar

IFM: índice de fragmentación miofibrilar

K₂HPO₄: fosfato de potasio dibásico

kg: kilogramo

kgf: kilogramo fuerza

KH₂PO₄: fosfato de potasio monobásico

LS: longitud de sarcómeros;

LT: *Longissimus thoracis*

m: minuto

M: molar

MA: músculos anexos

MB: proporción de músculo en bloque

mbar: milibar

MBBA: músculo en bloque de bife angosto

Mcal: megacaloría

mg: miligramo

ml: mililitro

mM: mili mol

mm: milímetro

mm²: milímetro cuadrado

MO: materia orgánica

MS: materia seca

MT: músculo *Longissimus thoracis*

N: normal

NaOH: hidróxido de sodio

nm: nano-metro

°C: grado Celsius

OH-Prol: hidroxiprolina

PB: proteína bruta

PCC: peso de carcasas calientes

pH_24h: pH 24 horas *post mortem*

pH_45m: pH 45 minutos *post mortem*

PV: peso vivo

WBSF 3d: resistencia al corte a los 3 días de maduración

WBSFd: resistencia al corte a los 7 días de maduración

WBSF14d: resistencia al corte a los 14 días de maduración

s: segundo

Temp_3h: temperatura 3 horas *post mortem*

tn: tonelada

VE: velocidad de escape

RESUMEN

El consumo residual es una forma de medir la eficiencia en el uso de los alimentos y representa la variación en el consumo de materia seca no explicada por el peso y la ganancia de peso de los animales en evaluación. Dentro de las variables que contribuyen a explicar hasta el 40% de la variación del consumo residual se encuentran el estrés, el metabolismo tisular, el recambio proteico y la composición corporal. Como el consumo de materia seca es una variable cuantitativa, en la que intervienen numerosos genes, la relación que se establezca entre el consumo de materia seca y la calidad de la carne dependerá de las variables intervinientes. En los sistemas de recría y engorde en pastoreo algunas variables (espesor de grasa dorsal, grasa intramuscular y el glucógeno), que intervienen directamente sobre el color y la resistencia al corte de la carne, pueden adquirir mayor relevancia que en animales terminados con dietas energéticas. Por lo tanto, es necesario identificar las variables que afectan al color y la terneza, para mantener o mejorar la calidad de la carne producida en sistemas pastoriles. Los objetivos del presente trabajo fueron a) Determinar si parte de la variación existente en el color y la resistencia al corte de la carne de animales en pastoreo está asociada a cambios en el consumo y b) Identificar variables que afectan al color y a la resistencia al corte en animales criados y terminados en sistemas pastoriles. El presente trabajo se realizó en dos ciclos productivos utilizando animales de la raza Angus (Primer ciclo: C-1, 23 machos y 15 hembras animales y Segundo ciclo: C-2, 24 machos y 28 hembras). El peso vivo y la velocidad de escape se registraron cada 21 d. Cuando el peso vivo promedio de los animales alcanzó los 370 kg se estimó el consumo de materia seca (CMS) mediante estimación de la digestibilidad individual y excreta de heces de cada animal. Los animales se faenaron en un frigorífico comercial a los 450 kg de peso vivo promedio. En el frigorífico se determinó el peso de la carcasa caliente, el área de ojo de bife, el espesor de grasa dorsal, pH y temperatura a las 3 h *post mortem*, pH a las 24 h *post mortem*, el color del músculo *Longissimus thoracis* (LT) en la cara caudal a nivel de la 12° costilla, a las 24 h *post mortem* luego de 30 m de *blooming*. Se extrajo el bloque de bife comprendido entre 9-12°, el cual fue separado en hueso, grasa intermuscular, LT y músculos anexos (MA). La grasa intramuscular se determinó en LT y MA. En el LT se determinó la resistencia al corte (WBSF) en tres tiempos de maduración (3, 7 y 14 d), glucógeno total, colágeno total e insoluble, longitud de sarcómeros e índice de

degradación miofibrilar a los 3 d de maduración. Los datos se analizaron mediante modelos lineales mixtos donde se evaluó el CMS en función de las posibles variables explicativas. También se realizó la selección de variables explicativas del color y la resistencia al corte mediante análisis de regresión con selección *Stepwise*. Entre las variables incluidas en la ecuación para explicar el consumo, sólo los parámetros colorimétricos (L^* , a^* y b^* ; $P < 0,05$) permitieron explicar parte de la variación en el consumo una vez incluido el peso vivo y la ganancia de peso. La inclusión del valor L^* explicó un 6% de la variación del consumo de materia seca ($P = 0,02$); en tanto que, la incorporación de los valores a^* o b^* permitieron explicar 5% de dicha variación ($P = 0,05$ y $P = 0,05$). Ninguna de las demás variables incluidas en el modelo permitió mejorarlo (padre, ciclo, sexo, espesor de grasa dorsal, índice de fragmentación miofibrilar, velocidad de escape, proporción de músculo, grasa, hueso en el bloque de bife angosto, grasa intramuscular, área de ojo de bife, pH a las 3 y 24 h, temperatura a las 3 h del músculo *Longissimus*, longitud de los sarcómeros, contenido de glucógeno, colágeno total e insoluble, y la resistencia al corte a los 3, 7 y 14 d de maduración *post mortem*; $P > 0,10$). Por otro lado, los parámetros L^* , a^* y b^* fueron explicados en un 30, 41 y 38%, respectivamente, por la longitud de los sarcómeros, el pH_{24h} y el espesor de grasa dorsal. Además, el ciclo productivo explicó parte de la variabilidad en el color sólo para el caso de los parámetros L^* y a^* . Aumentos en el pH_{24h} generaron disminución de cualquiera de los parámetros colorimétricos. Contrariamente, aumentos en el espesor de grasa dorsal o en la longitud de los sarcómeros aumentaron los parámetros colorimétricos. La resistencia al corte a los 3 d de maduración fue explicada en un 21% por la longitud de los sarcómeros. Al incrementar el tiempo de maduración a 7 y 14 d, la resistencia al corte también fue explicada por la grasa intramuscular y el ciclo productivo en un 35 y 36%, respectivamente. En los tres tiempos de maduración, aumentos en la longitud de los sarcómeros implican disminución en la resistencia al corte. También el incremento del contenido de grasa intramuscular en carne madurada por períodos medios y largos implica la disminución de la resistencia al corte. Se concluye que la variación en el consumo de materia seca puede explicarse parcialmente mediante el aumento del peso vivo, la ganancia diaria de peso y el color de la carne, con un nivel de ajuste de regresión medio a bajo. La longitud de los sarcómeros afecta tanto al color como a la resistencia al corte en todos los tiempos de maduración evaluados.

Palabras clave: sistema pastoril, eficiencia, color, resistencia al corte.

ABSTRACT

Residual feed intake is a measure of food efficiency use; it represents the variation in dry matter intake which is not explained by the live body weight and daily gain of weight. Stress, tissue metabolism, protein turnover and body composition are variables that contribute to explain up to 40% of feed intake variation. Dry matter intake (DMI) is a quantitative variable, in which many genes intervene. The relationship established between DMI and meat quality depends on the intervening variables. In rearing and fattening grazing cattle, back fat thickness, intramuscular fat and glycogen that directly intervene on the color and meat shear force, can have greater relevance than in animals feed with energetic diets. Therefore, it is necessary to identify the variables that affect color and tenderness, to maintain or improve the quality of the meat produced in grazing systems. Based on this, the objectives of this work were a) to determine if part of the variation in color and shear force from grazing animals is associated with DMI, and b) to identify variables that affect color and shear force in animals that have been reared and fattened in grazing systems. The present work was carried out in two productive cycles using animals of the Angus (First cycle: 23 steers and 15 heifers and Second cycle: 24 steers and 28 heifers). Live weight and exit velocity were recorded every 21 d. When the average animal live weight reached 370 kg, the DMI was estimated by estimating the individual digestibility and faeces excretion. The animals were slaughtered in a commercial slaughterhouse at 450 kg average live weight. Hot carcass weight, the ribeye area, fat thickness, pH and temperature at 3 h post mortem, pH at 24 h post mortem, Longissimus thoracis muscle (LT) color on the caudal side at the level of the 12th rib, at 24 h post mortem after 30 m of blooming were recorded. The block between 9-12° was extracted, which was separated into bone, intermuscular fat, LT and other muscles (OM). The intramuscular fat was determined in LT and OM. In the LT, shear force (SF) was determined in three ageing times (3, 7 and 14 d), total glycogen, total and insoluble collagen, sarcomere length and myofibrillar degradation index after 3 d of ageing. The data were analyzed using mixed linear models; the DMI was evaluated in function to the possible explanatory variables. The selection of explanatory variables of the color and the SF was also carried out by regression analysis with Stepwise selection. Among the variables included in the equation to explain the consumption, only the colorimetric parameters (L^* , a^* and b^* ; $P < 0.05$) allowed to explain part of the variation of the DMI

once the live weight and the weight gain were included. The inclusion of the L^* value explained 6% of the change in dry matter consumption ($P = 0.02$); whereas, the incorporation of the values a^* or b^* allowed to explain 5% of variation ($P = 0.05$ and $P = 0.05$). None of the other variables included in the model allowed improvements in equation adjustment (sire, cycle, sex, dorsal fat thickness, myofibrillary fragmentation index, escape velocity, proportion of muscle, fat, bone in the narrow steak block, intramuscular fat, area of ribeye, pH at 3 and 24 h, temperature at 3 h of the Longissimus muscle, length of sarcomeres, glycogen content, total and insoluble collagen, and SF at 3, 7 y 14 d of post-mortem maturation, $P > 0.10$). On the other hand, the parameters L^* , a^* and b^* were explained by 30, 41 and 38%, respectively, by sarcomere length, pH_{24h} and backfat thickness. In addition, the productive cycle explained part of the variability in color only for the case of the parameters L^* and a^* . Increases in pH_{24h} caused a decrease in any of the colorimetric parameters. Conversely, increases in back fat thickness or sarcomeres length augmented colorimetric parameters. The SF after 3 d of ageing was explained in 21% by the sarcomere length. By increasing ageing time to 7 and 14 d, the SF was also explained by intramuscular fat and productive cycle by 35 and 36%, respectively. In the three ageing times, increases in the sarcomere length imply a decrease in the SF. Also, the increase of the intramuscular fat content in aged meat for medium and long periods implies the decrease of SF. Finally, the variation in DMI can be partially explained by the increase in live weight, daily weight gain and meat color, with a level of adjustment of medium to low regression. Sarcomere length affects both meat color and shear force.

Key words: grazing system, efficiency, meat color, shear force.

INTRODUCCIÓN

La producción actual de carne bovina en Argentina es de 2.915 mil toneladas, de las cuales más del 89% es destinada al consumo interno (USDA, 2018). 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 su calidad, gracias a la cual ha logrado posicionarse en el mercado internacional de la carne (Boari *et al.*, 2014).

Si bien los bovinos tienen la capacidad de digerir fibra para brindar un producto de alta calidad para el consumo humano como lo es la carne, su alimentación representa el mayor costo en la producción animal (65%; Anderson *et al.*, 2005). Por lo tanto, seleccionar animales más eficientes en el uso de los alimentos permitirá incrementar la producción a menor costo.

El consumo residual (CR) permite medir la eficiencia del uso de los alimentos (Koch *et al.*, 1963). Se define como la diferencia entre el consumo de alimento observado (medido a campo) y el esperado de acuerdo con su peso vivo y ganancia diaria de peso. Entre los mecanismos biológicos que contribuyen a explicar el consumo residual se encuentran: el gasto energético atribuible a la actividad física, el comportamiento ingestivo, la digestibilidad, el incremento calórico de fermentación, el estrés, el metabolismo tisular, el recambio proteico, composición corporal, y otros factores, además de la combinación entre cualquiera de estos (Richardson y Herd, 2004). Dentro de un mismo grupo o entre grupos de animales, el mayor o menor CR puede lograrse por uno o varios de los mecanismos previamente nombrados. Además, la/s variable/s involucrada/s para lograr una mayor eficiencia (bajo CR) no necesariamente explicarán la menor eficiencia (alto CR) y viceversa, cuando los animales no fueron seleccionados a partir de líneas genéticas divergentes donde se fijaron ciertas características distintivas. Esto puede dificultar la identificación de la o las variables que favorecen la mayor eficiencia medida mediante el CR.

Por otra parte, algunos de los factores que pueden definir diferencias en consumo residual como el estrés el metabolismo tisular y el recambio proteico podrían también afectar la calidad de la carne. Así, según cuales sean los factores intervinientes en la definición del CR, animales que presenten distinto CR podrían generar carnes de igual o distinta calidad. En esto también se deberá considerar la interacción de estos

factores con el ambiente, donde las condiciones de alimentación pueden limitar la expresión del potencial genético y por lo tanto las características del animal a la faena.

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 su consumo (Conforth, 1994, Lusk *et al.*, 2001). Tanto el color como la terneza de la carne dependen, entre otros factores, 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) y la masa muscular a enfriar (Lucero Borja *et al.*, 2014). Por otro lado, el descenso del pH y su valor final estarían asociados a las reservas glucogénicas presentes en el músculo (Wulf *et al.*, 2002; Frylinck *et al.*, 2013) y a la velocidad de descenso de la temperatura, que acelera o ralentiza la actividad de las enzimas glucolíticas (Klont *et al.*, 2000).

Los animales de bajo CR presentarían menor susceptibilidad al estrés (Richardson y Herd, 2004; Colpoys *et al.*, 2016) y mayores reservas glucogénicas en músculo (Lefaucheur *et al.*, 2011; Faure *et al.*, 2013), lo que posibilitaría un adecuado descenso del pH y en consecuencia mejoras en el color y la terneza de la carne. Sin embargo, un menor CR también podría ser consecuencia de un menor engrasamiento (Herd *et al.*, 2014; Lines *et al.*, 2014), lo que contribuiría a un enfriamiento más rápido de los músculos más externos de la carcasa. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta el tipo de dieta utilizado en la terminación, ya que esta genera diferencias tanto en la concentración del glucógeno como en el nivel de engrasamiento cuando los animales son faenados a un mismo peso.

Otro mecanismo relacionado con el CR y la calidad de la carne es el recambio proteico, que a nivel muscular está regulado por la interacción entre la concentración o nivel de actividad de las enzimas proteolíticas y su inhibidor. McDonagh *et al.* (2001) y Herd *et al.* (2014) indicaron que los animales de bajo CR presentan menor degradación proteica ya sea por menor actividad de las enzimas proteolíticas o por mayor actividad de su inhibidor. Cualquiera de los dos mecanismos podría disminuir el efecto positivo de la maduración sobre la terneza.

La eficiencia en el uso de los alimentos establecida mediante el consumo residual depende de múltiples variables; lo mismo ocurre con el color y la resistencia al corte de la carne. Por lo tanto, es poco probable que se establezca una relación directa

entre la eficiencia en el uso de los alimentos y la calidad de la carne. Sin embargo, variables que explican las variaciones en el consumo, también podrían explicar variaciones en la calidad de la carne.

A partir de lo expuesto se plantearon las siguientes hipótesis:

1. Parte de la variación en el consumo residual se explica por variaciones en:

- a. el espesor de grasa dorsal
- b. degradación proteica
- c. temperamento animal

2. Hay ausencia de relación entre el consumo residual y:

- a. el color de la carne
- b. la terneza de la carne

3. Parte de la variación en el color de la carne se explica por variaciones en:

- a. espesor de grasa dorsal
- b. temperamento animal

4. Las variaciones en la terneza, se explican por variaciones en:

- a. espesor de grasa dorsal
- b. actividad proteolítica
- c. temperamento animal

Para probar estas hipótesis se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General

- ✓ Determinar si parte de la variación existente en el color y la resistencia al corte de la carne de animales en pastoreo está asociada a cambios en el consumo.

- ✓ Identificar a las variables que afectan al color y a la resistencia al corte en animales recriados y terminados en sistemas pastoriles.

Objetivos Específicos

- ✓ Determinar el consumo, el consumo residual, el temperamento y las características de carcasa de bovinos en pastoreo.
- ✓ Evaluar la relación entre el consumo, el color y la resistencia al corte de y demás variables que afectan a la calidad de la carne (aumento medio diario de peso vivo, peso de la carcasa caliente, área de ojo de bife, pH a las 3 y a las 24 horas, la temperatura a las 3 horas, el espesor de grasa dorsal, la grasa intramuscular, el colágeno total, soluble e insoluble, la longitud de los sarcómeros, y la proporción de proteína degradada a lo largo de la maduración, velocidad de escape).

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. Producción y comercialización de carne bovina

La producción mundial de carne vacuna es de 63.025 mil toneladas (tn) (USDA, 2018). Estados Unidos lidera la producción mundial con 12.601 mil tn, siguiendo en orden de importancia: Brasil, la Unión Europea, China, India y Argentina, con alrededor de 9.900, 7.855, 7.323, 4.300 y 2.915 mil tn de res con hueso, respectivamente.

Brasil es el principal país exportador de carne vacuna, con un total de 1,85 millones; Uruguay y Paraguay por su parte, exportan 380.000 tn cada uno, siguiendo, después de Brasil, el orden de países exportadores dentro del hemisferio sur. Actualmente, Argentina ocupa el 11^{vo} lugar como exportador mundial de carne, con un total de 230.000 tn de res con hueso (Mergen y Kennet, 2015). Del total exportado por Argentina, el 70% es destinado a los mercados de Alemania, Rusia, Chile e Israel (IPCVA, 2018).

De acuerdo con los datos informados por el Ministerio de Agroindustria (2018) la exportación de carne por parte de Argentina en el año 2018 aumentó en 10 toneladas respecto al 2017. 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 la producción y reducir los costos, sin que ello afecte la calidad de la carne por la cual Argentina es reconocida mundialmente.

2. Eficiencia en el uso de alimentos

El alimento es el mayor costo en la producción animal; este representa cerca del 65% (Anderson *et al.*, 2005). Por lo tanto, mejorar eficiencia de su uso es crucial para continuar mejorando la producción ganadera. Además, debe tenerse en cuenta que la población mundial será de 9 billones para el 2050, provocando un aumento en la demanda de alimentos destinados a consumo humano (United Nations, 2011). Como consecuencia la oferta de alimentos destinados a los animales disminuirá, siendo necesario mejorar el aprovechamiento de recursos destinados a la producción animal.

La eficiencia de utilización de los alimentos puede ser medida de varias formas: la más común es a través del índice de conversión, que relaciona la cantidad de alimento consumido con el peso ganado por el animal. El índice de conversión mide la cantidad de alimento necesaria para aumentar un kilo de peso vivo. Esta manera de medir la

eficiencia, y de seleccionar animales en base a ella, tiene la desventaja de ser confundida con el grado de desarrollo y el tamaño corporal de los animales (Baker *et al.*, 2006). Debido a la existencia de una relación entre el potencial de crecimiento y el tamaño del animal (Lancaster *et al.*, 2009), la selección basada en el índice de conversión aumentaría el peso/tamaño de los animales maduros.

Koch *et al.* (1963) propusieron medir la eficiencia del uso del alimento a través de la ganancia de peso residual y el consumo residual. Para determinar la ganancia de peso residual se realiza una regresión entre el aumento diario de peso en función de la ingesta de alimento y el peso vivo (Crowley *et al.*, 2010). La ganancia residual implica un modelo estadístico que ajusta la tasa de crecimiento para las diferencias individuales en la ingesta de alimento y peso vivo. Los animales con alta ganancia residual son más eficientes y ganan más de lo esperado para su peso vivo e ingesta de alimentos. Lo contrario ocurre cuando la ganancia de peso residual es baja. La ganancia de peso residual está asociada con las tasas de crecimiento, pero no con diferencias en el consumo de alimento (Berry y Crowley, 2012).

La otra propuesta para medir la eficiencia es a través del consumo residual (CR). Éste se define como la diferencia entre el consumo observado y el esperado. A su vez, el consumo esperado se puede calcular de dos maneras para obtener CR. El primer método utiliza consumos estándar (ej, NRC, 2000) para predecir el consumo esperado basado en el peso vivo, la ganancia de peso y el contenido energético de la dieta. Sin embargo, Liu *et al.* (2000) encontraron que las ecuaciones propuestas por el NRC, predicen un consumo de materia seca más alto que el realmente es consumido por los animales. Entonces, la mayoría de los animales evaluados mediante esa metodología resultaron ser más eficientes de lo que eran realmente. A pesar de esto, el CR obtenido a partir del consumo esperado calculado mediante ecuaciones del NRC o mediante regresión lineal múltiple (descrita en el próximo párrafo) resultó asociado positivamente. Pese a esto, la estimación de consumo de materia seca esperado, obtenida mediante las ecuaciones del NRC, no es independiente del peso vivo y la ganancia de peso, por lo que su utilización para calcular el CR no resulta apropiada (Liu *et al.*, 2000).

El segundo método obtiene el consumo esperado mediante una regresión lineal múltiple donde el consumo de materia seca se explica en función al peso vivo y la ganancia diaria de peso (Koch *et al.*, 1963; Young *et al.*, 2011).

$$\text{CMS} = \beta_0 + \beta_1 \text{PV}^{0,75} + \beta_2 \text{ADPV} + \varepsilon \text{ (CR)}$$

Donde:

CMS: consumo de materia seca de un animal

β_0 : intercepto de la regresión, conocido como consumo medio del grupo de animales

β_1 : coeficiente de regresión parcial del peso metabólico

$\text{PV}^{0,75}$: peso metabólico del animal

β_2 : coeficiente de regresión parcial de la ganancia diaria de peso vivo

ADPV: aumento diario de peso vivo individual

ε : error aleatorio; CR: consumo residual

Otras variables también pueden ser incluidas para predecir el consumo de materia seca, siempre y cuando expliquen parte de su variación (Basarab *et al.* 2003; Walker *et al.*, 2015). La inclusión del peso vivo en el modelo busca estimar el costo energético de mantenimiento, en tanto que la inclusión de la ganancia de peso estima el costo energético de ganancia. Por lo tanto, el momento óptimo para determinar el CR es durante el crecimiento donde las dos variables incluidas como regresoras pueden llegar a explicar hasta el 82% de la variación en el consumo (Waghorn *et al.*, 2012). Por definición, el CR, es fenotípicamente independiente de la tasa de ganancia de peso y el peso vivo de los animales; se correlaciona con el consumo de materia seca ($r = 0,70$) pero no con el peso vivo ni con el aumento diario de peso (Lancaster *et al.*, 2009). Esta última característica, posiciona al consumo residual como un buen indicador para evaluar la eficiencia (Kennedy *et al.*, 1993; Baker *et al.*, 2006).

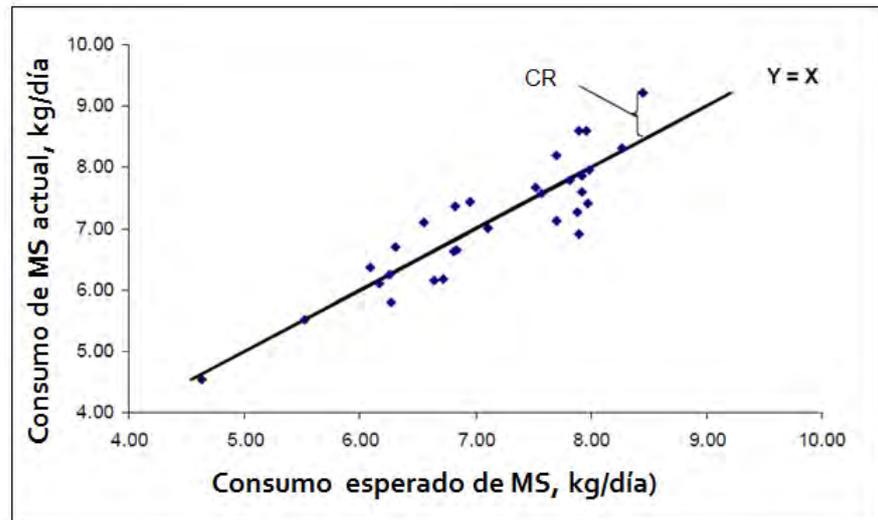


Figura 1. Consumo residual. Adaptado de Sainz y Paulino (2004).

Mediante esta medida de eficiencia, un animal que consume menos de lo esperado es considerado más eficiente, en comparación con otro que consume más de lo esperado para su performance productiva y peso vivo (Figura 1). Si bien la heredabilidad para el CR de bovinos para carne es moderada a baja (Arthur y Herd, 2006; Arthur y Herd 2008, 2012), la selección de animales más eficientes (bajo CR), no implica la selección de animales de alta performance, sino de aquellos más eficientes independientemente de su peso y potencial productivo (Arthur *et al.*, 2001).

La clasificación de acuerdo con el CR, y la respuesta productiva, depende del tipo de dieta suministrada (Meyer *et al.*, 2008; Trujillo *et al.*, 2013; Blank *et al.*, 2016). Para examinar el papel potencial de la dieta durante el período de medición de la ingesta de alimento sobre la expresión de genes relacionados con el metabolismo Mutch *et al.*, (2017) clasificaron a las dietas según su contenido de fibra detergente neutro (FDN): una con más del 40% y otra con menos del 40% de FDN. Los novillos alimentados con dietas que contenían niveles más altos de FDN habían aumentado la expresión de ciertos conjuntos de genes relacionados al metabolismo lipídico y la ingesta de alimento. Contrariamente, los novillos alimentados con dietas que contenían niveles más bajos de FDN aumentaron expresión de genes relacionados con el metabolismo proteico y el comportamiento ingestivo. Entonces, dependiendo de las rutas metabólicas activadas según el tipo de alimento, el ranking de CR establecido al evaluar a los animales bajo un tipo de dieta puede cambiar cuando se lo evalúa con otro tipo de dieta.

Finalmente, una vez determinado el consumo de materia seca y obtenido los residuales de consumo se procede a la clasificación de los animales. En cada estudio la clasificación en alto y bajo CR depende del criterio utilizado. Algunos (Gomes *et al.*, 2012; Martello *et al.*, 2016) clasifican a los animales como de alto CR (0,5 desviaciones estándar mayores del CR promedio) o bajo CR (0,5 desviaciones estándar menores del CR promedio). Otros proponen dividir a todos los animales en tercios (Meyer *et al.*, 2008), o por valores de CR positivos y negativos (Basarab *et al.*, 2003).

2.1. Regulación del consumo de alimentos

El consumo de alimentos se produce en primer lugar para satisfacer las demandas energéticas de mantenimiento y de ganancia de peso. El consumo es motivado por el hambre que genera en el animal un estado de malestar (Forbes, 2003). La ingestión de alimentos genera una retroalimentación positiva o negativa dependiendo de los mecanismos que se desencadenen. En líneas generales, la disminución en el consumo responde a estímulos metabólicos y físicos.

En el rumen, el aumento de la concentración de ácido acético y propiónico dado por la tasa de fermentación reduce la ingestión de alimentos. El acético es un inhibidor secundario de la ingesta y menos potente que el propiónico. Este último ácido genera alta disponibilidad de ATP y disminuye el estímulo para que el animal consuma. El efecto hipofágico de la tasa de fermentación, con alta producción de ácidos grasos volátiles, también sería sinérgico con el efecto del llenado ruminal u otros provenientes de la degradación ruminal de la proteína. Altos niveles de amoníaco incrementan el efecto hipofágico de las altas tasas de fermentación, mediante una serie de mecanismos que envían señales que inhiben el consumo a nivel del hipotálamo (Gregorini, 2011).

La cantidad de forraje consumido dentro del rumen se define como “llenado ruminal”, y se relaciona la cantidad de componentes indigestibles del alimento. Dentro de cada sesión de consumo el nivel de llenado ruminal tiene efecto saciador, causando reducciones en el consumo (Thompson *et al.*, 1985).

Además de los estímulos de fermentación ruminal y llenado, la secreción hormonal contribuye con estímulos que promueven o restringen el consumo (Rhind *et al.*, 2002). La grelina estimula el consumo de alimentos, siendo inhibida su secreción por el llenado y la fermentación ruminal. Durante el consumo se libera colecistoquinina, cuyo

efecto también es disminuir el consumo de alimentos. Tanto la leptina producida por los adipocitos y la serotonina liberada ante aumentos del triptófano en sangre, son inhibidores del consumo.

El momento del día también actúa como modulador de la ingesta (Hodgson, 1990). Las sesiones de consumo más largas e intensas ocurren al amanecer y atardecer, siendo la sesión vespertina la más importante. Durante el día, la composición química del forraje también varía. Básicamente, desde el amanecer al atardecer se produce un incremento de materia seca y fotosintatos en las plantas, lo que diluye la concentración de fibra y reduce la fuerza de fractura (Gregorini *et al.*, 2009 a). Esta dilución estimula el consumo vespertino que representa el 50% del tiempo destinado al pastoreo y concentra hasta el 65% del consumo de materia seca (Gregorini *et al.*, 2009 b).

Dependiendo de la calidad de la dieta, un animal consume entre el 1 y 3% de su peso vivo. La cantidad de fibra, la digestibilidad y la tasa de pasaje a través del tracto gastrointestinal tienen un gran impacto sobre el consumo. Cuanto más digestible sea la dieta, mayor es la tasa de pasaje y el consumo. En general, en dietas fibrosas como las pasturas, el llenado ruminal limita el consumo antes de que ocurra una limitación química-hormonal. Lo opuesto ocurre con dietas con alto contenido energético, donde hay disminución del consumo mediante control químico hormonal, antes de que ocurra una limitación física. En un lugar intermedio se encuentra el silaje de planta entera de maíz. En este último, si bien es un alimento fibroso, su tamaño de picado permite aumentar el consumo mediante un aumento en la tasa de pasaje.

2.2. Factores que modifican la clasificación de los animales por consumo residual

El momento de determinación del consumo y clasificación de acuerdo con el consumo residual modifican el orden y la clasificación de los animales. Estudios hechos en confinamiento indican que el 31 % de los novillos estudiados durante la recría y la terminación con dietas acordes a su estado fisiológico cambió el grupo de clasificación (Alto, Medio o Bajo) asignado según su CR (Durunna *et al.*, 2011). Durunna *et al.* (2012) estudiaron vaquillonas que fueron alimentadas con la misma dieta durante la recría y la terminación, en este caso el 51% de las vaquillonas presentó cambios en la clasificación de acuerdo con el CR. Resultados similares fueron obtenidos en novillos, donde la correlación entre el ranking de CR obtenido en

la recría y el obtenido en la terminación fue solamente de 0,40 (Gomes *et al.*, 2012). Otros estudios hechos en vacas lecheras demostraron que, al pasar de una dieta de alto contenido de almidón hacia otra de bajo contenido, el 44% de las vacas cambiaron de grupo de CR (Potts *et al.*, 2015). Estos estudios indicarían que independientemente de la dieta hay animales que son más eficientes que otros; pero que también hay animales cuya eficiencia depende del tipo de dieta.

Otra dificultad que se presenta con la clasificación por CR, además de la influencia de la dieta, es el momento fisiológico del animal en el que se mide el consumo de materia seca, como así también las variables que se incluyen en la ecuación que explica al consumo. En el ganado vacuno, comúnmente se clasifica a los animales en el post destete o antes de la madurez, entre los 7 y 12 meses (Basarab *et al.*, 2011). En este último momento, la madurez sexual representa una fuente más de variabilidad, ya que algunos animales ya la alcanzaron mientras que otros todavía no (Basarab *et al.*, 2011). Se ha observado que el consumo es mayor en animales que ya han alcanzado la pubertad (Basarab *et al.*, 2011). En consecuencia, de no considerarse la madurez de los animales, la clasificación y selección por menor CR podría incrementar la proporción de animales con madurez sexual tardía (Arthur *et al.* 2005; Basarab *et al.* 2007).

Entre las variables incluidas en la ecuación que explica el consumo, y de la cual se desprende el consumo residual, se encuentran el peso vivo y la ganancia de peso, sin excepciones entre los distintos trabajos. Otros factores que se relacionen con la composición de la ganancia de peso, como el espesor de grasa dorsal (Baker *et al.*, 2006; Durunna *et al.*, 2011; Ahola *et al.*, 2012), el marmoreo, o el porcentaje de agua retenido (Basarab *et al.*, 2003), o la producción de leche (Black *et al.*, 2013) pueden ser incluidas. En un extenso trabajo, Basarab *et al.* (2003) ajustaron tres ecuaciones para explicar el consumo de novillos entre 7 y 8 meses de edad. La primera ecuación (CRI) incluyó al peso vivo y la ganancia diaria de peso, en tanto que la segunda (CRII) incluyó, además de las variables incorporadas en la primera ecuación, al porcentaje de grasa y agua retenidos en la ganancia de peso. La tercera ecuación (CRIII) incluyó al espesor de grasa dorsal y al marmoreo. Estos autores concluyeron que el ranking de animales según su CR depende de la ecuación utilizada. Además, la inclusión de más variables en las ecuaciones para calcular el CR podría reducir la potencial presión de selección que puede ser aplicada para cada una de las características que sean incluidas (Basarab *et al.*, 2003). Esto ocurre porque el consumo residual, que dentro

de la ecuación no es más que el error, es independiente de las variables que se incluyen en la ecuación.

3. Variables que explican el consumo residual

Richardson y Herd (2004) indicaron que el consumo residual puede explicarse en distintas proporciones mediante los distintos factores fisiológicos. La actividad física explicaría el 10% de la variación, el comportamiento ingestivo el 2%, la digestibilidad el 10%, el incremento calórico de fermentación el 9%, el estrés, metabolismo tisular y recambio proteico el 37%, la composición corporal el 5%, u otros factores el 27%, además de la combinación entre cualquiera de estos (Figura 2).

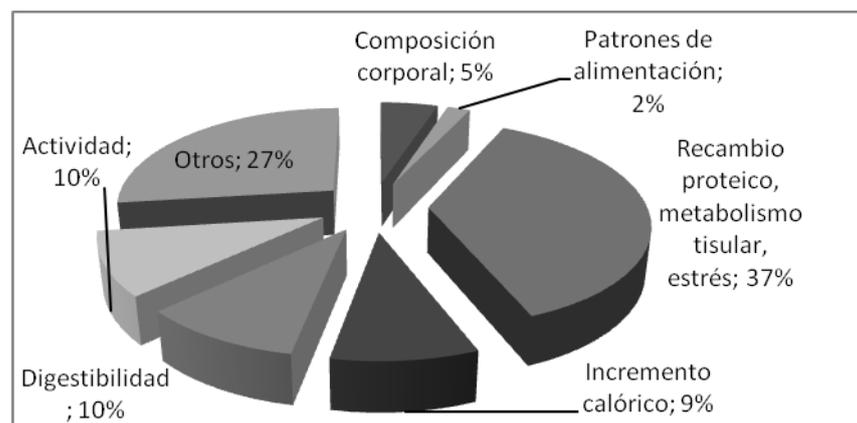


Figura 2. Variables que explican al consumo residual.

Adaptado de Richardson y Herd (2004)

3.1. Actividad física

Los mecanismos asociados a la variación de la actividad física incluyen el esfuerzo realizado durante la alimentación y la locomoción a distintas velocidades (Herd y Arthur, 2009). Las otras actividades realizadas durante la alimentación, como el costo de masticación, se discriminan dentro del comportamiento ingestivo. Por lo tanto, dentro de las actividades físicas se considera a la locomoción como principal variable. En este sentido, Richardson *et al.* (2000) y Arthur *et al.* (2001) observaron que los animales de bajo CR realizaban menor cantidad de pasos diarios que los de alto CR. El costo energético de la caminata diaria realizada por animales en pastoreo depende de diversos factores (de la disponibilidad de alimentos, cercanía a las aguadas,

pendiente del terreno, entre otros) y por ello el costo energético se ha estimado dentro de un amplio rango que va de 9 a 60 kcal/100 kg de peso vivo (Nicholson, 1987; Di Marco y Aello, 1998).

3.2. Comportamiento ingestivo

El comportamiento ingestivo del animal no sólo es definido por éste, sino también por el tipo de alimento que consume. En lo que respecta al animal, puede verse influenciado por la interacción entre el tamaño corporal, el tamaño de la boca, y el estado productivo (Hodgson, 1990). Estudios más recientes (Kelly *et al.*, 2010) indican que los animales de bajo CR realizan menos eventos de alimentación por día (53,4 eventos) que los animales de alto CR (68,1 eventos), considerándose como evento de alimentación a cada vez que los animales consumen 100 g o más de alimento. Los análisis de correlación también indican una asociación positiva ($r = 0,24$) entre el número de eventos de alimentación y el consumo de materia seca (Kelly *et al.*, 2010).

Por otra parte, las dietas ofrecidas también modifican la conducta ingestiva. Algunos estudios indicaron que los animales dentro de un sistema de feedlot dedican menos tiempo a la ingesta de alimentos (6 h por día) en comparación con los animales en pastoreo (4 a 12 h por día; Bürger *et al.*, 2000). El cambio en el tiempo dedicado a la ingesta sugiere que los rumiantes son capaces de modificar su conducta con el fin de obtener cierto nivel de ingestión compatible con sus requerimientos nutricionales (Forbes, 2003).

Lo desarrollado anteriormente indicaría que el tiempo de pastoreo podría generar un gasto energético adicional en los animales en pastoreo. Este incremento en el costo de mantenimiento, por un lado, disminuiría la eficiencia de los animales en pastoreo, versus los evaluados en confinamiento. Por otro lado, como existe un amplio rango de tiempo dedicado a la ingesta por parte de los animales en pastoreo, esta podría ser una variable que explique tanto la variación en el consumo como la eficiencia.

3.3. Digestibilidad

La digestibilidad es uno de los mecanismos biológicos que permite explicar las diferencias en consumo residual. Las diferencias en digestibilidad pueden estar relacionadas con componentes específicos de la dieta. Así, Nkrumah *et al.* (2006)

asociaron el consumo residual a diferencias en la digestibilidad de la materia seca y la proteína dietaria, en tanto que Channon *et al.* (2004) observaron que animales de distinto CR presentaban diferente digestión del almidón. Las diferencias en la digestión de los distintos componentes de la dieta pueden estar asociadas a diferencias en los distintos mecanismos de digestión y absorción: tiempo de retención ruminal, capacidad selectiva de absorción de nutrientes (Russell y Gahr, 2000), producción de enzimas digestivas (Swanson y Harmon, 2002), entre otros.

Las diferencias en digestibilidad también podrían ser consecuencia de cambios en la flora ruminal (Nkrumah *et al.*, 2006). Diferencias en la flora ruminal entre animales de distinto CR (Guan *et al.*, 2008) generaría cambios en la concentración de ácidos grasos volátiles. Aquellos animales que con una misma dieta generaron una mayor producción de ácido propiónico fueron los más eficientes (Fitzsmons *et al.*, 2014), posiblemente por una reducción de pérdidas energéticas en forma de metano entérico.

3.4. Calor

La producción de calor representa una de las pérdidas de energía inevitable cuando el alimento es utilizado por parte de los animales. Los novillos de bajo CR (más eficientes), producirían menos calor que los de CR medio o alto (Nkrumah *et al.*, 2007). Esto indica que el CR podría estar correlacionado negativamente con los requerimientos de energía de mantenimiento. Por otra parte, Richardson y Herd (2004) informaron la existencia de una asociación positiva entre el consumo de alimento y la cantidad de energía requerida para digerir el alimento. En este sentido, Eggert y Nielsen (2006) concluyeron que la selección de animales de baja producción calórica disminuye el costo de mantenimiento, pero no afecta a la energía destinada a la ganancia de peso.

3.5. Estrés, recambio proteico y metabolismo tisular

La mayor proporción del consumo residual la explicaría el estrés, el recambio proteico y el metabolismo tisular (Richardson y Herd, 2004). El estrés se define como “un ajuste anormal o extremo en la fisiología de un animal para hacer frente a los efectos adversos de su medio ambiente” (Frazer, 1975). Ante una situación nueva o de peligro se activan mecanismos hormonales (secreción de catecolaminas), cuyo efecto es aumentar el catabolismo de las reservas energéticas del animal (Ferguson *et al.*,

2008). Una vez que la nueva situación es tomada como rutinaria por parte de los animales, la situación deja de ser percibida como una amenaza y, por lo tanto, deja de generar estrés. La capacidad de lidiar con situaciones de estrés es variable entre animales (Mitlohner *et al.*, 2002). Según Richardson y Herd (2004) y Colpoys *et al.* (2016) la menor susceptibilidad al estrés observada en animales más eficientes se debería a la existencia de un efectivo mecanismo para manejar y adaptarse a las situaciones nuevas y/o estresantes. Incluso, se ha observado que los animales de bajo CR presentan concentraciones menores de cortisol en sangre en las mismas situaciones que los animales de alto CR (Gomes *et al.*, 2013), estando positivamente correlacionado el CR con la cortisolemia (Foote *et al.*, 2016).

El recambio proteico en animales en crecimiento es un proceso energéticamente costoso que se produce de manera continua durante el crecimiento de los animales (Oddy, 1999). Las estimaciones disponibles en la literatura sugieren que los costos atribuibles al recambio proteico representan entre el 20 y el 25% del costo energético de mantenimiento (Pym y Tomas, 1990; Reeds *et al.* 1998). El gasto energético sería compatible con lo requerido por la bomba Na/K + ATPasa, encargada de mantener la homeostasis iónica durante el transporte de aminoácidos (Richardson y Herd 2004).

El recambio proteico se puede inferir a partir de la concentración de proteínas y enzimas en la sangre, o la actividad específica de proteasas musculares. Richardson *et al.* (1996) encontraron que los animales de bajo CR presentaron concentraciones inferiores (7%) de proteínas plasmáticas que los animales de alto CR. Además, Richardson y Herd (2004), observaron mayores niveles de aspartato aminotransferasa en animales de alto CR, lo que indicaría altos niveles de catabolismo proteico a nivel hepático. A nivel muscular, McDonagh *et al.* (2001) y Blank *et al.* (2016) han informado diferencias entre animales de alto y bajo CR en la actividad de la calpastatina, un inhibidor natural del sistema de calpaínas cuya función es degradar proteínas musculares en animales vivos, y en la carne durante el proceso de tiernizado. Entonces, una forma de aumentar la eficiencia en el uso de los alimentos por parte de los animales es disminuyendo la degradación proteica (Parr *et al.*, 2016).

Por otro lado, el 37% del consumo residual es explicado, en parte, también por el metabolismo tisular (Richardson y Herd, 2004). Kolath *et al.* (2006) evaluaron el metabolismo de la glucosa a nivel de las células del músculo *Longissimus* a través de la concentración de glucosa e insulina. Aunque los novillos alto CR presentaron mayores concentraciones de glucosa en plasma que los novillos de bajo CR, las concentraciones de insulina en plasma y la respuesta de la glucemia ante la

dosificación externa de insulina no difirieron entre los novillos de alto y bajo CR (Kolath *et al.*, 2006). Por lo tanto, concluyeron que la mayor concentración de glucosa en plasma resulta de la mayor ingesta de alimento de los novillos alto CR. También observaron que los novillos de bajo CR presentaron mayor tasa respiratoria a nivel mitocondrial (Kolath *et al.*, 2006). Esto último sugiere un mayor grado de acople entre la respiración celular y la fosforilación oxidativa, incrementando la eficiencia en la transferencia de electrones. Sin embargo, Acetoze *et al.* (2015) no encontraron diferencias en la respiración celular mitocondrial en hígado de bovinos Angus de alto y bajo CR.

Conjuntamente con los cambios en el metabolismo de los hidratos de carbono, Lefaucheur *et al.* (2011) observaron que en cerdos el bajo CR fue asociado a una mayor proporción de fibras blancas y mayores concentraciones de glucógeno en músculo. En adición, Faure *et al.* (2013) indicaron que la mayor concentración de glucógeno en cerdos de bajo CR se debería a una disminución de la glucólisis tanto aeróbica como anaeróbica por un distinto grado de activación de las enzimas involucradas. Los animales de bajo CR presentaron, además, menor proporción de grasa intramuscular (Faure *et al.*, 2013). La menor cantidad de grasa intramuscular está asociada al desarrollo de fibras blancas, lo que coincide con los resultados reportados hasta el momento (Parr *et al.*, 2016).

3.6. Composición corporal

Finalmente, la composición corporal explicaría el 5% de la variación en el consumo (Richardson y Herd, 2004). La composición corporal contempla al depósito de grasa a nivel subcutáneo, intra e intermuscular y visceral, y también la proporción de músculo y hueso. La importancia de la relación entre cada una de estas variables y el consumo residual depende del momento en que se midió el consumo (post destete, recría o terminación), ya que la proporción de cada tejido es dependiente de la edad del animal. Inicialmente los tejidos estructurales como el nervioso, óseo y las vísceras incrementan su proporción, y luego el tejido muscular. A medida que el animal se acerca a su peso adulto, la proporción de grasa aumenta en detrimento de la proporción de músculo y hueso (Irshad *et al.*, 2013).

Cuando la clasificación por CR se realiza post destete, esta medida de eficiencia no se asocia genéticamente con las variaciones en la grasa intramuscular o el espesor de grasa dorsal los animales (Herd *et al.*, 2014). Las asociaciones más fuertes dadas

entre el CR y los depósitos de grasa intramuscular se encontraron en animales mayores a 12 meses dentro del sistema de feedlot (Barwick *et al.* 2009; Herd *et al.*, 2014). Esto se debería a que los animales en terminación depositan más grasa en comparación con animales más jóvenes o alimentados con dietas de menor contenido energético. En los trabajos donde encontró asociación entre el CR y el espesor de grasa dorsal, este último superó los 8 mm (Barwick *et al.* 2009, Herd *et al.*, 2014). Otros, observaron que la grasa interna (peri-renal, inguinal y pélvica), intramuscular (Nascimento *et al.*, 2016) y de cadera (P8), (McDonagh *et al.*, 2001; Herd *et al.*, 2014) fue inferior en animales más eficientes.

La composición corporal también varía con el consumo de energía. Cuando el consumo energético supera la cantidad necesaria para el depósito de tejido magro, la energía restante se destina a la acumulación de tejido adiposo (Irshad *et al.*, 2013). Entonces, los animales que producen carcasas con mayor cantidad de tejido adiposo son menos eficientes en convertir alimento en carne, a pesar de ser más eficientes en la retención energética. Gomes *et al.* (2012) no encontraron diferencias en la cantidad de proteína retenida en las carcasas de novillos Nelore o en el área de ojo de bife de los mismos animales con CR contrastante. Ribeiro *et al.* (2012), Welch *et al.* (2012), y Frotas *et al.* (2015) tampoco observaron efecto del CR sobre el área de ojo de bife de animales evaluados durante la terminación. Resultados similares fueron obtenidos por Black *et al.* (2013) quienes evaluaron vacas en lactancia. En contraposición, Ahola *et al.* (2011) clasificaron a los animales según su CR durante la recría. Estos últimos indicaron que los animales más eficientes presentaron mayor área de ojo de bife respecto a los animales de alto CR, ya que depositar proteínas en forma de músculo es más económico en términos energéticos que deponer grasa (Ahola *et al.*, 2011). Esta discrepancia en los resultados de distintos trabajos sería atribuible al momento en el que se determinó el consumo.

Existen muy pocos trabajos donde se haya estudiado la proporción de hueso presente en animales de distinto CR. Ribeiro *et al.* (2012) y Frotas *et al.* (2015) evaluaron la cantidad de hueso existente en medias reses de animales clasificadas de acuerdo con el CR indicando que la cantidad del mismo no se vio afectada por el CR. En cambio, Herd *et al.* (2014) indicaron que al faenar a similar edad los animales de bajo CR presentaron menor grado de calcificación en vértebras que los de alto CR, lo que podría asociarse con animales menos maduros.

4. Dificultades para la evaluación y adopción del consumo residual como medida de selección

Si bien la selección y utilización de animales más eficientes en el uso de alimentos en los sistemas productivos de carne trae aparejado un beneficio económico importante, actualmente existen barreras para su implementación.

a) La identificación de los animales que tienen bajo CR es costoso. Se requieren largos períodos de evaluación para determinar el consumo de materia seca y la ganancia de peso.

b) La industria de la carne no tiene en cuenta la importancia de reducir los costos de alimentación. Esto es aún mayor en sistemas de producción a pasto, donde los productores subestiman el costo de las pasturas.

c) La mayoría de las investigaciones se realizan en corrales con dietas concentradas en energía que facilitan su distribución y la medición del consumo individual. Esto condiciona los resultados de eficiencia ya que ésta depende de la dieta.

5. Variables sensoriales de calidad de la carne

Los atributos cualitativos de la carne más apreciados por los consumidores son el color (Conforth, 1994), el cual influye en el momento de la decisión de compra, y la terneza, que es importante durante su consumo (Lusk *et al.*, 2001). Gran parte de los consumidores están dispuestos a pagar un precio mayor por carne cuya terneza esté garantizada (Boleman *et al.*, 1997; Shackelford *et al.*, 2001).

De las múltiples variables que afectarían la eficiencia de uso del alimento por parte de los animales (su CR), algunas de ellas también podrían afectar a las características de calidad de la carne. Tanto es así que, algunos autores han observado que el CR estuvo asociado a diferencias en el color (Baker *et al.*, 2006) o en la terneza (Zorzi *et al.*, 2013), mientras que en otros trabajos no se observó tal asociación (Herd *et al.* 2014; Fidelis *et al.*, 2017). La relación entre CR y calidad de carne dependerá de las variables involucradas en la definición del CR.

5.1. Color del músculo

El color es un atributo de calidad de la carne (Shackelford *et al.*, 1991). El consumidor prefiere en general carne de color rojo brillante ya que la relaciona con la

salubridad y frescura, mientras que rechaza aquella de color pálido, oscuro o pardo (Berriain y Lizaso, 1997; Seideman *et al.*, 1984; Ferreira *et al.*, 2006). Si bien en la aceptación del color influyen factores geográficos, sociales y culturales de los consumidores (Resurrección, 2004), la literatura indica que el rango de valores para el parámetro L* es de 33 a 41, para a* de 11 a 24 y para b* de 6 a 11 (Muchenje *et al.*, 2009).

Entre los factores que modifican al color de la carne se encuentra la grasa intramuscular, la tasa relativa de descenso del pH, la temperatura muscular y el pH final (Abril *et al.*, 2001; Wulf *et al.*, 2002; Pösö y Puolanne, 2005; Kim *et al.*, 2014; Listrat *et al.*, 2016). Los depósitos lipídicos pueden estar dentro del tejido adiposo (80%) asociado a septos de tejido conectivo laxo, o en el tejido muscular (20%) (Listrat *et al.*, 2016). La mayor parte de los lípidos del tejido adiposo son triglicéridos (>90%), mientras que en las fibras musculares la mayor proporción la constituyen los fosfolípidos que forman parte de las membranas celulares (Wood *et al.*, 2008). Se ha observado que al incrementar el contenido de grasa intramuscular estimada a través del marmóreo (2.1 a 4.2) incrementa el valor L* (Baldassini *et al.*, 2017).

Altos valores L* también pueden obtenerse si el descenso del pH muscular *post mortem* es rápido y hace que se alcancen pH bajos (< 6.0) cuando la temperatura muscular es aún elevada (Kim *et al.*, 2014). Este proceso genera la desnaturalización de proteínas miofibrilares, que pierden su estructura y capacidad de retener agua. En casos extremos se observa lo que se conoce como carnes pálidas, blandas y exudativas (PSE). La luminosidad de la carne también depende del pH final que se alcance. En la medida que éste se acerca al punto isoeléctrico de las proteínas miofibrilares (5,0 - 5,2) hay una menor repulsión electrostática entre ellas, lo que mantiene a las miofibrillas más apretadas tanto por una disminución del espacio intercelular como por una reducción del diámetro de las miofibras. Como resultado hay un cambio en la densidad óptica de las bandas de actina (Hughes *et al.*, 2017). La mayor densidad de miofibrillas hace que una mayor cantidad de haces de luz reflejen al chocar con la superficie. Por el contrario, cuando el pH final se aleja del punto isoeléctrico (pH alto), la carne se ve más oscura. Las proteínas miofibrilares se repelen generando fibras musculares de mayor diámetro, pero menos densas al mismo tiempo que aumenta el espacio intercelular. Esto último reduce la superficie reflectante (Hughes *et al.* 2017). A su vez, diferencia de cargas que existe entre las proteínas miofibrilares a pH elevados permite una mayor retención de agua. Esto contribuye a una menor penetración de oxígeno en la estructura muscular (Lawrie, 1958) y la

consecuente abundancia de deoximioglobina (color púrpura) que le da a la carne una apariencia más oscura. Tanto el color pálido de la carne como el oscuro es poco aceptado por los consumidores y genera pérdidas para la industria (Seideman *et al.*, 1984; Ferreira *et al.*, 2006).

5.1.1. Factores que afectan el descenso del pH *post mortem*

Tanto el valor de pH final como su tasa de descenso son influenciadas por la concentración de glucógeno muscular (Daly *et al.*, 2006). El glucógeno muscular es la principal fuente de energía fácilmente disponible luego de la faena del animal. Éste, al ser utilizado por las células en condiciones de anaerobiosis produce ácido láctico el que provoca el descenso del pH muscular. La concentración normal de glucógeno en el músculo de un bovino oscila entre 75 a 120 $\mu\text{mol/g}$ y puede limitar el descenso del pH durante el establecimiento del *rigor mortis* cuando se acerca a valores de 45 a 57 $\mu\text{mol/g}$ (Ferguson *et al.*, 2008).

La concentración de glucógeno muscular a la faena, entre otras cosas, está asociada con la dieta que reciben los animales durante la terminación, con su susceptibilidad al estrés, y con los factores estresantes a los que son expuestos los animales en el periodo previo a la faena (Imonem *et al.*, 2000; Café *et al.*, 2011; Pighin *et al.*, 2013; Parr *et al.*, 2016). Dietas con alto contenido de energía incrementan la concentración del glucógeno en los músculos con metabolismo óxido-glicolítico como el *Longissimus*, siendo su efecto más notorio cuando la concentración previa al tratamiento dietario fue baja (Immonem *et al.*, 2000). El incremento de la concentración de glucógeno con dietas energéticas se debería a una mayor captación de glucosa por parte de los músculos, como resultado de los mayores niveles de insulina que estas generarían (Hocquette *et al.*, 1998).

Por otra parte, ante los distintos eventos que acontecen antes de la faena, los animales generan una respuesta del sistema nervioso autónomo con el fin de mantener la homeostasis. La intensidad de la respuesta estará relacionada con el temperamento del animal; animales más temperamentales generarán una respuesta de mayor intensidad. Como parte de esta respuesta se da la secreción de hormonas que favorecen la lipólisis y la glucógenolisis en el músculo (catecolaminas, cortisol y epinefrina), (Kuchel, 1991). Es decir que, ante un determinado estímulo, al momento de faena, los animales más temperamentales tendrían un menor nivel de glucógeno muscular. A su vez, la respuesta al catabolismo dependerá del tipo de músculo y del

tipo de fibras que este contenga. El suministro frecuente de epinefrina modificó el metabolismo de las fibras oxidativas, pero no el de las glucolíticas; lo contrario fue documentado cuando la frecuencia de suministro fue menor (Ferguson *et al.*, 2008). En los animales temperamentales las concentraciones de cortisol basal (que actúa conjuntamente con la epinefrina) son más altas que en los animales calmos, indicando un estado de estrés crónico (Burdick *et al.*, 2011). Así, animales con distinto temperamento expuestos a similares condiciones de manejo podrían mostrar distinta proporción de fibras musculares o distinta concentración de glucógeno según sea su susceptibilidad al estrés.

La concentración de glucógeno muscular puede variar conjuntamente con la proporción de los distintos tipos de fibra. Las fibras rojas u oxidativas están ampliamente vascularizadas, poseen mayor concentración de mioglobina y mitocondrias pero menor concentración de glucógeno que las fibras blancas glicolíticas (Ryu y Kim, 2005; Popp *et al.*, 2015; Listrat *et al.*, 2016). Las fibras intermedias en tanto, como su nombre lo indica, tienen metabolismo oxidativo-glicolítico. Si bien, la proporción de los distintos tipos de fibra en un determinado músculo esta genéticamente determinado (Wegner *et al.*, 2000) puede ser afectada por la alimentación (Pette y Staron 1997; Shibata *et al.* 2014). Animales en pastoreo tendrían una mayor proporción de fibras oxidativas que los provenientes de sistemas confinados (Pette y Staron 1997; Shibata *et al.* 2014).

5.1.2. Factores que afectan el descenso de temperatura *post mortem*

Durante las primeras 4-5 horas *post mortem*, como consecuencia de la glucolisis que ocurre en el tejido muscular, hay cierta producción de calor (hasta 0,35 kcal/kg por hora; Jacob *et al.*, 2014). La tasa de enfriado *post mortem* de los músculos además de depender de su diferencial de temperatura con el medio, depende de la masa muscular a enfriar, la relación volumen/superficie, la ubicación de los músculos en la carcasa y del aislamiento de la carcasa dado por la grasa que cubre los músculos más externos. Por su forma achatada y su localización superficial, el *Longissimus* es uno de los músculos que se enfría más rápidamente (Jacob *et al.*, 2014), pero dado que este músculo está recubierto por grasa subcutánea, su velocidad de enfriado dependerá del espesor de éste depósito.

La acumulación de grasa subcutánea depende de la dieta y del estado de desarrollo del animal. Las dietas más energéticas, incrementan la deposición de grasa

en distintos lugares de las carcasas (French *et al.*, 2001). A su vez, en la medida en que los animales se acercan a su estado adulto, mayor es la proporción de la energía consumida que se retiene en forma de grasa (Jurie *et al.*, 2005). Por lo cual la probabilidad de observar diferencias en calidad de carne asociadas a las diferencias en espesor de grasa dorsal generadas por variaciones en el CR es mayor en animales terminados en dietas a base de forrajes que en los terminados a corral. Esto se debe a que los animales provenientes de sistemas pastoriles tienen espesores de grasa que limitan el correcto descenso de la temperatura.

Es importante resaltar el rol que juega el espesor de grasa dorsal en las carcasas como moderador del descenso de temperatura (Aalhus *et al.*, 2001; Warner *et al.*, 2014). Por un lado, cuando el aislamiento es insuficiente (bajo espesor de grasa dorsal), el rápido descenso de temperatura disminuye la actividad de las enzimas glicolíticas, por lo tanto, el descenso del pH se enlentece (Klont *et al.* 2000). Ante esta situación (temperatura menor a 10 °C y pH superior a 6 puntos) incrementa la probabilidad de acortamiento de los sarcómeros (Véase sección 5.2.2.). Los sarcómeros acortados permitirían menor dispersión de la luz, por lo que la carne tendrá un color más oscuro (Huges *et al.* 2017). Lo contrario ocurre cuando el espesor de grasa dorsal aumenta, aumentando el riesgo de que se produzcan carnes pálidas (Jacob *et al.*, 2014).

5.2. Terneza

La textura de la carne es una característica que puede definirse mediante ciertas propiedades detectadas por los sentidos humanos. Estas propiedades se perciben como dureza / firmeza, gomosidad, resiliencia, cohesión, elasticidad, adhesividad y viscosidad. Los métodos utilizados para la evaluación de la textura se pueden dividir en tres grupos: métodos sensoriales, indirectos e instrumentales. Los métodos instrumentales de evaluación de textura frecuentemente aplican análisis mecánicos, midiendo la resistencia de los alimentos (Novaković y Tomašević, 2017).

Para la evaluación de la terneza, el método Warner-Bratzler, mediante corte perpendicular a las fibras musculares, es ampliamente utilizado para el músculo *Longissimus thoracis* (Honeil, 1998). Esta prueba mide la fuerza máxima necesaria para cortar una muestra de carne. En muestras provenientes de animales faenados en un frigorífico comercial, abarcando la mayor variabilidad posible, la relación entre la terneza sensorial y el método Warner- Bratzler fue negativa (Otremba *et al.*, 1999).

De acuerdo con la fuerza de corte, se la clasifica como muy tierna (< 3,3 kgf), tierna (3,3 a 4,36 kgf), intermedia (4,37 a 5,37 kgf), dura (5,38 a 6,38 kgf) y muy dura (> 6.39 kgf) (Destefanis *et al.*, 2008). Los factores que influyen en mayor medida sobre la terneza de la carne son: el tejido conectivo, específicamente la concentración y composición del colágeno, la longitud de los sarcómeros y la proteólisis miofibrilar *post mortem* (Koochmaraie *et al.*, 2002; Purslow, 2005; Huff Lonergan *et al.*, 2010).

5.2.1. El tejido conectivo

El tejido conectivo que rodea las fibras y haces de fibras musculares es un tejido conectivo laxo. En su conjunto se encuentra formado por el epimisio que rodea cada músculo, el perimisio que rodea cada haz de fibras musculares y el endomisio que rodea cada fibra muscular. El tejido conectivo está constituido principalmente por 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 1,6 al 15,1% del peso seco, en tanto que la elastina se presenta en menor proporción (0,07 al 2,00% del peso seco) (Bendall, 1967). El colágeno se compone de subunidades denominadas tropocolágeno que tienen un alto contenido de aminoácidos, entre ellos 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. El número de enlaces y por lo tanto la termoestabilidad incrementan con la edad del animal (Bendall, 1967).

En la carne cocida durante un corto tiempo a temperaturas menores a 90°C, la terneza se ve modificada indirectamente por la contracción de las fibras de colágeno (Li *et al.*, 2010). Las fibras acortadas comprimen a las fibras musculares, lo que genera la disminución de la terneza (Lepetit, 2007; Lepetit, 2008); además del aumento de la resistencia mecánica del propio tejido conectivo (Bernal y Stanley, 1987). Adicionalmente, la contracción del endomisio produce la pérdida de agua del músculo lo que también contribuye en la disminución de la terneza. 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.

La cantidad total de colágeno contribuye significativamente a las variaciones de terneza de la carne cruda, explicando entre el 52 y 90% de la misma (Dransfield *et al.*, 2003). El colágeno predice mejor a la terneza cuando su concentración en el músculo

es elevada como ocurre en el músculo flexor digital (8,33 mg/g de tejido fresco) en comparación con el *Longissimus* (3,69 mg/g de tejido fresco), (Torrescano *et al.*, 2003). Debido a la baja precisión de la técnica usualmente utilizada (cuantificación de hidroxiprolina) para determinación de colágeno, se requiere un gran número de animales para detectar pequeñas diferencias (Listrat y Hocquette, 2004; Chiriki *et al.*, 2013).

Si bien la concentración de colágeno depende del músculo que se evalúa, dentro de un mismo músculo los cambios en el contenido y composición son atribuibles a la ganancia diaria de peso, el tipo de fibras musculares y la edad de los animales. La tasa de ganancia de peso modifica la concentración de colágeno total y soluble ya que genera un efecto de dilución del colágeno debido a la hipertrofia de las miofibrillas, lo que resulta en una disminución de la concentración colágeno total (Archile Contreras *et al.*, 2010). Por otro lado, el crecimiento diario aumenta la proporción de colágeno soluble (Miller *et al.*, 1987; Cranwell *et al.*, 1996; Silva *et al.*, 2010). El impacto sobre el colágeno soluble se debería a que la tasa de crecimiento va acompañada por un incremento en el catabolismo y síntesis de nuevas fibras de colágeno, que están menos polimerizadas (McCormick, 1994; Sylvestre *et al.*, 2002).

Finalmente, la relación entre el tipo de fibras y el contenido de colágeno es controversial y poco clara (Lefaucheur, 2010). Sin embargo, se ha observado que los músculos con mayor proporción de las fibras oxidativas o rojas contienen más cantidad de colágeno (Kovanen *et al.*, 1984).

5.2.2. La longitud de los sarcómeros

La fibra muscular del músculo esquelético tiene como unidad anatómica y funcional el sarcómero. Éste se encuentra delimitado por los discos Z y está conformado por los filamentos finos de actina y gruesos de miosina dispuestos longitudinalmente en miofibrillas. A su vez, existen otras proteínas que forman parte de la estructura de los sarcómeros o se encuentran involucradas en el proceso de contracción muscular como son la titina, nebulina, troponina, filamina y desmina (Huff Lonergan *et al.*, 2010).

Los sarcómeros pueden medir hasta 2,5 μm en músculos pre-rigor, mientras que luego del rigor miden cerca de 2 μm , pero en su estado de máxima contracción pueden medir 1,4 μm (Weaver *et al.*, 2008; Ertbjerg y Puolanne, 2017). Un mínimo grado de acortamiento (10% de su longitud en estado de relajación) ocurre cuando el

músculo, al comienzo del establecimiento del rigor, queda expuesto a temperaturas que oscilan entre los 14 y los 20 °C.

En situaciones donde el rango de temperaturas pre-rigor es de 0 a 10 °C, el acortamiento de los sarcómeros es excesivo, pudiendo dar 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 las bombas de calcio presentes en la membrana de retículo sarcoplásmico generada por el frío. 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. Debido al frío las bombas dejan de cumplir su función, y como hay ATP disponible los iones de calcio liberados en el citoplasma promueven la contracción masiva (Savell *et al.*, 2005)

Otra situación que afecta a la longitud de los sarcómeros ocurre en carnes donde el pH desciende rápidamente mientras la temperatura se encuentra aún en el rango de los 35 a 40°C, y 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 electro-estimuladas con el fin de generar un rápido descenso del pH mediante la glucólisis (Thompson, 2002; Kim *et al.*, 2014). La mayor desventaja de la rápida caída del pH es la reducción del efecto positivo que tiene la maduración sobre la terniza de la carne. Esto ocurre porque la aceleración en la caída del pH acelera y finalmente agota la capacidad proteolítica de la m-calpaína (Thompson, 2002).

5.2.3. La maduración de la carne: proteólisis *post mortem*

La maduración es el proceso mediante el cual la carne aumenta la terniza cuando es almacenada por un determinado tiempo a cierta temperatura que permite la actividad de las enzimas proteolíticas. La proteólisis miofibrilar *post mortem* es la responsable de aumentar la terniza por fragmentación de las miofibrillas, pero sin que ocurran cambios en la longitud de los sarcómeros (Koochmaraie *et al.*, 1996). Entre las enzimas implicadas se encuentran las catepsinas de ubicación intralisosomal y las calpaínas que se encuentran en el citoplasma de las células musculares. Ambos grupos de proteasas trabajan sinérgicamente, aunque las calpaínas son ampliamente

reconocidas como las principales responsables del tiernizado (Huff Lonergan *et al.*, 1995; Huff Lonergan *et al.*, 2010). A las calpaínas se las clasifica como m-calpaína y la μ -calpaína, donde la primera necesita hasta 15 veces más concentración de iones de calcio que la segunda para ser activada (Goll *et al.*, 1992). Ambas proteasas son reguladas por la calpastatina que es su inhibidor natural (Soria y Corva, 2004; Geesink *et al.*, 2006). Así, tanto las calpaínas como la calpastatina son enzimas que regulan el recambio proteico a nivel muscular cuando el animal está vivo, y continúan activas en los músculos luego de la muerte del animal.

La proteólisis producida por las enzimas durante la maduración dependerá del pH final (Wu *et al.*, 2014), la temperatura de almacenamiento (Pomponio y Ertbjerg, 2012), la concentración enzimática (Du Toit y Oguttu, 2013) y de la capacidad de las enzimas de acceder a los sustratos (Weaver *et al.*, 2008). Las calpaínas se activan cuando aumenta la concentración de calcio en el citoplasma; pero, por la autólisis propia del proceso su actividad disminuye a 4% después de los 7 días *post mortem* (Lomiwes *et al.*, 2014). Las calpaínas son más activas a temperaturas de 15 °C que a 2 °C (Pomponio y Ertbjerg, 2012), aunque también el pH final que alcance la carne modificará su actividad. La proteólisis es menor a pHs intermedios (de 5,9 a 6,1) (Purchas y Aungsupakorn, 1993; Watanabe *et al.*, 1996).

La relación calpaínas/calpastatina es otro aspecto importante durante la maduración. Al igual que lo que ocurre con la concentración de glucógeno muscular, esta relación depende del tipo de fibra muscular; la relación es mayor en fibras glicolíticas que en oxidativas (Ouali y Talmant, 1990). En relación con esto, Totland *et al.* (1988) observaron que la tasa de tiernizado fue mayor en músculos con mayor proporción de fibras glicolíticas.

5.3. El color y la ternura de la carne de animales de alto y bajo consumo residual

En esta sección se detallan trabajos en los que se evaluó el color de la carne, la ternura y algunas de las variables que podrían afectar a las características sensoriales de la carne de animales de alto y bajo CR (Tabla 1).

En la mayoría de los trabajos no se evaluó el efecto del CR sobre el color de la carne (McDonagh *et al.*, 2001; Gomes *et al.*, 2012); o no se observan diferencias atribuibles al CR sobre esta variable (Zorzi *et al.*, 2013; Fidelis *et al.*, 2017). Esto último se debería a que en estos trabajos tampoco se vieron afectadas por el CR las

principales variables que definen el color de la carne, como ser el pH o el espesor de grasa dorsal que está relacionado con el descenso de la temperatura. En contraposición, otros autores observaron carnes más oscuras (Baker *et al.*, 2006, menor valor b^* ; Nascimento *et al.*, 2016, menor valor L^* ; Herd *et al.*, 2014, menores valores L^* , a^* y b^*) en animales de bajo CR. Si bien, Baker *et al.* (2006) no pudieron explicar los mecanismos subyacentes a esta diferencia en el color de la carne, en el trabajo de Nascimento *et al.* (2016) el color más oscuro de la carne de animales de bajo CR estuvo asociado a un menor contenido de grasa intramuscular en estos animales. En el caso de Herd *et al.* (2014), donde las diferencias de color fueron observadas a los 7 días *post mortem*, los autores sugieren que las diferencias estarían asociadas a una menor estabilidad oxidativa de la carne de animales de bajo CR, consecuencia de un menor consumo de carotenos. Entre las variables que podrían modificar el pH y por lo tanto el color, se encuentra el glucógeno muscular, el cual no fue evaluado en ninguno de los trabajos hechos con bovinos. Sin embargo, trabajos hechos en cerdos indican que animales más eficientes tendrían una mayor concentración de glucógeno muscular (Lefaucheur *et al.*, 2011; Faure *et al.*, 2013).

En los trabajos en los que se evaluó el efecto del CR sobre la terneza de la carne se observó que los animales de bajo CR presentan carne con mayor resistencia al corte (menos tierna) que los de alto CR (Zorzi *et al.*, 2013; Herd *et al.*, 2014; Nascimento *et al.*, 2016). Zorzi *et al.* (2013) observó que la mayor resistencia al corte observada en animales de bajo CR, estaba relacionada con menor proteólisis *post mortem*. Otras variables asociadas a la resistencia al corte, como el contenido de colágeno muscular o la longitud de los sarcómeros, no fueron evaluadas en la mayoría de los trabajos presentados. Zorzi *et al.* (2013) observaron que los animales de bajo CR presentaron mayor contenido de colágeno soluble, pero que esto no fue coincidente con las diferencias detectadas en resistencia al corte. En otro estudio (McDonagh *et al.*, 2001), si bien registraron mayor concentración de calpastatina y por lo tanto menor proteólisis en animales de bajo CR, esto no tuvo incidencia sobre la resistencia al corte.

El efecto variable del consumo residual sobre las características de calidad de la carne se debería a que el consumo es una variable cuantitativa regulada por una gran variedad de genes (Nkrumah *et al.*, 2007; Sherman *et al.*, 2010). Es decir que animales de distinto consumo residual pueden diferir o no en una determinada característica de calidad según los genes implicados, el ambiente en el que se desarrolla el animal y la interacción genotipo-ambiente.

Tabla 1. Resultados obtenidos en trabajos con bovinos donde se estudió el efecto del consumo residual (CR) sobre el color, la resistencia al corte de la carne y variables asociadas

Autores	Animales	Origen de los animales	Variables incluidas en la ecuación que estima el CR	Dieta utilizada en terminación	Diferencias en el color, la terneza de la carne o en variables asociadas según el CR
McDonagh <i>et al.</i> (2001)	Novillos Angus en terminación (450 kg)	Selección divergente por CR	Peso vivo + ganancia diaria de peso vivo	15% forraje: 85% concentrado	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L*: nd ✓ a*: nd ✓ b*: nd ✓ WBSF: ns ✓ pH: nd ✓ Glucógeno: nd ✓ AOB: nd ✓ EGD: nd ✓ GIM: nd ✓ Colágeno: nd ✓ LS: nd ✓ Proteólisis: menor en bajo CR (1 y 14 d) ✓ Concentración de calpastatina: mayor en bajo CR
Baker <i>et al.</i> (2006)	Novillos Angus de 340 kg de PV al momento de evaluar el consumo	Sin selección previa por CR	Peso vivo + ganancia diaria de peso vivo + Espesor de grasa dorsal	Concentrado energético	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L*: ns ✓ a*: ns ✓ b*: menor en bajo CR ✓ WBSF: ns ✓ pH: nd ✓ Glucógeno: nd ✓ AOB: ns ✓ EGD: ns ✓ Marbling: ns ✓ Colágeno: nd ✓ LS: nd ✓ Proteólisis: nd ✓ Actividad de las calpastatina: ns

CR: consumo residual; **nd:** no determinado; **ns:** no significativo; **L*:** parámetro L*; **a*:** parámetro a*; **b*:** parámetro b*; **WBSF:** resistencia al corte; **pH:** pH final; **AOB:** área de ojo de bife; **GIM:** grasa intramuscular; **LS:** longitud de sarcómeros.

Tabla 1 (Continuación). Resultados obtenidos en trabajos con bovinos donde se estudió el efecto del consumo residual sobre el color, la resistencia al corte de la carne y variables asociadas.

Autores	Animales	Origen de los animales	Variables incluidas en la ecuación que estima el CR	Dieta utilizada en terminación	Diferencias en el color la terneza de la carne o en variables asociadas según el CR
Gomes <i>et al.</i> (2012)	Novillos Nellore de 334 kg.	Sin selección previa por CR	Peso vivo + ganancia diaria de peso vivo ✓	Concentrado energético	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L*: nd ✓ a*: nd ✓ b*: nd ✓ WBSF: ns (1 y 7d) ✓ pH: nd ✓ Glucógeno: nd ✓ AOB: nd ✓ EGD: nd ✓ GIM: nd ✓ Colágeno: nd ✓ LS: nd ✓ Proteólisis: menor en bajo CR (1 d de maduración; 7d sin diferencias). ✓ Concentración de calpainas y calpastatina: ns
Zorzi <i>et al.</i> (2013)	Toros Nellore de 369 kg de PV al momento de evaluar el consumo	Sin selección previa por CR	Peso vivo + ganancia diaria de peso vivo	19% forraje, 81% concentrado	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L*: ns ✓ a*: ns ✓ b*: ns ✓ WBSF: mayor en bajo CR (0, 7, 21 d de maduración, sin diferencias a los 14 d). ✓ pH: tendencia a ser menor en bajo CR ✓ Glucógeno: nd ✓ AOB: ns ✓ EGD: ns ✓ GIM: ns ✓ Colágeno soluble: mayor en bajo CR. ✓ LS: ns ✓ Proteólisis: a 0 d <i>post mortem</i> menor en bajo CR, sin diferencias a 7, 14, 21 d <i>post mortem</i>.

Tabla 1 (Continuación). Resultados obtenidos en trabajos con bovinos donde se estudió el efecto del consumo residual sobre el color, la resistencia al corte de la carne y variables asociadas.

Autores	Animales	Origen de los animales	Variables incluidas en la ecuación que estima el CR	Dieta utilizada en terminación	Diferencias en el color la terneza de la carne o en variables asociadas según el CR
Herd <i>et al.</i> (2014)	Novillos Angus de 432 kg de PV al momento de evaluar el consumo	Nellore de Hijos de padres seleccionados por CR	Se utilizó el peso vivo + ganancia diaria de peso vivo para clasificar a los padres de los animales evaluados	Concentrado energético	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L*: ns a las 24 h, menor en bajo CR a los 7 d ✓ a*: ídem a* ✓ b*: ídem a* ✓ WBSF: mayor en bajo CR (0 d), ns a los 7 d ✓ pH: ns ✓ Glucógeno: nd ✓ AOB: ns ✓ EGD: menor en bajo CR ✓ GIM: mayor en bajo CR ✓ Colágeno: nd ✓ LS: nd ✓ Actividad de calpastatina: menor en bajo CR
Nascimento <i>et al.</i> (2016)	Novillos de 280 a 400 kg PV	Nellore Sin selección previa por CR	Peso vivo + ganancia diaria de peso vivo	40% silaje, 60% concentrado	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L*: menor en bajo CR ✓ a*: ns ✓ b*: ns ✓ WBSF: mayor en bajo CR (0 d), ns a los 7 y 14d ✓ pH: ns ✓ Glucógeno: nd ✓ AOB: mayor en bajo CR ✓ EGD: ns ✓ GIM: menor en bajo CR ✓ Colágeno: nd ✓ LS: nd ✓ Proteólisis: ns

Tabla 1 (Continuación). Resultados obtenidos en trabajos con bovinos donde se estudió el efecto del consumo residual sobre el color, la resistencia al corte de la carne y variables asociadas.

Autores	Animales	Origen de los animales	Variables incluidas en la ecuación que estima el CR	Dieta utilizada en terminación	Diferencias en el color la ternura de la carne o en variables asociadas según el CR
Fidelis <i>et al.</i> (2017)	Toros Nellore de 360 kg de PV al momento de evaluar el consumo	Sin selección previa por CR	Peso vivo + ganancia diaria de peso vivo	20% forraje, 80% concentrado	<ul style="list-style-type: none"> ✓ L*: ns ✓ a*: ns ✓ b*: ns ✓ WBSF: ns (0,7,14, 21 d) ✓ pH: ns ✓ Glucógeno: nd ✓ AOB: ns ✓ EGD: ns ✓ GIM: ns ✓ Colágeno: ns ✓ LS: ✓ Proteólisis: menor en bajo CR, 0 d. Sin diferencias a 7, 14 y 21 d.

6. Relevancia del trabajo

Por lo expuesto en la revisión bibliográfica, antes de incluir al consumo residual como índice de selección es crucial entender la relación fenotípica existente entre éste, las características de la carcasa y la calidad de la carne. De esta manera se evitará que la reducción de los costos productivos impacte negativamente sobre el producto final. Además, la dieta influye de manera directa o indirecta sobre la mayoría de las variables que afectan al color y la resistencia al corte, por lo tanto, es deseable que las variables involucradas en este caso sean identificadas. Diversos estudios han evaluado el color y la terneza de la carne de animales clasificados por alto y bajo CR en condiciones de engorde a corral, aunque pocos evaluaron las variables que afectan a estas características sensoriales. Dentro de las variables poco evaluadas en bovinos clasificados por consumo residual se encuentra la concentración de glucógeno muscular a la faena, el contenido y composición del colágeno muscular y la longitud de los sarcómeros.

Este trabajo se realizó con el fin de investigar la relación entre el consumo residual, las características de las carcasas y la calidad de carne de novillos y vaquillonas Angus recriadas y terminadas en pastoreo; sistema de manejo predominante en Argentina y sobre el cual existen pocos trabajos (Meyer *et al.*, 2008; Trujillo *et al.*, 2013). Además, se buscó identificar a las variables que independientemente del consumo determinan la calidad de la carne de animales terminados en sistemas pastoriles. Esto último tiene como finalidad mejorar el manejo durante la recría, terminación, faena y post-faena y contribuir a mantener los altos niveles de calidad de la carne proveniente de sistemas pastoriles.

CAPITULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Introducción

En este capítulo se detallan los materiales y metodologías utilizadas para cumplir con los objetivos del trabajo y probar las hipótesis planteadas. Este capítulo será referenciado en los capítulos subsiguientes que no presentan desarrollo de la metodología implementada.

El capítulo fue organizado siguiendo el orden en que se realizaron las actividades, por lo tanto, primero se describe el manejo de los animales a campo, luego la faena y toma de muestras y finalmente los análisis de laboratorio. En el capítulo no se detalla el análisis estadístico necesario para la prueba de hipótesis ya que la metodología estadística para cada hipótesis en particular se aborda en los capítulos III y IV.

2. Materiales y métodos

2.1. Ensayo a campo

2.1.1. Animales y lugar experimental

El presente trabajo se realizó en dos ciclos de engorde; el primer ciclo (C-1) se realizó en los años 2.012 y 2.013, en tanto que el segundo ciclo (C-2), en los años 2.013 y 2.014. En C-1 se evaluó la progenie (23 machos y 15 hembras) obtenida a partir de la inseminación artificial de vaquillonas Aberdeen Angus de 20-22 meses de edad con semen de 6 toros de la misma raza. En tanto que en el C-2 se evaluó la progenie (24 machos y 28 hembras) obtenida a partir de la inseminación artificial del mismo rodeo de vacas en su segunda gestación utilizado para la obtención de la progenie en el C-1. En el C-2 las vacas fueron inseminadas con semen de 6 toros (2 toros utilizados para C-1 y 4 distintos a los de C-1). En cada ciclo, se seleccionaron 3 toros comercializados como de alta eficiencia y 3 como de baja con el objetivo de generar variación en consumo residual en la progenie a evaluar. Los toros habían sido evaluados genéticamente mediante un panel de 4 genes marcadores para eficiencia.

La evaluación de cada ciclo de engorde comenzó al destete de la progenie que se realizó cuando la edad promedio de los animales fue de 6 meses (C-1, abril de 2012; C-2 mayo de 2013). Los animales permanecieron en el sistema hasta que el peso promedio del rodeo alcanzó los 450 kg de peso vivo (PV). Al finalizar el período de engorde los animales fueron enviados a faena. Los animales de C-1 se faenaron en un único grupo; en tanto que en C-2, dado el mayor número de animales, se los separó aleatoriamente en dos lotes para la faena, 23 y 26 animales cada una.

2.1.2. Manejo general de los animales

Cada ciclo de engorde se dividió en una etapa de recría y una de terminación, considerándose el pasaje de etapa cuando el promedio del rodeo alcanzó los 310 kg de PV.

Durante el ciclo de engorde los animales se manejaron como un único rodeo en un sistema de pastoreo rotativo diario sobre dos pasturas mixtas implantadas en abril de 2.011: 5,5 ha de festuca arundinacea cv Royal Q, trébol blanco cv Goliat y trébol rojo cv Star Fire y 4 ha de festuca arundinacea cv Flecha más Alfalfa (Grupo 6). La asignación diaria de forraje se realizó con el objetivo de dejar un remanente diario de 1.000 kg MS/ha. Cada 14 días se determinó la disponibilidad de forraje pre- y post-pastoreo mediante cortes. En períodos de baja producción de forraje se suplementó con silaje de planta entera de maíz hasta un máximo de 1% del peso vivo en base materia seca.

En ambos ciclos, independientemente de la oferta de forraje, se suplementó con 0,5% PV de silaje de planta entera de maíz un mes antes de la fecha de faena prevista. Este manejo se realizó con el objetivo de que la dieta recibida por los animales durante los últimos 30 días de terminación en los dos ciclos fuera la misma.

Durante los ciclos de engorde (C-1 y C-2) se registró el peso vivo de los animales sin desbaste, cada 21 días entre las 08:00 y las 09:00 h. Los animales fueron retirados de la parcela de pastura 30 minutos antes de ser pesados y fueron llevados hasta la manga y balanza ubicadas a 3 km de distancia. Una vez pesados regresaron a las pasturas. El aumento diario de peso vivo se estimó como la pendiente de la regresión del PV en función del tiempo transcurrido. Para calcular el aumento diario de peso durante todo el ciclo de engorde (ADPVg) se tuvo en cuenta el peso vivo al ingreso al sistema y a la salida del sistema. El aumento diario de peso vivo en recría (ADPVr) se estimó utilizando el PV al ingreso al sistema y el PV cuando el promedio del rodeo pesó 310 kg. El aumento de peso durante el período de terminación (ADPVt) se estimó comprendiendo el peso de inicio de terminación (310 kg PV promedio) y peso de egreso del sistema.

Finalizado el engorde de los animales, éstos fueron faenados de acuerdo con las consideraciones hechas en el apartado 3.1.1.

2.1.3. Estimación de consumo en pastoreo

La estimación del consumo de materia seca en animales en pastoreo se realizó a través de la estimación de la producción total de heces y de la digestibilidad total de la

materia seca consumida utilizando Cr_2O_3 y fibra detergente neutro indigestible (FDNi), como marcadores externo e interno del flujo de la digesta, respectivamente (Lipke *et al.*, 1986). Cuando los rodeos de ambos ciclos de engorde alcanzaron los 370 kg en promedio (C-1, 367 ± 38 kg; 25 de febrero de 2013 y C-2: 379 ± 38 kg, 25 de junio de 2014) se comenzó el suministro de Cr_2O_3 (18 g/día en C-1 y 10 g/día en C-2) por un período de 15 días. A los 10 días de comenzada la dosificación del marcador externo (Cr_2O_3) se inició la recolección de heces.

En C-1 el Cr_2O_3 se entregó con un suplemento diario (07:00 h) de 500 g de materia seca de afrechillo de trigo pelletizado (3,6 g Cr_2O_3 /100 g MS de afrechillo). En cambio, en C-2 se dosificó por boca dos veces por día (07:00 y 17:00 h) en cápsulas de celulosa de 5 g cada una (Almeida *et al.*, 2009). Durante 5 días se tomaron muestras individuales de heces, mediante estimulación rectal, a las 7:00 y a las 17:00 h. En cada ciclo de engorde, con las muestras de heces recolectadas (100 g de peso húmedo de cada muestra) se realizó un *pool* por animal y se conservó a -25 °C hasta su posterior análisis.

Respecto al muestreo de alimentos, en C-1 se registró diariamente el rechazo de suplemento y se tomaron muestras de los suplementos y de los rechazos para la determinación de materia seca. En ambos ciclos de engorde se tomaron muestras diarias de las pasturas asignadas a los animales (técnica de *hand plucking*), coincidente con el período de toma de muestras de heces, antes y después del pastoreo. Luego se realizaron dos *poles* de forraje (pre- y post-pastoreo) que se almacenaron a -25 °C hasta el posterior análisis de composición de la materia seca (MS). Las muestras se utilizaron para determinar la composición de la MS del forraje consumido en cada parcela, asumiendo que el tratamiento no afectó la selección de forraje (Burns *et al.*, 1994).

Las muestras de forraje y heces se secaron en estufa a 60 °C, se molieron utilizando molinos tipo Willey con malla de 1 mm y se conservaron a temperatura ambiente para las posteriores determinaciones de materia orgánica (MO), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y proteína bruta (PB). La materia orgánica se determinó por diferencia de peso después de combustión total durante 8 h a 500 °C. La FDN y la FDA se determinaron secuencialmente usando un extractor de fibra Ankom Fiber Analyzer (mod. 200, Ankom, Fairport, NY) según el método de Van Soest *et al.* (1994). El contenido de proteína bruta se determinó por combustión utilizando un analizador de nitrógeno Leco (mod. FP-528, Leco, St.

Joseph, MI). Sobre las muestras de silaje de maíz también se determinó el contenido de almidón según el método de MacRae y Armstrong, (1968). La composición de la materia seca de los distintos componentes de la dieta suministrada en el momento de la determinación de consumo se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición de la dieta de los animales durante el período de medición de consumo en ambos ciclos productivos

	CICLO 1			CICLO 2
	Pastura	Silo	Afrechillo	Pastura
Materia seca, %	21,79	35,04	90,2	18,57
<u>Composición química, %</u>				
Materia orgánica	88,70	92,4	81,6	86,20
Proteína bruta	22,80	7,4	12,6	19,50
FDN	34,00	48,9	29,0	33,80
FDA	23,50	28,3	9,9	21,10
Almidón	-	13,8	-	-

FDN: fibra detergente neutro; **FDA:** fibra detergente ácido.

Sobre las muestras de pasturas, heces y suplementos tomadas durante el período de recolección de heces también se determinó FDNi. Para el análisis de FDNi, las muestras se incubaron en el rumen de un novillo (600 kg) de raza británica por sextuplicado durante 288 h (Huhtanen *et al.*, 1994). El animal consumió diariamente 5 kg de heno de alfalfa (MS 91,3%; digestibilidad de la MS 65,3%; PB 17,2%; FDN 36%) y 7 kg de heno de avena (MS 90%; digestibilidad de la MS 48,1%; PB 8,6%; FDN 62,8%). Sobre el residuo de la incubación se determinó la concentración de FDN como se describió anteriormente.

La concentración de Cr_2O_3 se determinó en las muestras de heces de ambos ciclos y en el afrechillo utilizado como vehículo del marcador externo en C-1 por espectrofotometría (Kemura y Miller, 1970; citado por Ramiro, 2017). El consumo de MS de pasturas (CMS_{Past}) se calculó en base a la producción total de heces y a la indigestibilidad (Reis y Combs, 2000, con modificaciones). La producción diaria de heces se determinó como el cociente entre la cantidad de Cr_2O_3 consumida y la concentración de Cr_2O_3 por g de heces (Ecuación 1), mientras que la indigestibilidad se determinó en base a la concentración de FDNi en los distintos componentes de la dieta y en las heces. La cantidad de FDNi de pastura consumida fue estimada como la diferencia entre la FDNi total excretada y la cantidad de FDNi de suplementos consumida (Ecuación 2). Luego se calculó el consumo de MS de pastura como el cociente entre la FDNi de pastura excretada y el contenido de FDNi de la pastura (Ecuación 3). Para el consumo de materia seca del suplemento se consideró el consumo medio de los 5 d de recolección de heces.

$$Prod_{Heces} = \frac{Cr_2 O_3 \text{ Consumo}}{[[Cr]_2 O_3]_{Heces}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$FDNi_{Past} = (Prod_{Heces} \times [FDNi]_{Heces}) - (CMS_{Supl} \times [FDNi]_{Supl}) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$CMS_{Past} = \frac{FDNi_{Past}}{[FDNi]_{Past}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Prod_{Heces}; Producción diaria de heces (base materia seca)

Cr₂ O₃ Consumo; Cantidad diaria de Cr₂O₃ consumida

[[Cr]₂ O₃]_{Heces} ; Concentración de Cr₂O₃ en heces

FDNi_{Past}, Cantidad total de FDNi consumida de pastura

[FDNi]_{Heces}; Concentración de FDNi en heces

CMS_{Supl}; Consumo total de materia seca de suplemento consumida

[FDNi]_{Supl}; Concentración de FDNi en los suplementos

2.1.3.1. Estimación del consumo residual

El consumo residual (CR) se calculó como la diferencia entre el consumo de materia seca real (estimado con marcadores) y el esperado. El consumo esperado (CMSE) se estimó mediante una regresión múltiple, en donde el modelo incluyó el peso vivo de los animales durante el período de suministro del marcador y el aumento diario de ganancia de peso (ADPV).

$$CMSE = \beta_0 + \beta_1 PV + \beta_2 ADPV + \varepsilon \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

CMSE; Consumo de materia seca estimado

β_0 ; Intercepto

β_1 ; Coeficiente de regresión parcial de peso vivo

β_2 ; Coeficiente de regresión parcial del aumento diario de peso vivo

ε ; Residual del consumo

2.1.4. Determinación de la velocidad de escape

Las mediciones de velocidad de escape (VE) se realizaron durante las pesadas de rutina de los animales según la técnica descrita por Burrow *et al.* (1988). Los animales fueron conducidos a través de la manga (10 metros de largo) hacia el brete ciego de pesaje individual (el animal no tenía vista al exterior), donde permaneció hasta la determinación del peso vivo (1 a 2 minutos) en cada momento de pesada. Al salir del brete de pesaje, el animal continuó por un camino recto. A 3 metros de la salida del brete se encontraban 2 sensores infrarrojos (REA COW) con los que se midió el tiempo (milisegundos) que cada animal que tardó en recorrer 1,85 m (distancia que había entre los dos sensores). La velocidad de escape se determinó como el cociente entre tiempo registrado para cada animal y la distancia recorrida.

La VE fue registrada siempre luego de las pesadas, con excepción de los días lluviosos o cuando los animales recibieron un tratamiento sanitario o manejo especial. Por lo tanto, la VE se registró en 15 oportunidades en C-1 y en 20 durante C-2.

2.1.5. Manejo pre-faena

Los animales se enviaron a faena cuando el rodeo alcanzó el peso medio objetivo (450 kg). El día anterior al envío se pesaron a las 15:00 h y encerraron con acceso a agua fresca, pero sin alimento, volviéndose a pesar al día siguiente a las 08:00 h, para luego ser transportados hasta el frigorífico ubicado a 200 km del campo experimental. Al llegar al frigorífico (15:00 h), los animales permanecieron en los corrales de encierre con acceso a agua fresca hasta la faena que se realizó a las 10:00 h del día siguiente.

Los animales del C-1 se faenaron todos juntos el 5 de septiembre de 2013. En tanto que, dada la mayor cantidad de animales que se evaluaron, en C-2 la faena se realizó en etapas; la primera se realizó el 26 de noviembre y la segunda el 3 de diciembre de 2014.

2.2. Faena, mediciones en el frigorífico y toma de muestras

La faena se realizó en un frigorífico comercial de acuerdo con el protocolo seguido por el mismo. Primeramente, los animales fueron aturdidos y luego desangrados. En ningún caso se utilizó estimulación eléctrica.

Antes del ingreso de las carcasas en las cámaras de enfriado se registró el peso de las carcasas calientes (PCC) con el que se calculó el rendimiento de res como el porcentaje entre el PCC y el peso vivo pre-embarque de los animales desbastados. El pH y la temperatura se determinó a las 3 y 24 horas después del noqueo (pH_3h, pH_24h, Temp_3h y Temp_24h, respectivamente) en el músculo *Longissimus thoracis* (LT) entre la 12ª y 13ª costilla de la media res izquierda con un pH-metro y termómetro portátiles (mod. 850081 Sper Scientific).

A las 24 horas *post-mortem*, luego de la determinación del pH y la temperatura, se realizó un primer corte transversal al eje longitudinal de la media res izquierda entre la 12ª y 13ª costilla donde se determinó el color del LT, el área de ojo de bife (AOB) y el espesor de grasa dorsal (EGD) como se describe más abajo.

Finalmente se extrajo el bloque de bife angosto (BBA) comprendido entre la 9ª y 12ª costillas, para lo cual se realizó un segundo corte transversal al eje longitudinal, comprendido entre la 8ª y 9ª costillas y un corte paralelo a eje longitudinal de la columna vertebral a los 20 cm de distancia, sobre las costillas. Las muestras se trasladaron conservadas a 4 °C hasta el Laboratorio de calidad de carnes de la EEA Balcarce.

Una vez en el laboratorio, de cada bloque de bife se separaron los músculos (LT y músculos anexos libres de grasa visible (MA)), grasa subcutánea e intermuscular y huesos. Cada uno de los componentes del bloque de bife se pesó con una balanza digital (Ohaus). Para determinar la grasa intramuscular, se tomó una muestra homogénea de LT y MA las cuales fueron liofilizadas utilizando un liofilizador (Labconco. mod. 7960032). Para la extracción de lípidos totales se utilizó un extractor Soxhlet. La metodología se detalla en el apartado 2.3.3.2. Finalmente se calculó la proporción de músculo (LT + MA), grasa (subcutánea + intermuscular + intramuscular) y hueso, presentes en el BBA.

2.2.1. Color del músculo *Longissimus*

Los parámetros colorimétricos se determinaron por sextuplicado sobre la cara caudal del LT expuesto al aire por 30 minutos (*blooming*). Se utilizó un colorímetro Minolta CR-310 (Minolta Corp., Ramsey, NJ.) con el iluminante D65, una apertura de 8 mm 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).

2.2.2. Área de ojo de bife y espesor de grasa dorsal

En la cara caudal del músculo expuesto (12° costilla), luego de medir el color, se calcaron los bordes del LT sobre acetato. Posteriormente la imagen se digitalizó y se determinó el AOB mediante el software APS- Asses. Ink. (University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canadá, 2002). El EGD se determinó con un calibre sobre la grasa que recubre externamente el LT a la altura de la 12° costilla, sobre el tercer tercio a partir del raquis.

2.2.3. Acondicionamiento de muestras

De cada bloque de carcasa (9-11° costilla) se separó el LT del resto de los componentes del bloque de bife. Del LT se obtuvieron las siguientes muestras (bifes) en sentido caudal a craneal: un bife 2,5 cm de espesor para determinación de glucosa y lactato, extracto etéreo y 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 del índice de fragmentación miofibrilar (IFM) y tres bifes de 2,5 cm de espesor para la determinación de la resistencia al corte (WBSF). Todos los bifes se envasaron al vacío (5 mbar, envasadora Multivac C-200) en bolsas de polietileno de 90 micras de espesor. El bife para la determinación de IFM se maduró a 4 °C, en cámara sin exposición a la luz directa durante 3 días contabilizados a partir de la faena. Los bifes para la determinación de la resistencia al corte se asignaron al azar a uno de tres tiempos de maduración definidos (3, 7 y 14 días), y fueron almacenados a 4 °C, sin exposición directa a la luz. Al finalizar el período de maduración los bifes se conservaron a -20 °C hasta su posterior análisis. Las muestras que no requirieron maduración (glucosa, lactato, colágeno, extracto etéreo y longitud de sarcómeros) se almacenaron a -20 °C inmediatamente después del envasado.

2.3. Determinaciones en el laboratorio

2.3.1. Glucógeno total

Para la estimación del glucógeno total (Gluc) se utilizaron las concentraciones de glucógeno residual y lactato muscular obtenidos en muestras tomadas a las 24 horas *post mortem* (ver sección 2.3.1.1. y 2.3.1.2). El glucógeno se calculó como la suma de la concentración de glucosa más la de lactato. A la concentración de lactato se dividió por dos, teniendo en cuenta que en condiciones anaeróbicas se obtienen dos moléculas de lactato a partir de una molécula de glucosa (Immonem *et al.*, 2000).

2.3.1.1. Glucógeno residual

El glucógeno remanente en el músculo se extrajo luego de homogeneizar 1,5 g de músculo con 20 ml de HCl 2N, utilizando un homogenizador (Ultraturrax. IKA, Germany), donde los tubos con muestra se mantuvieron a 4 °C. Luego de 45 minutos de hidrólisis ácida a 4 °C, las muestras se centrifugaron a 3500 rpm durante 15 minutos. El sobrenadante se filtró con papel Whatman N° 1 y se incubó en un baño térmico húmedo durante 2 horas a 90 °C. Se tomaron 5 ml del sobrenadante y se lo neutralizó con NaOH 2N.

La glucosa se determinó por colorimetría utilizando el kit comercial de Wiener Lab (GOD/POD). La lectura se realizó un espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific.) a

550 nm de longitud de onda. El contenido de glucógeno se expresó como μmol 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).

2.3.1.2. 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 10 ml de una solución de HClO_4 1,5 N durante 5 minutos con un homeogenizador (Ultraturrax. IKA, Germany), manteniendo los tubos a 4 °C. Luego estuvieron en reposo durante 5 minutos a 4 °C. Inmediatamente se adicionaron 5 ml de agua destilada a 90 °C y se mantuvieron a esa temperatura durante 2 minutos para, finalmente, ser incubadas a 4 °C durante 45 minutos y filtradas utilizando papel Watman N° 1. El sobrenadante se neutralizó con NaOH 2N. El lactato se determinó por colorimetría usando un kit Randox LAC (Randox Laboratories Ltd, Crumlin, Co. Antrim, UK). La lectura se realizó a 505 nm con un espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific). La concentración de lactato se expresó como μmol de lactato por g de carne fresca.

2.3.2. Determinación de materia seca y lípidos intramusculares

Una sub-muestra del LT se molió con una procesadora Moulinex para obtener una muestra homogénea. A partir de las muestras molidas, se determinó la materia seca mediante el secado en estufa de 1 g de músculo a 60- 65 °C durante 48 horas. La materia seca se obtuvo mediante la diferencia entre el peso de la materia pre-secado y el peso post-secado.

Para la determinación de extracto etéreo, inicialmente se extrajo el agua de 50 g de muestras picadas mediante el uso de un liofilizador Labconco. Las muestras post-liofilización fueron molidas en un molinillo (Numak, mod. F100) para posteriormente someterlas a la extracción de los lípidos.

La extracción de lípidos totales se realizó en cada muestra por duplicado. En primer lugar, 1 g de músculo post liofilización se introdujo una bolsita fabricada con papel Wathman N° 1. Las muestras, dentro de las bolsitas papel, se colocaron en un sistema de extracción tipo Soxhelt, donde se utilizó una mezcla de cloroformo y metanol como solventes en una proporción 4:1(Novakofski *et al.*, 1989). La circulación de solventes se realizó 4 veces manteniendo la temperatura de los mismos en 60 °C. Una vez

finalizada la extracción, las bolsitas se secaron en estufa durante 24 horas a 60-65 °C y se pesaron. El total de lípidos se calculó como la diferencia entre el peso inicial de la muestra y el peso del contenido de las bolsitas después de haber sido expuestas a los solventes. El contenido de lípidos totales se expresó en g cada 100 g de materia fresca.

2.3.3. Contenido de colágeno muscular

2.3.3.1. Colágeno total

El colágeno total se determinó siguiendo la técnica de Bergman y Loxley (1963). Brevemente, 4 g de carne fresca se homogeneizaron con 12 ml de solución $\frac{1}{4}$ Ringer (0,86% NaCl, 0,03% KCl, and 0,033% CaCl₂). Primero, el homogenato se sometió a hidrólisis térmica en un baño húmedo (Vicking con agitador Dubnoff) a 77 °C, durante 70 minutos. Luego se agregaron 20 ml de HCl 5N para generar la hidrólisis ácida. Los tubos se llevaron a estufa de circulación con aire forzado (FAC) a 110 °C durante 12 horas. Al homogenato post hidrólisis se le agregaron 0,500 g de carbón mineral para adsorber partículas. El sobrenadante se filtró a través de papel Watman N° 1. Finalmente, se lo neutralizó con NaOH 5N para luego determinar la concentración de hidroxiprolina (OH-Prol; aminoácido utilizado para la estimación del colágeno) por colorimetría. Brevemente, la reacción colorimétrica se realizó mezclando 500 μ L del hidrolizado con 1000 μ L alcohol isopropílico y 1000 μ L de Cloramina T. Luego, 1000 μ L dedimetilamino-benzaldehído suspendido en ácido perclórico (Reactivo de Erlich) se adicionaron a la reacción. La absorbancia de la reacción se leyó a 540 nm con un espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific.) 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 (Cross *et al.*, 1973). El colágeno total se expresó como mg de colágeno por g de tejido fresco.

2.3.3.2. Colágeno insoluble

Para determinar la concentración de colágeno insoluble, 4 g de carne fresca se homogeneizaron 12 ml de una solución $\frac{1}{4}$ Ringer y luego se sometieron a hidrólisis térmica a 77 °C durante 70 minutos. A continuación, el homogenato hidrolizado se centrifugó a 6000 g durante 10 minutos. Se descartó el sobrenadante que contenía la

fracción soluble. El sedimento se hidrolizó con 10 ml de HCl 5N a 110 °C durante 12 horas en estufa. Al homogenato post hidrólisis se le agregaron 0,250 g de carbón mineral para adsorber partículas. El sobrenadante se filtró a través de papel Watman N° 1. Finalmente, se lo neutralizó con NaOH 5N para luego determinar la concentración de hidroxiprolina por colorimetría. La reacción colorimétrica fue la misma que la utilizada para la determinación del colágeno total.

2.3.4. 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 (Ultraturrax. IKA, Germany). 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.

2.3.5. Índice de fragmentación miofibrilar (IFM)

Las muestras se analizaron siguiendo el protocolo descrito por Hopkins *et al.* (2004), con modificaciones menores. Las muestras (1 g) se cortaron en dirección paralela a las miofibras evitando la inclusión de grasa y tejido conectivo y se colocaron en tubos cónicos. Luego se adicionaron 30 ml de solución buffer (0.1 M KCl, 1 mM EDTA (di-sodium), 1 mM azida sódica (NaN₃) y 25 mM de fosfato de potasio (7 mM KH₂PO₄ y 18 mM K₂HPO₄; pH 7; 4 °C) y se homogeneizaron con un homogeneizador (Ultraturrax. IKA, Germany) a 15000 rpm durante 30 segundos. Las muestras homogeneizadas se filtraron a través de mallas con poros de 1 mm². El filtrado fue centrifugado a 1000 g durante 10 minutos a 2 °C, y se descartó el sobrenadante. Los pellets se re-suspendieron en 10 ml de buffer y se centrifugaron nuevamente. Este proceso se repitió dos veces más, a fin de obtener el extracto de proteína. La

concentración de las mismas se determinó por duplicado sobre el extracto final usando Microplate Spectrophotometer equipado con un lector tipo Epoch (No. 257878; Biotek).

Finalmente, del extracto proteico (muestra) se tomaron alícuotas que se diluyeron con buffer hasta llegar a la concentración final de 0,5 mg/ml, por duplicado. La absorbancia se midió inmediatamente a 562 nm con un espectrofotómetro (Visible Spectrophotometer SP 2000). El promedio de las 2 lecturas fue multiplicado por 150 para obtener un índice de fragmentación miofibrilar.

2.3.6. Resistencia al corte de músculo *Longissimus*

Para la determinación de la resistencia al corte se siguieron las indicaciones de AMSA (1995). 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) con dinamómetro digital (BFG 500N, Quantrol TM, Dillon/Quality Plus, Inc., Kansas City, MO, USA). La resistencia al corte se expresó en kilogramos fuerza (kgf) como el promedio de las seis determinaciones por bife.

CAPÍTULO III

VARIABLES QUE EXPLICAN EL CONSUMO Y SE REALACIONAN CON EL CONSUMO RESIDUAL

1. Introducción

En el presente capítulo se estudiarán las distintas variables relacionadas con la productividad y calidad de la carne que podrían explicar parte del consumo de materia seca, y por lo tanto estar relacionadas con el consumo residual.

El consumo residual de alimento se define como la diferencia (positiva = alto consumo residual, o negativa = bajo consumo residual) entre el consumo de alimento observado y la ingesta de alimento que se espera de un animal de acuerdo a su peso y productividad (Koch *et al.*, 1963).

Dentro de las variables propuestas en este trabajo como candidatas para explicar el consumo se encuentran aquellas relacionadas con la composición corporal, el recambio proteico, el metabolismo tisular y el estrés que explican hasta el 40 % de las diferencias entre animales más y menos eficientes (Richardson y Herd, 2004). Teniendo en cuenta que la finalidad de los animales en estudio es la producción de carne se hipotetizó que el depósito de tejido graso (espesor de grasa dorsal) podría ser una variable relacionada con el consumo y a su vez con la calidad de la carne. De acuerdo con estudios de Herd *et al.* (2014) los animales más eficientes tendrían menor depósito de grasa subcutánea, lo que podría afectar de manera negativa al color y la terneza de la carne. Al mismo tiempo, el espesor de grasa dorsal es menor en animales terminados en pastoreo respecto a aquellos que reciben dietas concentradas, lo que podría resaltar pequeñas diferencias existentes en el color y la terneza de la carne. Por otra parte, la degradación proteica sería menor en animales más eficientes (bajo CR) (McDonagh *et al.*, 2001), lo que tendría una repercusión negativa sobre la terneza.

El consumo, además de relacionarse con la composición corporal y la degradación proteica, tendría relación con la susceptibilidad de los animales al estrés (Richardson y Herd, 2004). En este estudio el temperamento se evaluó objetivamente a través de la velocidad de escape, que no implica perturbaciones adicionales para el animal (Burrow *et al.*, 1988). Los animales con mayor velocidad de escape se caracterizan por ser más temperamentales que los animales con velocidad de escape menor. Debido a las diferencias en la capacidad del animal a adaptarse a su entorno, el temperamento varía a través del tiempo. Las mediciones de velocidad de escape realizadas cerca del post destete serían más predictivas del comportamiento productivo que las mediciones realizadas después de la aclimatación al nuevo ambiente (Behrends *et al.*, 2009). Los animales más calmos serían más eficientes, y por lo tanto presentarían mayores

concentraciones de glucógeno muscular en la faena, lo que favorecería tanto al color como a la ternura de la carne producida. En caso de comprobarse la relación entre el temperamento, el consumo de materia seca y la calidad de la carne, los animales más calmos presentarían importantes ventajas productivas. El impacto de dichas ventajas sería mayor en los animales que consumen forrajes, donde el glucógeno puede ser limitante para el descenso del pH.

Como ya se desarrolló durante la revisión bibliográfica, el consumo de materia seca es una variable cuantitativa regulada por numerosos genes (Nkrumah *et al.*, 2007; Sherman *et al.*, 2010). Por lo tanto, dependiendo de las variables implicadas en la determinación del consumo, la calidad de la carne puede o no verse afectada.

En este capítulo se probarán las hipótesis 1 y 2.

2. Materiales y métodos

La descripción completa de la metodología empleada se describe en el capítulo II.

Análisis estadístico:

Velocidad de escape

Antes de realizar la prueba de las hipótesis se analizó a la velocidad de escape (VE) que se propone como variable explicativa en la hipótesis 1.c. con el fin de identificar cambios en la VE y la relación existente entre las mediciones realizadas a lo largo de cada ciclo.

Dado que el uso de promedios brinda una aproximación más precisa que las determinaciones individuales de VE, se promediaron las mediciones contempladas en un período de 100 días dentro de cada ciclo. Entonces, se generaron seis nuevas variables que correspondieron a PERÍODOS: VE_{0-100d} , $VE_{101-200d}$, $VE_{201-300d}$, $VE_{301-400d}$, $VE_{401-500d}$, $VE_{501-600d}$. Como los animales de C-1 alcanzaron el peso de faena dentro del quinto período de 100 días ($VE_{401-500d}$), estos animales tuvieron cinco promedios de VE, mientras que los animales de C-2 alcanzaron el peso de faena durante el sexto período de 100 días, por lo que tuvieron seis promedios de VE.

La consistencia de la VE a través de cada ciclo de producción fue evaluada mediante análisis de correlación de Pearson, usando los promedios individuales estimados para cada uno de los períodos de 100 días. Para evaluar la evolución del temperamento a lo largo de cada ciclo productivo, los animales se clasificaron en función de su velocidad de salida inicial (VE_{0-100d}) y se generaron tres grupos de animales: los bovinos con menos de 1 desvío estándar a partir de la velocidad de salida media en EV_{0-100d} se denominaron LENTO, los que presentaron 1 desvío estándar más que el promedio se denominaron RÁPIDO, y todos los demás MEDIO. El efecto del ranking por VE (RÁPIDO, MEDIO y LENTO) sobre la velocidad de escape en cada ciclo productivo se evaluó utilizando un modelo lineal mixto que incluyó SEXO, RANKING y PERÍODO como efectos fijos. El PERÍODO se incluyó como una medida repetida sobre el animal. El modelo también incluyó la interacción entre los efectos principales.

Consumo de materia seca y consumo residual

Dado que los residuales del consumo obtenidos a partir del ajuste de la Ecuación 4 no cumplen con el supuesto de independencia requerido para las pruebas estadísticas no se puede utilizar a los residuales como una nueva variable independiente. Para probar las hipótesis planteadas en este capítulo se partió del modelo obtenido al ajustar la Ecuación 4 para la estimación del consumo de materia seca esperado (CMSE).

$$CMSE = \beta_0 + \beta_1 PV + \beta_2 ADPV + \epsilon \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

β_0 ; Intercepto

β_1 ; Coeficiente de regresión parcial de peso vivo

β_2 ; Coeficiente de regresión parcial del aumento diario de peso vivo

ϵ ; Residual del consumo

Para probar la hipótesis 1 se utilizó un modelo mixto que incluyó al consumo de materia seca como variable dependiente en función del peso vivo, la ganancia de peso (Ecuación 4) y el efecto del padre como efecto aleatorio. La significancia de cada variable de interés se probó incluyendo a cada una de ellas de manera individual en la Ecuación 4. Se probaron además de las variables propuestas en las hipótesis (espesor de grasa dorsal, índice de fragmentación miofibrilar, velocidad de escape (VE_{0-100})), otras que se consideraron representativas de la composición corporal (proporción de músculo, hueso y grasa en el bloque de bife angosto, grasa intramuscular y área de ojo de bife) o que podrían haber influenciado de alguna manera el consumo (ciclo y sexo de los animales).

Para probar la hipótesis 2, se siguió el mismo procedimiento de análisis que con la hipótesis 1, pero las variables incluidas en el modelo fueron el color de la carne (parámetros L^* , a^* y b^*) y la resistencia al corte (a los 3, 7 y 14 días de maduración). Como el color y la resistencia al corte dependen de otras variables, también se evaluó la significancia de: el pH a las 3 y 24 h, la temperatura a las 3 h, la longitud de los sarcómeros, el contenido de glucógeno, colágeno total e insoluble.

En todas las ecuaciones generadas por la inclusión de variables se evaluaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Cuando $P > 0,05$ la variable incluida se consideró no significativa.

3. Resultados

3.1. Velocidad de escape

En ambos ciclos productivos se obtuvieron correlaciones positivas significativas entre la VE de los distintos períodos (Tabla 3). Los resultados indican que el promedio de VE calculado para los primeros 100 días es consistente durante todo el ciclo productivo. Por lo tanto, los animales más veloces al inicio fueron más veloces al final del periodo de engorde.

Tabla 3. Media, desvío estándar y coeficientes de correlación de Pearson entre los promedios de la velocidad de escape tomados en cien días para los animales del primer ciclo productivo (arriba de la diagonal) y los del segundo ciclo productivo (debajo de la diagonal).

	Media	D.E.	VE _{0-100 d}	VE _{101-200 d}	VE _{201-300 d}	VE _{301-400 d}	VE _{401-500 d}
Media	--		2.85	2.59	2.91	2.24	1.70
D.E.		--	0.70	0.68	1.55	0.84	0.53
VE_{0-100 d}	2.58	0.83	--	0.72***	0.47**	0.47**	0.53**
VE_{101-200 d}	2.50	0.86	0.52***	--	0.40*	0.24	0.34*
VE_{201-300 d}	2.74	1.26	0.41**	0.57***	--	0.73***	0.52***
VE_{301-400 d}	2.52	0.89	0.52***	0.58***	0.73***	--	0.54***
VE_{401-500 d}	2.16	0.72	0.47***	0.57***	0.62***	0.74***	--
VE_{501-600 d}	1.85	0.55	0.32*	0.50***	0.54***	0.60***	0.83***

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$

D.E.: Desvío estándar; VE: velocidad de escape

Al evaluar la VE a través de cada ciclo productivo no se detectó interacción triple (SEXO x RANKING x PERÍODO), doble (SEXO x PERÍODO y SEXO x RANKING) ni efecto de SEXO ($P > 0,10$). Se observó interacción RANKING x PERÍODO ($P < 0,05$; Figuras 3 y 4). Cuando la VE para cada PERÍODO fue comparada a través de RANKING, las diferencias se observaron en los primeros cuatro períodos en C-1 ($P \leq$

0.05) y los primeros cinco períodos en C-2 ($P \leq 0.06$), pero no en el último período ($P \leq 0.13$).

Cuando la VE para cada RANKING fue comparada a través de PERIODO, en ambos ciclos productivos, las diferencias se observaron en RÁPIDO y MEDIO ($P < 0,05$), pero no en LENTO ($P > 0,10$). La VE tendió a disminuir a medida que incrementó el período.

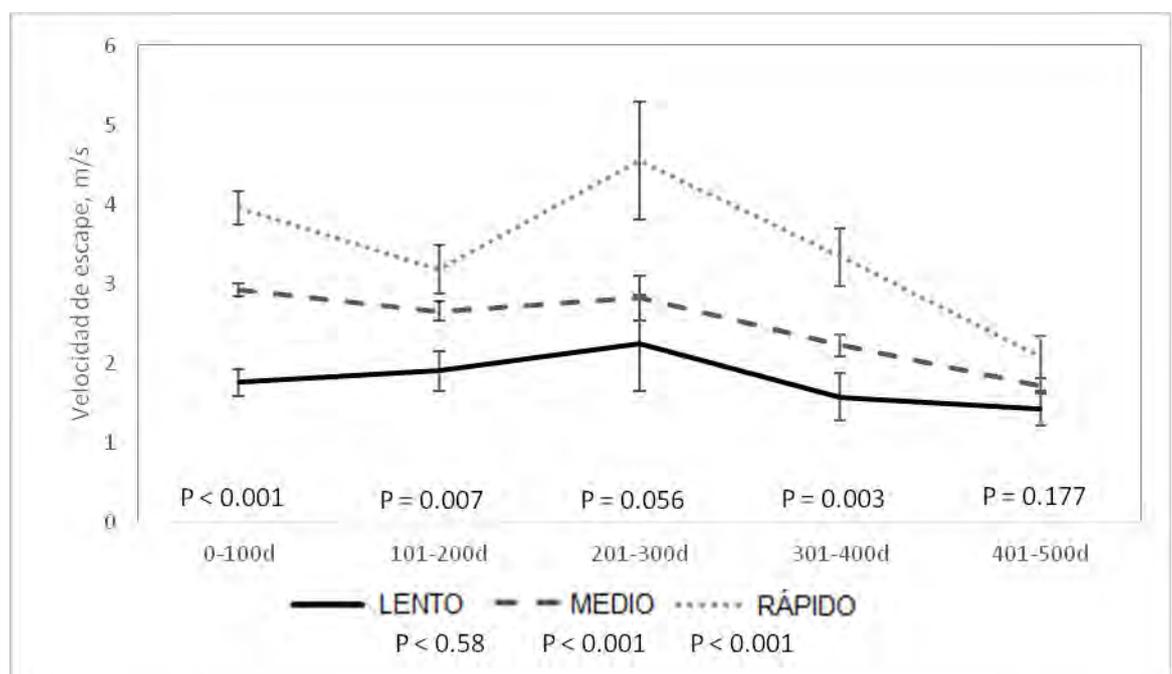


Figura 3. Media de mínimos cuadrados para velocidad de escape en el primer ciclo de producción para cada RANKING de velocidad de escape.

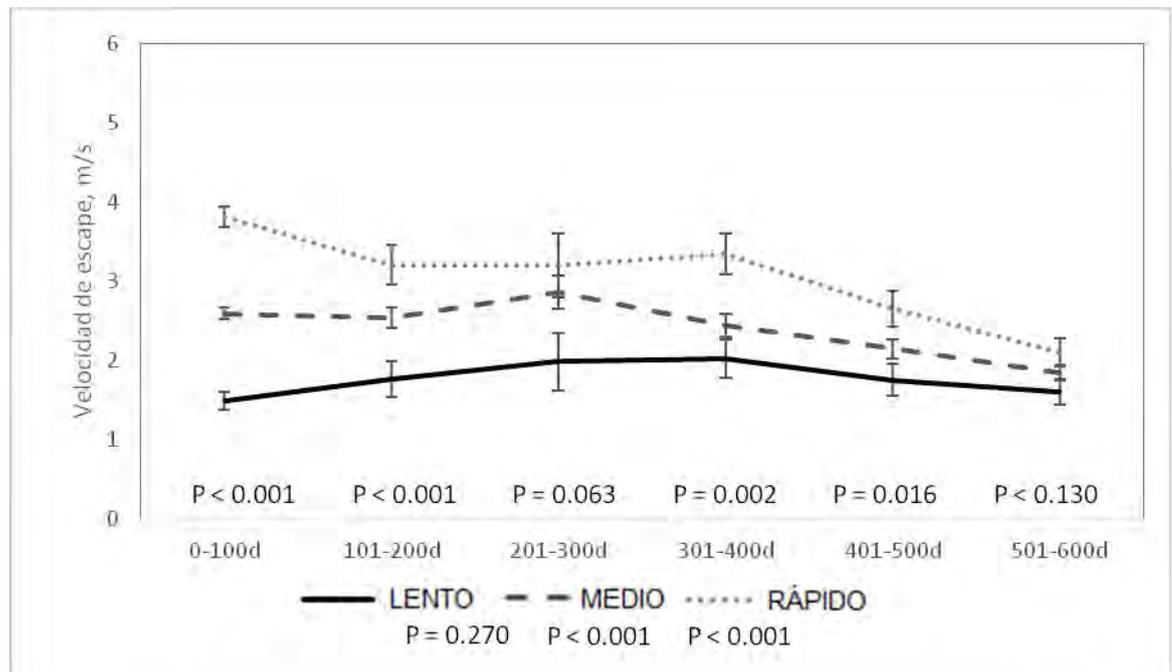


Figura 4. Media de mínimos cuadrados para velocidad de escape en el segundo ciclo de producción para cada RANKING de velocidad de escape.

3.2. Consumo de materia seca, características productivas y de calidad de las carcasas

La estadística descriptiva del consumo de materia seca en machos y hembras en los dos ciclos productivos se resume en la Tabla 4, mientras que las características productivas se detallan en la Tabla 5. En términos generales los animales de C-1 consumieron 0,26 kg más de materia seca; pero cuando el consumo se expresó como porcentaje del peso vivo fue de 0,11 puntos porcentuales más que en C-2. A su vez, la digestibilidad de la materia seca en el C-1 fue de 12 puntos porcentuales menos que en el segundo ciclo.

Tabla 4. Consumo diario de materia seca, pastura y suplemento; y digestibilidad *in vivo* en novillos y vaquillonas Angus al inicio de la terminación en dos ciclos productivos consecutivos en pasturas perennes

Ítems ^z	Ciclo 1		Ciclo 2	
	Macho n=23	Hembra n=15	Macho n=24	Hembra n=28
Consumo MS total, % PV	2,87±0,36	2,79±0,37	2,73±0,29	2,71±0,34
Consumo MS, kg/an/d				
Total	10,68±1,25	10,27±1,51	10,44±1,61	9,99±1,43
Pastura	8,55±1,26	8,13±1,52	10,44±1,61	9,99±1,43
Suplemento	1,64±0,08	1,64±0,07	-	-
Digestibilidad aparente <i>in vivo</i>, %	59,23±1,08	59,01±1,54	71,52±1,92	71,61±2,04

^z MS: materia seca; PV: peso vivo

Los animales de C-1 pesaron 18 kg más al inicio de la recría y 11 kg más al inicio de la terminación que los de C-2. El peso al final del período de terminación en C-1 fue de 21 kg menor que en C-2. El aumento diario de peso durante todo el período productivo fue de 0,09 kg más, y durante el período de recría fue de 0,12 kg más para los animales de C-1 respecto a C-2, pero al evaluar el aumento diario de peso en terminación en C-1 fue de 0,03 kg menos que en C-2.

En cuanto a las características de las carcasas, el rendimiento, el peso de las carcasas calientes y el área de ojo de bife fueron de 1,33 kg, 1 kg y 9,72 cm² más en C-1 respecto a C-2, mientras que el espesor de grasa dorsal fue de 0,7 mm menos para animales de C-1 respecto con C-2 (Tabla 5). Por otro lado, las proporciones de músculo, grasa y hueso no presentaron diferencias entre los dos ciclos.

Relativo al sexo de los animales se observó que las hembras iniciaron el ciclo productivo con 5 kg más de peso vivo que los machos, pero al inicio y fin de la terminación las hembras tuvieron 5 y 17 kg menos que los machos. El aumento diario de peso (general, recría y terminación) fue de 0,04 kg menos en hembras respecto a machos. El rendimiento de res, el AOB, el EGD y la proporción de grasa en el bloque de bife fueron de 0,94 puntos porcentuales, 0,07 cm², 1,28 mm y 0,04 kg/kg, respectivamente, mayores en hembras que en machos. Contrariamente el peso de la

carcasa caliente, las proporciones de músculo y hueso en el bloque de bife fueron 4 kg, 0,03 y 0,03 kg/kg menores en hembras que en machos.

Tabla 5. Variables productivas y características de carcasa de novillos y vaquillonas Angus recriados y terminados en pastoreo durante dos ciclos productivos

Ítems ^z	Ciclo1		Ciclo 2	
	Macho n=23	Hembra n=15	Macho n=24	Hembra n=28
Variables productivas				
<i>Peso vivo, kg</i>				
inicio de recría	168±18	178±35	155±18	155±18
inicio de terminación	327±28	326±34	320±25	311±22
fin de terminación	470±43	461±35	499±41	474±50
<i>ADPV, kg</i>				
General	0,59±0,07	0,57±0,04	0,52±0,06	0,46±0,10
Recría	0,74±0,08	0,69±0,06	0,61±0,07	0,59±0,09
Terminación	0,52±0,09	0,50±0,07	0,57±0,08	0,51±0,12
Características de carcasa				
Rendimiento, %	54,67±1,36	55,48±1,68	53,20±2,09	54,28±1,58
PCC, kg	248±27,06	248±20,03	251±22,35	243±28,42
AOB, cm ²	58,91±6,65	60,74±3,28	50,94±3,65	49,26±6,04
EGD, mm	3,66±2,22	4,47±2,78	3,90±1,77	5,66±2,44
Composición del bloque de bife angosto, kg/kg				
Músculo	0,61±0,04	0,58±0,08	0,63±0,02	0,61±0,03
Grasa	0,13±0,04	0,18±0,04	0,14±0,03	0,18±0,04
Hueso	0,30±0,03	0,26±0,02	0,28±0,02	0,26±0,02

^z **ADPV:** aumento diario de peso vivo; **PCC:** peso de carcasa caliente; **AOB:** área de ojo de bife; **EGD:** espesor de grasa dorsal

3.3. Variables que explican el consumo

Los coeficientes para la ecuación que predice el consumo de materia seca en función al peso vivo y el aumento diario de peso vivo se presenta a continuación:

$$\text{CMSE} = (2,67 \pm 1,39) + (0,01 \pm 0,00) \text{PV} + (5,54 \pm 1,58) \text{ADPV} + \text{CR} \quad R^2 = 0,29$$

Donde:

CMSE: consumo de materia seca esperado

PV: peso vivo

ADPV: aumento diario de peso vivo

CR: consumo residual

Ninguna de las variables incluidas en el modelo original para la estimación de consumo (Ecuación 4) permitió mejorarlo (padre, $P = 0,59$; ciclo, $P = 0,59$; sexo, $P = 0,79$; espesor de grasa dorsal, $P = 0,59$; índice de fragmentación miofibrilar, $P = 0,80$; VE₍₀₋₁₀₀₎, $P = 0,79$; proporción de músculo, $P = 0,77$; grasa, $P = 0,59$; hueso, $P = 0,52$ en el bloque de bife angosto; grasa intramuscular, $P = 0,56$; y área de ojo de bife, $P = 0,77$ (Tabla 4). Tampoco el pH a las 3 y 24 h, la temperatura a las 3 h, la longitud de los sarcómeros, el contenido de glucógeno, colágeno total e insoluble fueron variables explicativas para el consumo ($P > 0,10$).

La incorporación de los distintos parámetros de color (L^* , a^* y b^*) a la Ecuación 4 que explica parte del consumo de materia seca fue significativa, indicando la existencia de algún tipo asociación entre el CR y el color de la carne (Tabla 6). La inclusión del valor L^* explicó un 6% de la variación del consumo de materia seca ($P = 0,02$); en tanto que, la incorporación de los valores a^* o b^* permitieron explicar 5% de dicha variación ($P = 0,05$ y $P = 0,05$). Así, cuando el peso vivo y la ganancia de peso se mantienen constantes, por cada aumento del valor L^* , a^* o b^* , el consumo de materia seca aumentó 0,180, 0,123 o 0,149 kilos, respectivamente.

Por otra parte, la inclusión de la resistencia al corte del músculo *Longissimus* madurada por 3, 7, o 14 d en el modelo para la estimación del consumo de materia seca no logró explicar parte de la variación de consumo ($P > 0,10$; Tabla 6).

Tabla 6. Coeficientes de determinación para el consumo de materia seca que incluye el ciclo, sexo de los animales, características de las carcasas y de calidad de carne

Modelo	R ² parcial	P valor de la variable probada	R ² aj del modelo	P valor del modelo
$\beta_0 + \beta_1 PV + \beta_2 ADPV$	-	-	0,29	< 0,01
+ β_3 padre	0,0006	0,59	0,26	< 0,01
+ β_3 ciclo	0,003	0,59	0,27	< 0,01
+ β_3 sexo	0,0006	0,79	0,26	< 0,01
+ β_3 EGD	0,002	0,59	0,27	< 0,01
+ β_3 IFM	0,0005	0,80	0,26	< 0,01
+ β_3 VE	0,0008	0,79	0,26	< 0,01
+ β_3 MBBA	0,0007	0,77	0,26	< 0,01
+ β_3 GBBA	0,0002	0,59	0,27	< 0,01
+ β_3 HBBA	0,003	0,52	0,27	< 0,01
+ β_3 GIM	0,003	0,56	0,26	< 0,01
+ β_3 AOB	0,0007	0,77	0,26	< 0,01
+ β_3 pH_3h	0,02	0,11	0,28	< 0,01
+ β_3 pH_24h	0,01	0,20	0,28	< 0,01
+ β_3 temp_3h	0,003	0,55	0,26	< 0,01
+ β_3 LS	0,0008	0,76	0,26	< 0,01
+ β_3 Gluc	0,0008	0,93	0,26	< 0,01
+ β_3 CT	0,0007	0,78	0,26	< 0,01
+ β_3 CI	0,0004	0,82	0,26	< 0,01
+ β_3 L*	0,06	0,02	0,30	< 0,01
+ β_3 a*	0,05	0,05	0,29	< 0,01
+ β_3 b*	0,05	0,05	0,30	< 0,01
+ β_3 WBSF3d	0,003	0,54	0,26	< 0,01
+ β_3 WBSF 7d	0,007	0,37	0,27	< 0,01
+ β_3 WBSF 14d	0,007	0,39	0,27	< 0,01

EGD: espesor de grasa dorsal; **IFM:** índice de fragmentación miofibrilar; **VE:** velocidad de escape; **MBBA:** músculo de bloque de bife angosto, **GBBA:** grasa de bloque de bife angosto; **HBBA:** hueso de bloque de bife angosto; **GIM:** grasa intramuscular; **AOB:** área de ojo de bife; **pH_3h:** pH 3 *post mortem*; **pH_24h:** pH 24 *post mortem*; **temp_3h:** temperatura 3 hora; **LS:** longitud de los sarcómeros; **Gluc:** glucógeno muscular; **CT:** colágeno total; **CI:** colágeno insoluble; **L***, **a***, **b*:** parámetros colorimétricos; **WBSF3d:** resistencia al corte 3 d de maduración; **WBSF7d:** resistencia al corte 7 d de maduración; **WBSF14d:** resistencia al corte 3 d de maduración.

4. Discusión

4.1. Generalidades

Para calcular el consumo residual mediante la fórmula propuesta por Koch *et al.* (1963) es necesario conocer el consumo de materia seca individual. Esta última variable es de difícil medición en sistemas pastoriles y usualmente se utiliza la estimación mediante el uso de marcadores externos e internos (Burns *et al.*, 1994; Reeves *et al.*, 1996). Las estimaciones hechas con marcadores pueden tener alta variabilidad (Malossini *et al.*, 1995; Macoon *et al.*, 2003) lo que podría dificultar la detección de pequeñas diferencias en el consumo de materia seca. En este estudio, para aumentar la precisión de las estimaciones y obtener mayor homogeneidad del marcador externo dentro del tracto digestivo del animal, se lo dosificó usando como vehículo el alimento en C-1, y en dos oportunidades de manera directa (por boca) en C-2.

Posiblemente, por la dificultad para medir el consumo existen pocos trabajos publicados con determinación de consumo y cálculo del consumo residual en animales en pastoreo (Trujillo *et al.*, 2013; Meyer *et al.*, 2008). Trujillo *et al.* (2013) estimó el CR en corrales con una dieta de concentrados y heno (60:40), luego lo estimó en condiciones de pastoreo y observó que la correlación entre ambas estimaciones fue sólo del 50%. El uso de heno para la evaluación del consumo en corrales sería una alternativa para la evaluación del consumo con forrajes (Meyer *et al.*, 2008). Sin embargo, al evaluar el consumo en corrales no se tienen en cuenta los posibles cambios en la conducta ingestiva, que según Durunna *et al.* (2011) explican hasta 13% las variaciones en consumo. Por lo tanto, si se desea conocer la eficiencia en sistemas pastoriles se deben evaluar los animales dentro del sistema, donde se exponen a situaciones que les permiten la selección de forrajes y actividad física de pastoreo principalmente que implican gasto energético. En los casos donde el consumo se mide en animales encerrados se estaría disminuyendo el costo energético que implica la alimentación en pastoreo. Por lo tanto, en este trabajo se evitó el encierro de los animales. Esta situación asume que el costo generado por el pastoreo está incluido dentro del costo de mantenimiento.

Finalmente, teniendo en cuenta que la eficiencia individual de cada animal (CR) y la deposición de grasa y músculo dependen del momento en que se determina el

consumo, en este trabajo se lo determinó al inicio de la terminación. En este momento de la etapa del animal se podrían detectar diferencias en la composición de la carcasa que influirían en la calidad de la carne. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el momento de determinación del consumo quedó alejado de la faena de los animales debido a las bajas ganancias de peso propias del sistema.

4.1.1. Evolución de la velocidad de escape a través del tiempo

En concordancia con Burdick *et al.* (2011) y Café *et al.* (2011), el sexo de los animales no generó diferencias en la velocidad de escape. Los resultados obtenidos en este trabajo, al igual que los de Café *et al.* (2011), sugieren que el promedio de las evaluaciones de VE durante los primeros 100 días después del destete se relacionan con las VEs medidas en cualquier otro momento de la vida productiva del animal. En otras palabras, los animales con mayor VE al comienzo de ciclo productivo también tuvieron mayor VE al final y viceversa. Sin embargo, como también observaron otros autores (Caroline de Lima *et al.*, 2014; Curley *et al.*, 2006; Lockwood *et al.*, 2015; Bruno *et al.*, 2016) los cambios en VE a lo largo del ciclo de producción no fueron constantes para los diferentes rankings de velocidad de escape (RANKING x PERIODO, $P < 0,05$). De acuerdo con Lockwood *et al.* (2015) el temperamento de los bovinos debe evaluarse cuando los animales están expuestos a un nuevo entorno o a nuevo personal de manejo.

En ambos ciclos productivos los animales más temperamentales y los de temperamento intermedio tuvieron mayor VE que los menos temperamentales al inicio del ciclo engorde. Sin embargo, a medida que el período de recría-engorde avanzó la velocidad de escape se redujo hasta asemejarse a los animales menos temperamentales. Esto indicaría la ocurrencia de un proceso de adaptación de los animales al medio al que fueron expuestos (Behrends *et al.*, 2009; Coombes *et al.*, 2014). A su vez, estos resultados indican que si lo que se busca es diferenciar animales por su temperamento utilizando la VE, la evaluación debe realizarse al inicio de su exposición a un nuevo ambiente y no cuando los animales tuvieron oportunidad de adaptarse al mismo. Es esperable que las diferencias iniciales vuelvan a manifestarse cuando los animales son expuestos a nuevos ambientes.

La mayor variabilidad observada para la VE en el tercer período para ambos ciclos no puede atribuirse a cambios en la rutina de manejo de los animales. En todas las ocasiones los animales fueron manejados dentro de la parcela y conducidos hasta la

manga y balanza por el mismo personal. Los cambios en el manejo asociados a la dosificación de Cr_2O_3 necesarios para la estimación del consumo de materia seca se realizaron en el cuarto período para C-1 y en el quinto período para C-2. Sin embargo, en estos períodos no se observó la mayor variabilidad para la VE.

4.2. Variables evaluadas como candidatas para explicar la variación en el consumo

En líneas generales, los niveles de consumo de materia seca estimados en el presente trabajo se encuentran dentro del rango de valores aceptados por la bibliografía (NRC, 2000) al contemplar el peso vivo, la ganancia de peso y la calidad de la dieta de los animales (2,7 a 2,8% del peso vivo). Se destaca que el consumo de energía total por animal fue alto (24,8 Mcal/d), ya que la digestibilidad de la materia seca fue del 60 y 70%. A grandes rasgos la energía utilizada para mantenimiento calculada a partir del peso vivo fue de 11,9 Mcal/d. La energía requerida para la ganancia de peso fue de 6,2 Mcal/d (NRC, 2000). Estos resultados indican un consumo de energía que supera en un 28% a la requerida para el mantenimiento y la ganancia de peso observados durante el ensayo. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los animales en pastoreo tienen requerimientos energéticos adicionales, generados por la actividad de pastoreo y búsqueda de alimento.

El menor grado de ajuste de la ecuación para estimar el consumo a partir del peso vivo y la ganancia diaria de peso observado en el presente trabajo ($R^2 = 0,29$) que en otros trabajos (Cruz *et al.*, 2010; Trujillo *et al.*, 2013; Zorzi *et al.*, 2013) podría atribuirse a la existencia de otras variables, no evaluadas en el presente trabajo, que tendrían una mayor relevancia en la definición del consumo cuando los animales se encuentran en pastoreo. Entre estas variables se destacan aquellas asociadas al comportamiento ingestivo de los animales. El menor ajuste también podría atribuirse, en parte, al hecho de que, a diferencia de lo realizado en los otros trabajos, que el consumo individual no se determinó, sino que se estimó mediante el uso de marcadores de flujo de la digesta.

Por otra parte, también se observó la existencia de correlación entre las dos variables explicativas (peso vivo y ganancia de peso; $r = 0,35$, $P < 0,01$, no mostrado en resultados). Esto explica por qué la inclusión de la ganancia de peso en la ecuación, si bien es significativa, no mejora sustancialmente el ajuste de la ecuación. Basarab *et al.* (2003) evaluaron animales de 270 días de edad, abarcando distintos

grupos de animales cuyo peso promedio difería en 100 kg. A pesar de contar con animales en terminación y con una amplia variabilidad en el peso, la inclusión de la ganancia de peso sólo explicó un 8,2% de la variación en el consumo, una vez que el peso vivo que explicó el 65% de la variación fue incluido dentro de la ecuación.

Como el ensayo incluyó animales pertenecientes a dos ciclos productivos de ambos sexos, se probó la significancia de CICLO y SEXO dentro del modelo. La ausencia de significancia para el ciclo sugiere que no hubo diferencia en eficiencia entre grupos de animales. Con el fin de minimizar variación en consumo entre los distintos ciclos de engorde, en ambos se utilizaron animales de la misma raza, y el consumo se determinó con animales en el mismo estado de desarrollo (inicio de terminación), dos factores que afectarían el consumo (Basarab *et al.*, 2011 y Gomes *et al.*, 2012). Otro factor que podría generar diferencias en el consumo entre los ciclos es composición y calidad la dieta utilizada (Durunna *et al.*, 2011). Si bien existió una diferencia de 12 puntos porcentuales en la digestibilidad de la misma entre ambos ciclos productivos, ésta diferencia está implícita en los valores obtenidos de consumo de materia seca. Ya que el consumo se estimó considerando la digestibilidad de la materia seca consumida, la inclusión del CICLO no es necesaria en el modelo que explica el consumo. Por otro lado, la ausencia de asociación del SEXO con el consumo una vez incluido el PV y el ADPV en el modelo concuerda con los observado por Bonilha *et al.* (2015) y por Dikyer y Sainz, (2016). Esto se debería a que las diferencias en consumo debidas al sexo estarían fundamentalmente asociadas a sus diferencias intrínsecas de peso vivo y de ganancia de peso (NRC, 2000).

4.2.1. Composición corporal y consumo de materia seca

La composición corporal fue propuesta como una posible explicación a las diferencias encontradas entre animales más y menos eficientes (Ricardson y Herd, 2004). Sin embargo, en este estudio, ni el espesor de grasa dorsal, ni el contenido de músculo, grasa y hueso del bloque de bife angosto, pudieron explicar parte de la variación en el consumo de materia seca. Por un lado, el EGD tuvo una asociación positiva con el peso vivo al momento de la medición del consumo y con el aumento de peso utilizado en la ecuación ($r = 0,46$; $P < 0,01$ y $P = 0,19$; $P = 0,07$, respectivamente; no mostrado en resultados) lo que hace que su inclusión no sea significativa una vez que las variables anteriores ya ingresaron dentro del modelo. También la proporción de músculo, grasa y hueso del bloque de bife estuvieron correlacionados con el peso

vivo ($r = -0,19$, $P = 0,07$; $r = 0,27$, $P = 0,001$; $r = -0,27$, $P = 0,01$, respectivamente). Es posible que los animales de mayor peso corporal al tener mayor ganancia diaria de peso también hayan depositado más grasa que los animales más livianos ante la misma situación nutricional (Greenwood y Cafe, 2007). En el trabajo de Basarab *et al.* (2003) el EGD y el porcentaje de grasa retenidos en la ganancia de peso contribuyeron a explicar parte de la variación del consumo. En dicho trabajo la determinación se realizó con dietas energéticas que permiten el engrasamiento con mayor facilidad que las dietas basadas en forrajes, lo que además tuvo incidencia en la ganancia de peso de los animales que fue superior a 1 kg diario (Basarab *et al.*, 2003). En el presente trabajo la determinación del consumo se realizó en el inicio de la terminación, donde todavía no hay grandes depósitos de grasa, sobre todo en un engorde sobre pasturas. También es posible que los animales no hayan alcanzado el nivel de engrasamiento pre-faena necesario para que dicha relación sea detectable, sobre todo si se tiene en cuenta que el EGD sólo explica el 1,8% de la variación en el consumo (Basarab *et al.*, 2003).

La falta de relación entre la composición del bloque de bife y el consumo de materia seca observado en el presente trabajo, contrasta con la mayor proporción de tejido muscular y menor de tejido graso observada por Arthur y Herd (2004) y Blank *et al.* (2016), o con el menor grado de osificación observado por Herd *et al.* (2014) para los animales más eficientes (menor CR). Las ganancias diarias de peso observadas (600 g) indicarían que no habría existido excedente de energía para que sea acumulada como grasa, pues la gran mayoría de la energía ingerida habría sido destinada a mantenimiento y crecimiento (crecimiento muscular). El bajo espesor de grasa dorsal y contenido de grasa intramuscular en las reses, respecto a lo observado en otros trabajos, ponen en evidencia el bajo nivel de acumulación de tejido graso. Según Di Marco (1998) en animales en crecimiento el depósito graso se incrementaría con ganancias de peso mayores a las observadas. Lancaster *et al.* (2009) sugieren que el efecto de la deposición de grasa sobre el consumo residual es significativo sólo cuando ésta representa una gran proporción del peso vivo. Si bien no se observó asociación entre el consumo de materia seca y los otros depósitos de grasa (intermuscular, subcutánea e intramuscular), la grasa visceral (no medida) que es la primera en incrementar su tamaño durante el engorde, podría haber explicado parte de la variación del consumo (Basarab *et al.*, 2003).

4.2.2. Recambio proteico y consumo de materia seca

El recambio proteico ha sido sugerido como otra variable que afectaría la eficiencia neta de producción (Richardson y Herd, 2004). Animales de bajo CR presentaron menor tasa de recambio proteico en distintos trabajos; Gomes *et al.* (2012) y Zorzi *et al.* (2013) observaron menor índice de fragmentación (menor degradación proteica) en animales de bajo CR, y McDonagh *et al.* (2001) mayor actividad de la calpastatina, inhibidor de las enzimas proteolíticas. Sin embargo, en el presente trabajo no se observó asociación alguna entre el índice de fragmentación miofibrilar a los 3 d post maduración y el consumo. Dado que la resistencia al corte continuó disminuyendo después de los 3 d *post mortem*, se espera que en caso de haber existido diferencias en la tasa de recambio estas hubieran podido ser detectadas, pues se habría evitado su enmascaramiento por una mayor extensión en el tiempo de la proteólisis miofibrilar.

El recambio proteico del tejido conectivo se puede estimar mediante las proporciones de colágeno soluble e insoluble (Bendall, 1967). Los resultados obtenidos no establecen una relación entre el consumo y la concentración de colágeno total o insoluble, y hasta el momento los resultados no son concluyentes. Contrariamente al menor recambio proteico esperado en animales de bajo CR (Richardson y Herd, 2004), Zorzi *et al.* (2013) observaron que los animales de bajo CR presentaron mayor contenido de colágeno soluble que los de alto CR.

4.2.3. Temperamento y consumo de materia seca

Se hipotetizó que el temperamento podía explicar parte de la variación en el consumo, ya que se relaciona con la susceptibilidad al estrés por parte del animal. En el mismo sentido algunos trabajos indican que los animales más excitables (mayor VE) consumen menos materia seca (Fox, 2004; Nkrumah *et al.*, 2007; Bruno *et al.*, 2016) que repercute negativamente sobre la ganancia de peso. Sin embargo, en el presente trabajo no se observó asociación entre la VE y el consumo, lo que coincide con lo observado por Black *et al.* (2013) y Caroline de Lima *et al.* (2014). Tampoco se observó asociación entre la VE y las variables explicativas que fueron incluidas para explicar el consumo (peso vivo y ganancia de peso), por lo que se descartó la existencia de colinealidad. Es posible que el consumo no haya sido explicado por la VE debido a que esta última variable presentó poca variación entre los valores extremos. En relación con lo anterior, se debe tener en cuenta que todos los animales

fueron de la raza Angus que se caracteriza por ser una de las que menor VE presenta cuando se la compara con otras razas (Hoppe *et al.* 2010). Elzo *et al.* (2009) sugieren que el manejo pre-destete contribuye a disminuir las diferencias entre animales temperamentales. Sin embargo, lo discutido anteriormente sobre la evolución de la VE a lo largo del ciclo productivo indica que, al momento evaluado, efectivamente, los animales más temperamentales mostraban mayor VE y que el acostumbramiento se produjo al avanzar el ciclo de engorde.

4.3. Relación entre el consumo y el color de la carne

Contrariamente a lo hipotetizado, los parámetros colorimétricos explicaron parte de la variación en el consumo. Generalmente el contenido de grasa intramuscular, el descenso del pH, la temperatura muscular y el pH muscular final, son variables que se relacionan con los parámetros colorimétricos (Listrat *et al.*, 2016). Incrementos en la grasa intramuscular dan lugar a aumentos en el valor L* (Listrat *et al.*, 2016), en tanto que el aumento del pH final se asocia con la disminución de los parámetros colorimétricos (Wulf *et al.*, 1997). En este trabajo, la grasa intramuscular y la temperatura a las 3 h mostraron algún grado de asociación con el valor L*. Lo mismo ocurrió con el pH a las 24 h que se correlacionó con el valor a* y b* además de L*(desarrollado en Capítulo IV).

Aunque no es fácil establecer una asociación directa del color con consumo, más teniendo en cuenta que ninguna de las variables que definen el color de la carne (pH, temperatura, grasa intramuscular) estuvo asociada al consumo, es posible que dicha asociación esté dada por el hecho de que el color es el resultado de la suma de pequeños efectos de muchas variables. Un concepto similar fue presentado por Wulf *et al.* (2000) para definir al color como predictor de la terneza de la carne.

Por otra parte, Lefaucheur *et al.* (2011) encontraron que los cerdos de bajo CR (más eficientes) presentaron mayor valor L* asociado a una mayor proporción de fibras blancas. Sin embargo, en el presente trabajo, el mayor consumo de materia seca se asoció a aumentos en los tres parámetros colorimétricos. Esto podría deberse a una mayor proporción de fibras rojas relacionado a un mayor consumo de materia seca. El incremento de fibras rojas se asocia por un lado a mayor cantidad de lípidos, que influirían sobre el valor L* (Nascimento *et al.*, 2016), mientras que la mayor concentración de mioglobina influye directamente sobre los valores de a* y b*.

Estos resultados indican la necesidad de más estudios que aborden el efecto del consumo con otros factores que afecten a color, ya que en este trabajo no se pudo explicar completamente la relación entre el color y el consumo de materia seca.

4.4. Relación entre el consumo y la resistencia al corte de la carne

En concordancia con lo hipotetizado y lo observado, por otros autores (McDonagh *et al.*, 2001; Baker *et al.*, 2006; Gomes *et al.*, 2012), la resistencia al corte no tuvo relación con el consumo residual ya que al agregarla como variable explicativa del consumo de materia seca no fue significativo su aporte para explicar la variabilidad. La falta de relación entre el consumo y la resistencia al corte son consistentes con la ausencia de relación entre el consumo y el largo de sarcómeros, el IFM o el contenido de colágeno soluble e insoluble que son factores que definen la terneza.

La longitud de los sarcómeros *post mortem* se define mediante la relación entre la tasa de descenso del pH y la temperatura *post mortem*. La ausencia de asociación entre el consumo y la longitud de los sarcómeros concuerda con la falta de relación entre el pH, la temperatura, ambos medidos a las 3 h, y el consumo. Este resultado es esperable si se tiene en cuenta que tampoco el espesor de grasa dorsal ni la concentración muscular de glucógeno resultaron relacionados al consumo. De manera similar, Zorzi *et al.* (2013) indicaron que la longitud de sarcómeros no se vio modificada en animales de bajo o alto CR, como tampoco el espesor de grasa dorsal ni el pH final.

5. Consideraciones finales

La mayor eficiencia en el uso de los alimentos puede lograrse mediante ajustes fisiológicos en cualquiera de las variables que lo explican. Dentro de un mismo lote de animales que provienen de un rodeo donde no se ha ejercido presión de selección sobre algún carácter ni sobre la eficiencia, es posible que se encuentren distintos factores interviniendo entre individuos, o más de un factor en un mismo animal para lograr mayor eficiencia. Esta situación donde distintas variables pueden intervenir en distintos animales en la definición de una única variable, como el consumo residual, dificulta la identificación de una de ellas como causante de la mejora en el uso del alimento. Es por esto que no es extraño encontrar que de las numerosas variables estudiadas en este trabajo la mayoría de ellas no logre explicar la variación en el consumo.

En este trabajo las únicas variables candidatas que explicaron parte del consumo de materia seca fueron las relacionadas con el color de la carne (L^* , a^* y b^*). Como ninguna de las variables que afectan directamente al color estuvo relacionada al consumo, surge la hipótesis de que la relación entre el consumo de materia seca y el color de la carne se establecería porque el color incluye a la variación de la temperatura el pH, la grasa intramuscular y el tipo de fibras.

Si bien en este trabajo sólo se evaluó el color a las 24 h *post mortem*, las diferencias en el color de la carne asociadas al consumo residual pueden manifestarse de manera temprana o tardía. Por lo tanto, en futuros estudios que incluyan la evaluación del consumo residual en pastoreo debería considerarse la relación entre el consumo de materia seca y la estabilidad oxidativa de la mioglobina.

CAPÍTULO IV

VARIACIONES EN EL COLOR Y LA RESISTENCIA AL CORTE DE LA CARNE

1. Introducción

En el presente capítulo se estudiarán dos variables que definen sendas características relacionadas con la calidad de la carne (color y la resistencia al corte) proveniente de animales recriados y terminados en sistemas pastoriles. El término calidad incluye a las propiedades inherentes a la carne que la hacen adecuada para el consumidor. Factores como el color, olor, sabor y textura, y dentro de ella a la terniza, son considerados los factores sensitivos primarios.

Entre los factores de calidad, el color y la terniza adquieren especial importancia para los consumidores. El color es una de las características más importantes que observa el consumidor cuando compra la carne (Seideman *et al.*, 1984, Chambaz *et al.*, 2003). El color rojo brillante es de preferencia ya que los consumidores lo asocian con un buen grado de frescura y salubridad de la carne (Chambaz *et al.*, 2003). Por otro lado, la terniza se considera importante en el momento del consumo, y determina la recompra del producto. Además, la terniza es la característica de la calidad con la que los consumidores están más insatisfechos y que puede justificar un mayor precio de venta cuando está asegurada (Chambaz *et al.*, 2003, Aass *et al.*, 2009).

En adición a lo anterior, la variación en la composición de las carcasas y la calidad de la carne es elevada cuando los animales son terminados sobre pasturas y faenados en condiciones comerciales (Pflanzer y Felício, 2009). Las relaciones entre las variables que afectan tanto al color como a la terniza son poco claras, cuando se estudia a cada variable por separado. Por esto surge la necesidad de identificar dichas variables con el fin de mantener o mejorar la calidad de la carne fresca producida en sistemas pastoriles. Conociendo a las variables en cuestión se podrá trabajar puntualmente sobre aquellas más influyentes y que estén limitando la calidad del producto.

Al momento de determinar las variables que condicionan el color y la terniza de la carne se debe tener en cuenta la dieta que consumen los animales. En el caso de los animales recriados y terminados sobre pasturas la ganancia de peso diario es menor y más fluctuante que con dietas ricas en concentrados energéticos. Esta primera diferencia conlleva a que los animales demoren más tiempo hasta llegar al grado de terminación. A medida que aumenta la edad, también lo hace la concentración de mioglobina (Seideman *et al.*, 1984), íntimamente asociada con el tipo de fibras musculares (Popp *et al.*, 2015), que en última instancia afecta al color de la carne. Con

el incremento de la edad y bajas ganancias de peso, también se observa incremento de la fracción insoluble del colágeno (Archile Contreras *et al.*, 2010). El colágeno insoluble se caracteriza por poseer abundantes enlaces covalentes entre las fibras, lo que lo hace más termo-resistente y conlleva a un incremento en la resistencia al corte (Bendall, 1967).

Con una dieta basada en forrajes también los niveles de glucógeno muscular son menores que los esperados con una dieta basada en concentrados, y, por lo tanto, el descenso del pH puede verse afectado (Immonen *et al.*, 2000). Por otro lado, el grado de engrasamiento subcutáneo e intramuscular se ve condicionado por la energía de la dieta, siendo menor en animales terminados con pasturas. El menor espesor de grasa dorsal condiciona la velocidad de descenso de la temperatura (Aalhus *et al.*, 2001). Ambos, tanto el descenso de la temperatura como el del pH y el pH final que alcance la carne, afectarán al color y la resistencia al corte.

A las condiciones ambientales, en este caso la dieta, se le deben sumar las características propias del animal. La bibliografía indica que el temperamento del animal, y por lo tanto la susceptibilidad al estrés influirían sobre la concentración glucógeno muscular mediante la liberación de cortisol (Chen *et al.*, 2016) que estimula la glucogenolisis. Además, los animales más susceptibles al estrés acumulan menos grasa intramuscular, subcutánea y de cadera (P8) (Café *et al.*, 2011). Así, animales más temperamentales tendrían niveles más bajos de glucógeno y grasa subcutánea, lo que aumentaría el riesgo de cortes oscuros, y carnes duras debido al acortamiento de los sarcómeros, o inadecuada maduración de la carne, todo ello condicionado por el pH que alcance la carne.

Teniendo en cuenta que las variables que explican el color y la terneza dependen de las condiciones en que se crían y terminan los animales se plantean las siguientes hipótesis 3 y 4.

2. Materiales y métodos

La metodología utilizada para medir las variables estudiadas en este capítulo fue descrita en su totalidad en el capítulo III.

Análisis estadístico

Para probar las hipótesis 3 y 4 primeramente se determinó la relación entre las variables más importantes mediante un análisis de componentes principales, (Destefanis *et al.*, 2000), utilizando el método del eje principal para extraer los componentes. A partir de este análisis se pre- seleccionaron las variables con coeficiente mayor o igual a 0,22 en una de las dos primeras componentes: el peso de la carcasa caliente, el área de ojo de bife, el espesor de grasa dorsal, el aumento diario de peso vivo en terminación, el pH_3h, el pH_24h, la Temp_3h, el glucógeno, la longitud de los sarcómeros.

Para determinar las variables que mejor explican la variación en el color y la resistencia al corte en el músculo *Longissimus* se realizó un análisis de regresión múltiple, con selección de variables *Stepwise* ($P = 0,05$). El modelo completo para explicar la variación de los parámetros L^* , a^* y b^* y la resistencia al corte en los tres tiempos de maduración incluyó a todas las variables pre-seleccionadas. Además, se incluyó en el modelo completo el índice de fragmentación miofibrilar, y la velocidad de escape (VE_{0-100}) que a pesar de que estas variables no fueron pre- seleccionadas a partir del análisis de componentes principales, fueron planteadas dentro de las hipótesis como variables explicativas. La grasa intramuscular se incluyó también ya que fue una variable de coeficiente mayor a 0,22 representada por la tercera componente y cuyo efecto es teóricamente relevante sobre la resistencia al corte y el color. El modelo completo también incluyó como efectos fijos al sexo, ciclo productivo y efecto del momento de faena dentro de ciclo. Como el sexo resultó ser no significativo en ninguna de las regresiones, fue excluido del modelo final. Los análisis se efectuaron empleando el software estadístico R (R Development Core Team, 2015).

3. Resultados

3.1. Resultados generales. Análisis de componentes principales y correlaciones

En líneas generales, los valores L^* y a^* fueron menores en C-1, mientras que la resistencia al corte a los 3, 7 y 14 d de maduración fueron mayores en C-1 respecto a C-2. El pH_{3h} y Temp_{3h}, al igual que la concentración de glucógeno mostraron valores más altos en C-1, mientras que los valores de pH_{24h} y grasa intramuscular fueron menores en C-1, respecto a C-2. La concentración de colágeno total e insoluble fue mayor en C-1, en tanto que la longitud de los sarcómeros y el índice de degradación fue menor en C-1 respecto a C-2 (Tabla 7).

Tabla 7. Media y desvío estándar asociadas con la calidad de la carne de novillos y vaquillonas Angus criados y terminados en pastoreo durante dos ciclos productivos

	Ciclo 1		Ciclo 2	
	Macho n=23	Hembra n=15	Macho n=24	Hembra n=28
<i>Color y resistencia al corte del músculo Longissimus thoracis</i>				
L*-valor	34,76±3,00	33,85±2,84	32,45±2,57	33,41±2,69
a*-valor	15,57±2,17	15,72±1,50	16,27±2,23	16,79±2,39
b*-valor	12,26±2,01	11,97±1,55	12,03±1,90	12,87±1,89
Resistencia al corte 3d, kgf	5,87±1,77	6,25±1,38	5,26±1,42	5,43±1,67
Resistencia al corte 7d, kgf	5,24±1,57	5,59±1,01	4,12±0,93	3,92±1,00
Resistencia al corte 14d, kgf	4,60±1,63	4,53±0,71	3,49±0,77	3,46±0,87
<i>Otras características del músculo Longissimus thoracis</i>				
pH_3h	6,66±0,40	6,85±0,21	6,70±0,26	6,59±0,27
Temp_3h, °C	23,07±1,73	24,07±1,66	18,90±2,11	19,48±2,21
pH_24h	5,57±0,21	5,62±0,13	5,81±0,18	5,75±0,15
Glucógeno, $\mu\text{mol/g}^{-1}$	37,93±7,79	37,52±5,30	30,27±4,35	30,97±2,68
Grasa intramuscular, %	2,15±1,53	2,40±1,10	2,13±0,91	2,79±1,30
Colágeno total, mg/g^{-1}	4,98±0,93	4,37±1,13	4,04±1,35	4,80±1,75
Colágeno insoluble, mg/g^{-1}	2,82±0,86	2,53±0,92	2,16±0,96	2,59±1,33
Longitud del sarcómero, μm	1,78±0,09	1,83±0,10	1,85±0,11	1,86±0,11
Índice de fragmentación	50,69±12,11	43,24±11,30	51,74±9,63	51,71±7,40

pH_3h: pH a las 3 horas *post mortem*; **Temp_3h:** temperatura a las 3 horas *post mortem*;
pH_24h: pH a las 24 horas *post mortem*

Los análisis muestran que el 22% de la variación total es explicada por la primera componente, el 42% por las dos primeras componentes y el 52% por las tres primeras componentes (Tabla 8). En otras palabras, 52% del total de la variación de las 22 variables consideradas puede ser condensada en tres nuevas variables. En la primera componente está representada la calidad de la carne y las variables que la afectan, mientras que en la segunda componente están representadas las variables productivas y características de carcasa.

Tabla 8. Resultados del análisis de componentes principales para las seis primeras componentes

Componente	Valor propio	% de varianza	% de varianza acumulada
1	4,71	0,22	0,22
2	4,24	0,20	0,42
3	2,13	0,10	0,52
4	1,70	0,08	0,60
5	1,10	0,05	0,65
6	1,02	0,04	0,69

Los parámetros colorimétricos a^* y b^* , la resistencia al corte a los 3, 7 y 14 días, la longitud de los sarcómeros, fueron las variables mejor representadas en la componente principal 1 (Tabla 9). A pesar de estar más cerca del origen de los ejes que las variables mencionadas anteriormente el espesor de grasa dorsal y el pH a las 3 h también estuvieron bien representadas por la primera componente. Los valores a^* y b^* y la longitud de los sarcómeros se agruparon juntos en el gráfico y opuestas al pH a las 3 h y la resistencia al corte en tres tiempos de maduración (3, 7, 14 d), (Figura 5). La correlación entre el color (a^* , b^*) y la resistencia al corte (3, 7, 14 d) fueron negativas. También entre el color (a^* y b^*) y el pH a las 3 h existió correlación negativa. Sin embargo, la asociación entre esta última variable y la resistencia al corte en los tres tiempos de maduración fue positiva. La longitud de los sarcómeros se asoció negativamente al pH a las 3 h y a la resistencia al corte (3, 7, 14 d). El espesor de grasa dorsal se asoció positivamente a los valores a^* y b^* y a la longitud de los sarcómeros, en tanto que su asociación fue negativa con el pH a las 3 h y la WBSF 3d, 7d y 14d (Tabla 10).

El peso de la carcasa caliente, el área de ojo de bife, el aumento diario de peso vivo en recría, terminación y general, el valor L^* , la temperatura a las 3 h, el pH a las 24 h y el contenido de glucógeno fueron representadas por la componente 2 (Tabla 9). El valor L^* se graficó junto a los otros valores colorimétricos. El peso de la carcasa caliente y el aumento diario de peso vivo en terminación se graficaron cercanos a los parámetros colorimétricos, pero separados de las otras variables contenidas en la componente 2. En tanto que el área de ojo de bife, el aumento diario de peso vivo en recría y general, la temperatura a las 3 h y el contenido de glucógeno se agruparon juntas, y opuestas al pH a las 24 h (Figura 5). Respecto a las correlaciones entre

variables, el peso de la carcasa caliente se asoció positivamente al espesor de grasa dorsal y a la temperatura a las 3 h, pero no mostro asociación ni al color ni a la resistencia al corte (Tabla 9). Por otra parte, el pH a las 24 h se asoció negativamente con la concentración de glucógeno, y los tres parámetros colorimétricos (Tabla 10).

Tabla 9. Media, desvío estándar y autovectores para las seis componentes principales de las características de carcasas y calidad del músculo *Longissimus thoracis* incluidas en el análisis de componentes principales

Variables	Media	Desvío Estándar	Componentes principales					
			1	2	3	4	5	6
<i>Características de carcasas</i>								
Peso de la carcasa caliente, kg	247,83	28,12	-0,10	0,34	0,28	-0,16	-0,10	0,05
Espesor de grasa dorsal, mm	4,40	2,35	-0,22	0,16	0,27	0,10	-0,37	-0,06
Área de ojo de bife, cm ²	54,16	7,30	0,16	0,36	0,00	-0,11	0,06	-0,18
ADPV recría	0,65	0,10	0,13	0,33	0,08	0,01	0,04	0,00
ADPV terminación	0,52	0,10	-0,14	0,26	0,31	-0,21	0,18	0,21
ADPV general	0,53	0,09	0,03	0,41	0,21	-0,06	0,19	0,10
<i>Color y resistencia al corte del músculo Longissimus thoracis</i>								
L*-valor	33,52	2,79	-0,22	0,24	-0,21	0,12	0,15	-0,16
a*-valor	16,22	2,18	-0,30	0,11	-0,27	0,04	-0,14	0,22
b*-valor	12,31	1,85	-0,34	0,17	-0,25	0,10	0,04	0,03
Resistencia al corte 3d, kgf	5,67	1,56	0,32	0,01	0,03	-0,04	-0,12	0,18
Resistencia al corte 7d, kgf	4,63	1,33	0,38	0,09	-0,02	-0,02	-0,03	0,01
Resistencia al corte 14d, kgf	4,02	1,21	0,36	0,10	-0,12	0,04	-0,07	-0,02
<i>Otras características del músculo Longissimus thoracis</i>								
pH_3h	6,66	0,31	0,24	-0,02	0,19	-0,17	0,25	-0,16
Temp_3h, °C	21,24	2,87	0,11	0,36	-0,04	0,11	-0,10	-0,12
pH_24h	5,70	0,19	-0,05	-0,27	0,42	-0,13	0,13	-0,07
Glucógeno, µmol/ g ⁻¹	67,16	11,99	0,21	0,22	-0,32	0,14	0,00	-0,01
Grasa intramuscular, %	2,37	1,23	-0,17	0,06	0,33	0,21	-0,38	-0,18
Colágeno total, mg/g ⁻¹	4,63	1,45	0,03	0,01	0,14	0,60	0,31	-0,06
Colágeno insoluble, mg/g ⁻¹	2,59	1,15	0,04	-0,03	0,20	0,57	0,23	-0,04
Longitud del sarcómero, µm	1,84	0,11	-0,29	0,07	-0,11	-0,12	0,16	-0,23
Índice de fragmentación	50,16	10,22	-0,14	0,02	-0,03	-0,10	0,52	0,33
VE ₍₀₋₁₀₀₎ , m.s ⁻¹	2,69	0,78	0,06	0,02	0,08	0,19	-0,17	0,75

ADPV r: aumento diario de peso vivo durante la recría; **ADPV t:** aumento diario de peso vivo durante la terminación; **ADPV g:** aumento diario de peso vivo general; **pH_3h:** pH a las 3 horas *post mortem*; **Temp_3h:** temperatura a las 3 horas *post mortem*; **pH_24h:** pH a las 24 horas *post mortem*; **VE₍₀₋₁₀₀₎:** velocidad de escape promedio de 0 a 100 d post-destete

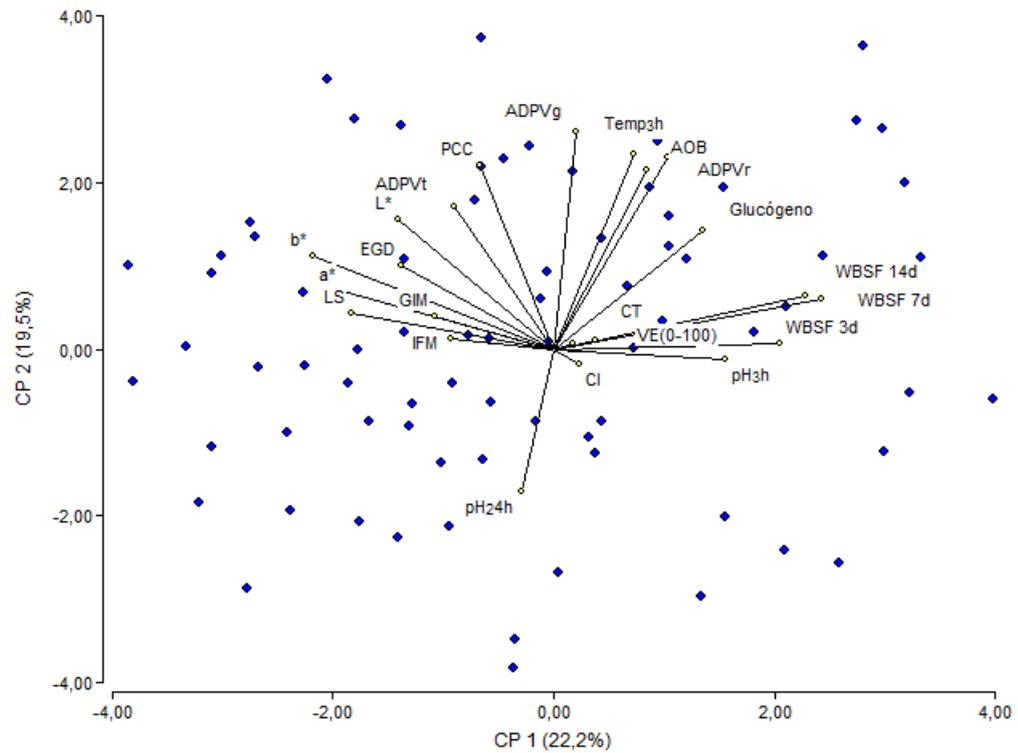


Figura 5. Gráfico de las dos componentes principales (CP 1 y CP 2) y sus vectores de carga

PPC: peso de carcasas calientes; **EGD:** espesor de grasa dorsal; **AOB:** área de ojo de bife; **ADPVR:** aumento diario de peso vivo durante la recría; **ADPVT:** aumento diario de peso vivo durante la terminación; **ADPVG:** aumento diario de peso vivo general; **L*:** parámetro L*; **a*:** parámetro a*; **b*:** parámetro b*; **WBSF3d:** resistencia l corte a los 3 días de maduración; **WBSF7d:** resistencia al corte a los 7 días de maduración; **WBSF14d:** resistencia l corte a los 14 días de maduración; **pH_3h:** pH a las 3 horas *post mortem*; **Temp_3h:** temperatura a las 3 horas *post mortem*; **pH24h:** pH a las 24 horas *post mortem*; **GIM:** grasa intramuscular; **CT:** colágeno total; **CI:** colágeno insoluble; **LS:** longitud de sarcómeros; **IFM** : índice de fragmentación miofibrilar a los 3 días de maduración; **VE (0-100):** velocidad de escape promedio de 0 a 100 d post-destete

Tabla 10. 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	18	19	20	21
Características productivas y de carcasa																					
1.PCC																					
2.EGD	0,57**																				
3.AOB	0,43**	0,03																			
4.ADPV r	0,40**	0,02	0,58**																		
5.ADPV t	0,73**	0,36**	0,20 \times	0,20 \times																	
6.ADPV g	0,65**	0,19 \times	0,60**	0,67**	0,73**																
Color y resistencia al corte del músculo Longissimus																					
7.L*	0,16	0,21*	0,19 \times	0,14	0,20 \times	0,28*															
8.a*	0,20 \times	0,27**	-0,12	-0,10	0,17	0,00	0,3**5														
9.b*	0,22*	0,29*	-0,01	-0,07	0,23*	0,10	0,78**	0,78**													
10.WBSF 3d	-0,08	-0,23*	0,16	0,13	-0,11	0,01	-0,27**	-0,37**	-0,40**												
11.WBSF 7d	-0,11	-0,29**	0,37**	0,27*	-0,14 \times	0,18 \times	-0,21	-0,44**	-0,47**	0,73**											
12.WBSF 14d	-0,06	-0,28*	0,35**	0,25*	-0,20 \times	0,10	-0,18 \times	-0,38**	-0,38**	0,56**	0,75**										
Otras características del músculo Longissimus																					
13.pH_3h	-0,03	-0,20	0,23*	0,13	-0,03	0,10	-0,30**	-0,41**	-0,47**	0,35**	0,39**	0,26*									
14.Temp_3h	0,34**	0,14	0,69**	0,49**	0,15	0,54**	0,32**	-0,03	0,09	0,11	0,37**	0,30**	0,03								
15.pH_24h	-0,13	0,05	-0,33**	-0,33**	0,03	-0,24*	-0,35**	-0,38**	-0,34**	-0,12	-0,18	-0,33**	0,16	-0,42							
16.Gluco	0,04	-0,17	0,39**	0,40**	-0,13	0,26*	0,06	-0,02	-0,07	0,20*	0,38**	0,44**	0,06	0,44**	-0,58**						
17.GIM	0,26*	0,54**	-0,12	0,10	0,17	0,10	0,18 \times	0,09	0,16	-0,16	-0,26*	-0,31**	-0,14	0,04	0,18	-0,25*					
18.CT	-0,02	0,08	-0,09	0,10	0,00	0,10	0,02	-0,13	-0,03	-0,02	-0,01	0,03	-0,03	0,04	0,01	0,14	0,15				
19.CI	-0,07	0,11	-0,07	-0,02	-0,05	0,03	-0,08	-0,10	-0,08	0,00	0,03	0,01	0,08	0,04	0,07	0,04	0,14	0,61**			
20.LS	0,19 \times	0,17	-0,08	-0,10	0,22*	0,01	0,38**	0,40**	0,50**	-0,45**	-0,42**	-0,45**	-0,24*	-0,01	-0,02	-0,15	0,10	-0,12	-0,14		
21.IFM	0,07	0,08	-0,09	-0,03	0,19 \times	0,05	0,22*	0,19 \times	0,26*	-0,13	-0,20 \times	-0,21	-0,09	-0,12	0,05	-0,06	-0,05	0,00	-0,05	0,17	
22.VE	-0,03	-0,02	-0,04	0,11	0,00	0,09	-0,13	0,00	-0,10	0,12	0,07	0,02	-0,04	0,12 \times	-0,01	0,07	0,01	0,08	0,12	-0,20 \times	-0,02

\times . P < 0,10; *. P < 0,05; **P < 0,01

1. PPC: peso de carcasas calientes; 2. EGD: espesor de grasa dorsal; 3. AOB: área de ojo de bife; 4. ADPV r: aumento diario de peso vivo durante la recría; 5. ADPV t: aumento diario de peso vivo durante la terminación; 6. ADPV g: aumento diario de peso vivo general; 7.L*: parámetro L*; 8. a*: parámetro a*; 9. b*: parámetro b*; 10. WBSF3d: resistencia al corte a los 3 días de maduración; 11. WBSF7d: resistencia al corte a los 7 días de maduración; 12. WBSF14d: resistencia al corte a los 14 días de maduración; 13. pH_3h: pH a las 3 horas *post mortem*; 14. Temp_3h: temperatura a las 3 horas *post mortem*; 15. pH_24h: pH a las 24 horas *post mortem*; 16. Gluco: glucógeno; 17. GIM: grasa intramuscular; 18. CT: colágeno total; 19. CI: colágeno insoluble; 20. LS: longitud de sarcómeros; 21. IFM : índice de fragmentación miofibrilar a los 3 días de maduración; 22. VE: velocidad de escape promedio de 0 a 100 d post-destete

3.2. Variables que explican el color y la resistencia al corte de la carne

La variación de los parámetros L^* y a^* fue explicada en un 30 y 41 % respectivamente cuando en el modelo se incluyó la longitud de los sarcómeros, el pH_24h, el espesor de grasa dorsal y el CICLO; no habiendo efecto del momento de faena dentro de C-2. Sin embargo, CICLO no mejoró el modelo que incluyó todas las demás variables y que explica un 38% de la variación observada para el valor b^* (Tabla 10). Para ninguna de las variables estudiadas se detectó efecto del momento de faena. Aumentos en el pH_24h generan disminución de cualquiera de los parámetros colorimétricos. Contrariamente, aumentos en el espesor de grasa dorsal o en la longitud de los sarcómeros aumentan los parámetros colorimétricos. Dentro de las variables que afectan al color, se determinó que el pH_24h tiene una relación de tipo cuadrática con el glucógeno ($R^2_{aj}=0,41$; $P < 0,01$), (Figura 6).

La resistencia al corte a los 3 d de maduración fue explicada en un 21% por la longitud de los sarcómeros (Tabla 11). Al incrementar el tiempo de maduración a 7 y 14 d, la resistencia al corte también fue explicada en un 35 y 36%, respectivamente, cuando, además del largo de los sarcómeros, se incorporó la proporción de grasa intramuscular (GIM) y el CICLO productivo (Tabla 10). El momento de la faena en el segundo ciclo productivo no tuvo efecto significativo sobre la resistencia al corte. En los tres tiempos de maduración, aumentos en la longitud de los sarcómeros generaron una disminución en la resistencia al corte. También el incremento del contenido de grasa intramuscular en carne madurada por períodos medios y largos implicó la disminución de la resistencia al corte. La significancia de ciclo dentro de la ecuación indicó menor WBSF a los 7 y 14 d de maduración para C-2.

Tabla 11. Ecuaciones para predecir el color y la resistencia al corte a los 3, 7 y 14 d de maduración del músculo *Longissimus thoracis* de novillos y vaquillonas criados y terminados con pasturas

Variable dependiente	Coeficientes de regresión						Estadística de la regresión
	LS	pH_24h	EGD	GIM	Ciclo	CME	R ² aj
L*	10,36**	-3,10*	0,23*	ns	-1,58*	5,68	0,30
a*	5,12**	-6,23**	0,16**	ns	1,66**	2,81	0,41
b*	6,91**	-3,87**	0,16**	ns	ns	2,17	0,38
WBSF 3 d	-6,60**	ns	ns	ns	ns	2,02	0,21
WBSF 7 d	-3,51**	ns	ns	-0,19*	-0,92**	1,15	0,35
WBSF 14 d	-3,60**	ns	ns	-0,57**	-0,57**	0,89	0,36

** P < 0.01, * P < 0.05, ns: P > 0.05

L*: parámetro L*; **a***: parámetro a*; **b***: parámetro b*; **WBSF 3 d**: resistencia al corte a los 3 días de maduración; **WBSF 7 d**: resistencia al corte a los 7 días de maduración; **WBSF 14 d**: resistencia al corte a los 14 días de maduración; **LS**: longitud de los sarcómeros; **pH_24h**: pH a las 24 h *post mortem*; **EGD**: espesor de grasa dorsal; **GIM**: grasa intramuscular; **CME**: cuadrado medio del error.

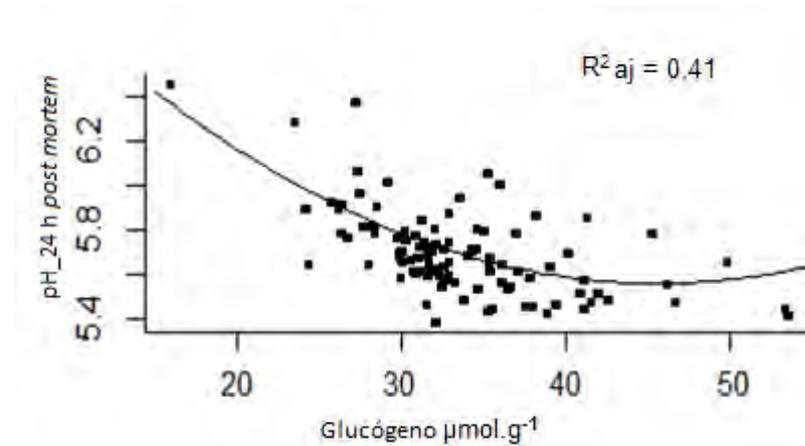


Figura 6. Relación entre la concentración de glucógeno y el pH medido a las 24 horas *post mortem*

Línea de regresión: $\text{pH}_{24\text{h}} \text{ predicho} = 3,74 - (0,021 \times \text{Glucógeno}) + (0,00015 \times \text{Glucógeno}^2)$.

4. Discusión

4.1. Variables que explican el color de la carne

Los resultados obtenidos en el presente trabajo coinciden parcialmente con lo hipotetizado ya que se esperaba que no sólo el EGD explicara parte de las variaciones en el color, sino también la velocidad de escape. Se observó relación entre el color de la carne y el pH final, y entre este último y glucógeno muscular a la faena. Aunque se esperaba que el efecto de la VE sobre el color fuera a través de cambios en el glucógeno muscular a la faena, las variaciones en glucógeno no se explicaron a través de la variación observada en la VE.

Si bien el espesor de grasa dorsal explicó las variaciones en los parámetros colorimétricos L*, a* y b*, lo hizo en menor proporción que lo explicado por el pH_{24h} y la LS. Se hipotetizó que el EDG explicaría parte de las variaciones en el color de la carne dado que podría influir por un lado sobre el descenso de temperatura del músculo. Sin embargo, no se observó dicha asociación, lo que indica que el mecanismo por el cual intervino el espesor de grasa sobre el color fue mediante cambios en el descenso de la temperatura en las primeras horas luego de la faena, o

que la tasa de descenso de temperatura varió en horarios posteriores al que se la registró. Por otro lado, existió una asociación positiva entre la grasa de cobertura, el contenido de grasa intramuscular y el valor L*. Si bien dada la asociación entre el EGD y la grasa intramuscular solo una de las variables ingresó en la ecuación, la presencia de mayor porcentaje de grasa intramuscular aumenta el valor L* (luminosidad) de la carne (Nascimento *et al.*, 2016).

En contraposición a lo hipotetizado, pero en coincidencia a lo observado por Coombes *et al.* (2014), un aumento de la velocidad de escape no estuvo asociada a disminuciones en el contenido de glucógeno muscular a la faena. Si bien Coombes obtuvo resultados similares con rangos de velocidad de escape superiores (1 a 5 m.s⁻¹) a los observados en el presente trabajo; en el presente trabajo, la falta de asociación podría explicarse a la ausencia de animales extremadamente temperamentales. Por otra parte, estos resultados apoyan la falta de asociación entre VE y pH_24h o entre VE y color. Por ello, es necesario evaluar si la VE medida post destete refleja la capacidad adaptativa de los animales ante situaciones de estrés prolongado que suceden desde el embarque de los animales desde el campo hasta el frigorífico y los siguientes acontecimientos hasta la faena.

Coombes *et al.* (2014) encontraron que todos los animales, independientemente de su temperamento y la forma de medirlo, tienen la misma probabilidad de presentar cortes de carne oscura. Por otra parte, McGilchrist *et al.* (2011) informaron que los animales más temperamentales tenían menor glucógeno muscular que los animales más calmos durante el período de terminación. Sin embargo, los animales calmos habían movilizado más glucógeno durante el período previo al sacrificio (McGilchrist *et al.*, 2011), lo que resultó en ausencia de relación entre el temperamento y el glucógeno muscular. La falta de relación entre la VE y la concentración de glucógeno mediada post faena se debería a que si bien los niveles de cortisol (hormona glucolítica) en sangre son mayores en los animales más temperamentales (Chen *et al.*, 2016), esto no ocurriría del mismo modo en la faena. Los animales más temperamentales tendrían una menor respuesta adrenal en el momento previo a la faena respecto los calmos (Coombes *et al.*, 2014).

La relación cuadrática observada entre el glucógeno y el pH_24h coincide con los resultados reportados por Wulf *et al.* (2002). Así mismo, 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. En concordancia con McGilchrist *et al.* (2012), los animales con mayor área de ojo de bife presentaron

concentraciones más altas de glucógeno muscular. Esto se debería a que los animales más musculosos serían capaces de almacenar más o movilizar menos glucógeno pre-faena como consecuencia de un incremento en la respuesta a la insulina (McGilchrist *et al.*, 2011; McGilchrist *et al.*, 2012). Los mismos autores (McGilchrist *et al.*, 2012) también indicaron que los animales con mayor espesor de grasa dorsal y peso de carcasas tendrían mayores reservas de hidratos de carbono muscular debido al mayor consumo de energía. Aunque en el presente estudio la concentración de glucógeno a la faena no se correlacionó con el espesor de grasa dorsal ni con el peso de la res; si se correlacionó positivamente con la tasa de crecimiento de los animales (ADPVr y ADPVt) dada por la hipertrofia muscular. De acuerdo con estos resultados se podría hipotetizar que la variación en la concentración de glucógeno estuvo asociada al tipo de fibras musculares. Las fibras musculares blancas presentan mayor concentración de glucógeno y mayor diámetro (Wegner *et al.*, 2000), lo que se relaciona con una mayor área de ojo de bife.

La relación observada entre el pH_{24h} y el color, concuerda con la bibliografía (Wulf *et al.*, 2002; Pösö y Puolanne, 2005). El color más oscuro que se observa a pH finales altos (mayor a 5,7) está relacionado con miofibrillas “hinchadas” con mayor distancia entre las estructuras que permiten la reflexión de la luz; mientras que lo opuesto ocurre con pH finales bajos (menores a 5,47), y la carne se visualiza con un color más brillante (Hughes *et al.*, 2017). Por otra parte, la relación observada entre el color de la carne y la longitud de los sarcómeros coincide con la bibliografía (Hughes *et al.*, 2017). El menor solapamiento de las proteínas miofibrilares presente cuando los sarcómeros están menos contraídos permitiría una mayor reflexión de la luz (Yao, 2016), lo que se traduce en mayores valores del parámetro L* (carnes más brillantes). Sarcómeros menos contraídos también permitirían una mayor difusión del oxígeno y la subsiguiente oxigenación de la mioglobina. La oxigenación promueve la formación de oximioglobina a una mayor profundidad dentro de la carne lo que se traducirá también en aumentos del parámetro a* (Young y West 2001; Erbjerg y Puolanne, 2017; Hughes *et al.*, 2017).

Como se describió en la sección de resultados, para los parámetros L* y a* el CICLO productivo fue una fuente de variación con impacto en el color de la carne. Esto sugiere que los animales que son criados y terminados juntos reaccionan de manera similar con respecto a la nutrición y la respuesta al estrés (Coombes *et al.*, 2014). La nutrición y el estrés afectan indirectamente al color a través de (a) su efecto sobre el nivel de glucógeno y pH final, (b) su efecto sobre el EGD, el AOB y por lo tanto sobre

la tasa de enfriamiento y de descenso del pH. El CICLO, incluye a la interacción de las variables nombradas y a otras variables no analizadas como ser la estabilidad oxidativa de los lípidos, concentración de mioglobina y el tipo de fibras musculares que podrían haber afectado al color.

4.2. Variables que explican la resistencia al corte de la carne

En situaciones donde la energía de la dieta puede limitar el nivel de engrasamiento de los animales que se destinan a la faena, el espesor de grasa dorsal puede comprometer la velocidad de descenso de la temperatura (Savell *et al.*, 2005). Cuando la temperatura desciende por debajo de los 10 °C y el pH se encuentra por encima de los 6 puntos aumenta el riesgo de acortamiento de los sarcómeros y, con ello, el de aumentar la resistencia al corte de la carne (Thompson, 2002). Por otra parte, el correcto descenso del pH podría verse afectado, si el nivel de glucógeno a la faena es bajo; ya sea porque los animales provienen de dietas a base de fibra (Immonen *et al.*, 2000) o porque los animales son más temperamentales, como se indicó en la sección anterior. Animales más temperamentales, tendrían a la faena menor glucógeno lo que generaría que a igual velocidad de descenso de la temperatura el descenso de pH fuera más lento que en los animales menos temperamentales; esto se traducirá en sarcómeros más cortos como indicó King *et al* (2006). Teniendo sarcómeros más cortos, la carne sería más dura. Sin embargo, ninguna de las dos variables propuestas (espesor de grasa dorsal y temperamento) afectó de manera directa a la terneza.

En este estudio los resultados indican que cuando el EGD es bajo, el área de ojo de bife cobra mayor importancia en el descenso de la temperatura; aunque ninguna de estas dos variables (área de ojo de bife y Temp_3h) se relacionó con la longitud de los sarcómeros. La asociación negativa entre el pH_3 h y la longitud de los sarcómeros podría indicar cierto impacto de la velocidad de descenso del pH sobre los sarcómeros, cuyo acortamiento fue superior a 10% (considerado el acortamiento mínimo durante el rigor cuando la longitud promedio es de 2,2 a 2,5 μm ; Ertbjerg y Puolanne, 2017). La falta de asociación observada entre la Temp_3h y el pH_3h indicarían que el acortamiento de los sarcómeros se produjo diferencias en la tasa de descenso del pH y la temperatura al menos durante las primeras horas (Thompson, 2002). Es posible que lo anterior se debiera a que los animales presentaron relativamente bajas concentraciones de glucógeno *post mortem*, que no sólo habría afectado a la velocidad de descenso del pH sino también el pH_24h (Daly *et al.*, 2006),

cuyo promedio se encontró en el límite de lo que se considera un pH final alto (Hughes *et al.*, 2014).

No se pudo establecer una relación entre el pH final y la fragmentación miofibrilar, como tampoco se pudo identificar a la proteólisis como una variable que explicara la resistencia al corte. De acuerdo a Huff Lonergan *et al.* (2010), entre otros, la degradación proteica es una variable capaz de explicar hasta el 50% de la variación en la resistencia al corte. Dado que CICLO explicó parte de la variación en la resistencia al corte en carne madurada por 7 y 14 d, se supone que el efecto de la fragmentación miofibrilar podría estar representado por a este factor, junto con pequeños efectos de otras variables.

En este estudio donde los animales presentaron bajo EGD y la temperatura de cámaras fue cercana a 0 °C (datos no mostrados) al ingreso de las reses. El acortamiento de los sarcómeros fue una variable importante en la definición de la resistencia al corte. Los sarcómeros acortados dificultan el contacto de las miofibrillas con las enzimas proteolíticas, y por lo tanto se produce una disminución del efecto de la maduración (Hwang *et al.*, 2004, Weaver *et al.*, 2008). En este mismo sentido se puede observar que la disminución de la resistencia al corte fue de 0,61 kgf (13%) entre los 7 y los 14 días de maduración, lo que es menor si se compara con lo obtenido por Cho *et al.*, 2016 en distintos músculos en los cuales la longitud de los sarcómeros supera los 2 μm .

En el caso de la resistencia al corte a los 7 y 14 días de maduración, la grasa intramuscular ingresó como variable explicativa, cuyo aumento disminuyó la resistencia al corte. En base a estos resultados es interesante resaltar que la grasa intramuscular sólo explica un bajo porcentaje de la variación en la resistencia al corte, estando la longitud de los sarcómeros incluida en el modelo. Resultados similares fueron observados por Starkey *et al.* (2016) en carne madurada durante 5 días donde la grasa intramuscular explicó una menor proporción de la variación que la longitud de los sarcómeros y la degradación de la desmina. La reducción de la resistencia al corte por el aumento unitario de grasa intramuscular puede llegar a ser de 0,39 kgf en carne donde el contenido de grasa intramuscular se encuentra entre el 2,64 y 6,24% (Starkey *et al.*, 2016). En el presente estudio, la disminución de la resistencia al corte fue de 0,20 a 0,22 kgf por el incremento unitario del porcentaje de GIM, donde el valor mínimo fue de 0,18% y el máximo de 7,19%. Otros estudios (Seideman *et al.*, 1987; Jones y Tatum, 1994) encontraron que el porcentaje de grasa intramuscular explicó hasta el 9% de la resistencia al corte de carne madurada durante 7 y 10 días, cuando

la GIM abarcó un rango del 2 al 9%. El incremento de la GIM disminuye la resistencia al corte al disminuir la densidad muscular (Karlsson *et al.*, 1999) y facilitar la disrupción de las fibras de colágeno del perimio donde se encuentran insertos los adipocitos (Hocquette *et al.*, 2010). Este último proceso sólo ocurre en carne cuya grasa intramuscular supera el 18%.

El incremento de la importancia de la GIM en la carne madurada por períodos de 7 o más días podría deberse a que ya se produjo cierta degradación de las estructuras que componen los sarcómeros. En este sentido, Van Ba *et al.* (2016) encontraron que el nivel de marmoreo solo afectó la resistencia al corte de la carne madurada durante 7 días, pero no a la carne con un 1 día de maduración. Además, los mismos autores observaron que la carne con mayor nivel de GIM tiene una tasa de maduración mayor que la carne más magra debido a la existencia de diferentes concentraciones de enzimas proteolíticas. Tanto el contenido de grasa intramuscular como la concentración de enzimas proteolíticas son dependientes del tipo de fibra, como fue explicado en secciones anteriores. Sin embargo, en este estudio no se encontró correlación entre la grasa intramuscular y el índice de fragmentación miofibrilar.

Finalmente, el otro factor que contribuye a la definición de la terneza de la carne además del largo de sarcómero y de la proteólisis miofibrilar, es el contenido y la composición del colágeno que determina lo que se conoce como terneza basal de la carne (Warris, 2000). Sin embargo, al igual que lo observado por otros autores (Lucero Borja *et al.*, 2014 y Starkey *et al.*, 2016), la variación observada en el presente trabajo en cuanto al contenido y composición del colágeno total e insoluble no explicó la variación de la resistencia al corte de la carne. Cuando se evalúa la concentración de colágeno debe tenerse en cuenta el músculo estudiado (Listrat *et al.*, 1999; Rhee *et al.*, 2004) y la raza de los animales (Christensen *et al.*, 2011), ambas características influyen sobre la concentración del colágeno. Según Lepetit (2007), en general, ninguna de las características individuales del colágeno (tamaño de las fibras, número de enlaces por fibra, termo-estabilidad de los enlaces) está estrechamente ligada por sí sola a la terneza de la carne, lo que dificulta establecer relaciones entre alguna de estas características con la resistencia al corte. En el presente trabajo, el músculo evaluado se caracteriza por contener poco contenido de colágeno en comparación con otros músculos como el semitendinoso. Esto podría explicar parcialmente la ausencia de relación entre el contenido de colágeno total e insoluble y la resistencia al corte.

4.3. Asociaciones entre variables productivas y/o de calidad de la carne

El aumento diario de peso en la recría y la terminación favorecieron el crecimiento del músculo, lo que se vio reflejado en el área de ojo de bife (Lambe *et al.*, 2010; Bures y Barton, 2012; Lage *et al.*, 2012). Esto indica la importancia de la nutrición durante todo el periodo productivo. Sin embargo, el espesor de grasa dorsal solo se vio favorecido por el aumento de peso en la terminación, momento en el que los adipocitos terminan de completar su llenado (Hocquette *et al.*, 2010).

Contrariamente a lo indicado por McGilchrist *et al.* (2012), no se observó ningún tipo de asociación entre EGD y AOB. Esto indicaría la existencia de animales de distinto tamaño adulto donde los que desarrollaron mayor masa muscular no llegaron a engrasarse correctamente cuando el grupo de animales llegó al peso de faena. Dado que las hembras depositan grasa con mayor facilidad que los machos se analizó la correlación entre EGD y AOB en ambos sexos por separado. En ninguno de los casos se observó asociación (hembras: $r = 0,20$, $p = 0,10$; machos $r = 0,07$, $p = 0,64$). Lo anterior demuestra la gran variabilidad en tamaño adulto dentro de una misma raza y rodeo, y plantea la necesidad de agrupar a los animales de acuerdo a su ganancia de peso, asociada directamente con el AOB.

Se destaca la asociación negativa que existe entre el color y la resistencia al corte, lo que posiciona al color como un buen predictor de la terneza. Seideman *et al.* (1987) y Wulf *et al.* (1997) ya habían indicado esta relación se establece de manera temprana debido a que algunas de las variables que afectan al color también lo hacen con la terneza.

5. Consideraciones finales

El planteo de la hipótesis 3 en esta tesis tuvo como principal objetivo identificar las variables influyentes sobre el color de la carne en animales cuya probabilidad de obtener cortes oscuros podría ser mayor por el tipo de alimentación durante la terminación (pastoril) y por presentar una mayor susceptibilidad al estrés (animales temperamentales). Como se observó en los resultados, los valores de los tres parámetros colorimétricos estuvieron dentro del rango de valores reportados por la bibliografía, aunque el valor L^* es relativamente bajo si se lo compara con valores provenientes de carne de animales terminados con concentrados energéticos. Bajo las condiciones del presente ensayo, se destaca la importancia del espesor de grasa dorsal y la longitud de los sarcómeros como principales variables que afectan al color de la carne y sobre las cuales se debe trabajar para obtener carnes aceptables visualmente por los consumidores. El temperamento de los animales, evaluado a través de la velocidad de escape durante los primeros 100 días post destete, no tendría implicancias prácticas sobre el color de la carne y tampoco sobre las variables que influyen sobre él.

Mediante la prueba de la hipótesis 4 se buscó identificar a las variables que afectaron a la resistencia al corte. La longitud de los sarcómeros resultó ser la variable más importante en la definición de la resistencia al corte. Esta relación refuerza la importancia de regular y monitorear el descenso conjunto del pH y la temperatura. La grasa intramuscular fue la segunda variable con influencia sobre la resistencia al corte de la carne con maduración mayor o igual a 7 días. Dado que la grasa intramuscular y subcutánea es la última en depositarse, se debe tener en cuenta el estado de terminación de los animales en pastoreo, donde el engrasamiento es más lento por el tipo de alimentación que reciben.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Implicancias

El consumo puede explicarse parcialmente mediante el aumento del peso vivo, la ganancia diaria de peso y el color de la carne, con un nivel de ajuste de regresión medio a bajo, lo que indica que el consumo de materia seca implica a otras variables. Estas otras variables no pudieron ser identificadas en el presente estudio. Como el consumo fue independiente del sexo de los animales, esto indica que tanto novillos como vaquillonas pueden tener el mismo nivel de eficiencia en el uso de los alimentos siempre que se contemple el peso vivo y la ganancia de peso.

El color de la carne está relacionado con el consumo de materia seca. A su vez, el color se explica mediante la longitud de los sarcómeros y el espesor de grasa dorsal. Por otra parte, la resistencia al corte está determinada por la longitud de los sarcómeros y la grasa intramuscular principalmente. Los resultados resaltan la fuerte influencia de la longitud de los sarcómeros sobre dos de las variables sensoriales más importantes de calidad en la carne.

2. Limitaciones

Los resultados obtenidos en este ensayo son válidos para novillos y vaquillonas Angus, recriadas y terminadas en un sistema pastoril, donde las ganancias de peso no superen los 600 g. Las pocas variables incluidas dentro de la ecuación que explica el consumo de materia seca reflejan la dificultad que se presenta en este tipo de estudios donde la variación propia del animal y entre animales, afectan a una variable cuantitativa como el consumo.

Parte de la dificultad para identificar a las variables implicadas también se ve reflejada en los diferentes resultados obtenidos por los distintos trabajos. Aunque algunos de ellos encuentran diferencias a favor de alguno de los grupos de animales clasificados por su consumo residual, la causa de dicha variación suele ser diferente.

3. Investigaciones futuras

Las futuras investigaciones que aborden el consumo residual en pastoreo deberían contemplar más de una medición de consumo de materia seca sin eliminar la interacción pastura-animal, propia de este tipo de sistemas y sin afectar el horario de pastoreo que podría alterar la ganancia de peso. El pastoreo podría generar un gasto energético no contemplado hasta el momento en los estudios disponibles. Lo planteado resulta un desafío ya que en la actualidad la estimación de consumo se realiza mediante el uso de marcadores. Entonces, aumentar el número de mediciones de consumo implicaría descartar el suministro diario del marcador por un sistema de liberación continua, además de incrementar el número de días de muestreo de materia fecal y alimentos.

Se considera importante que los futuros estudios intenten explicar la variación en consumo mediante variables asociadas a la calidad del producto. Esta propuesta surge debido a que en los trabajos disponibles sólo se considera el efecto del consumo residual (alto o bajo) sobre variables productivas y de calidad, sin poder ahondar sobre las posibles causas de las diferencias encontradas. Las investigaciones que profundicen el estudio en las variables que modifican el color y la resistencia al corte resultarán de gran utilidad para asegurar la calidad del producto cuando se seleccionen animales de bajo consumo residual.

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.
- AASS, L.; FRISTEDT, C. G.; GRESHAM, J. D. 2009. Ultrasound prediction of intramuscular fat content in lean cattle. *Livestock Sci.* 125: 177- 186.
- 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.
- ACETOZE, G.; WEBER, K. L.; RAMSEY, J. J.; ROSSOW, H. A. 2015. Relationship between liver mitochondrial respiration and proton leak in low and high RFI steers from two lineages of RFI angus bulls. *International Scholarly Research Notices*. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/194014>
- AHOLA, J. K.; SKOW, T. A; HUNT, C. W.; HILL, R.A. 2011. Relationship between residual feed intake and end product palatability in *Longissimus* steaks from steers sired by Angus bulls divergent for intramuscular fat expected progeny difference. *Profes. Anim. Sci.* 27:109-115.
- ALLISON, C.D. 1985. Factors affecting forage intake by range ruminants: a review. *J. Range Manag.* 38: 305-311.
- ALMEIDA, V. V. S. D.; QUEIROZ, A. C. D.; SILVA, R. R.; SILVA, F. F. D.; OLIVEIRA, A. C.; SANTANA JÚNIOR, H. A. D. 2009. Body composition and net and dietary macrominerals requirements of Nellore steers under grazing. *Rev. Bras. Zootec.* 38: 1081-1087.
- AMSA. 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.P. 105p.
- ANDERSEN, H. J.; OKSBJERG, N.; YOUNG, J. F.; THERKILDSEN, M. 2005. Feeding and meat quality—a future approach. *Meat Sci.* 70: 543-554.

- ANDERSON, R. V.; RASBY, R. J.; KLOPFENSTEIN; T. J.; CLARK, R. T. 2005. An evaluation of production and economic efficiency of two beef systems from calving to slaughter. *J. Anim. Sci.* 83: 694-704.
- ARCHER, J.A.; RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M.; ARTHUR, P.F. 1999. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. *Aust. J. Agricult. Res.* 50: 147–161.
- ARCHILE-CONTRERAS, A. C.; CHA, M. C.; MANDELL, I. B.; MILLER, S. P.; PURSLOW, P. P. 2010. Vitamins E and C may increase collagen turnover by intramuscular fibroblasts. Potential for improved meat quality. *J. Agricult. Food Chemist.* 59(2): 608-614.
- ARTHUR, P. F.; HERD, R. M. 2012. Genetic improvement of feed efficiency. In: Hill, R. Feed efficiency in the beef industry. Cambridge, MA. pp. 93–103.
- ARTHUR, P.F.; ARCHER, J.A.; JOHNSTON, D.J.; HERD, R.M.; RICHARDSON, E.C.; PARNELL, P.F. 2001. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency and other post-weaning traits in Angus cattle. *J. Anim. Sci.* 79, 2805–2811.
- ARTHUR, P.F.; HERD, R.M. 2006. Selection for growth and feed efficiency: the australian experience. *J. Integrated Field Sci.* 3: 59–66.
- ARTHUR, P.F.; HERD, R.M. 2008. Residual feed intake in beef cattle. *Rev. Bras. Zootec.* 37: 269–279.
- ARTHUR, P.F.; RENAND, G.; KRAUSS, D. 2001. Genetic and phenotypic relationships among different measures of growth and feed efficiency in young Charolais bulls. *Livestock Sci.* 68: 131-139.
- BAKER, S. D.; SZASZ, J. I.; KLEIN, T. A.; KUBER, P. S.; HUNT, C. W.; GLAZE J. B.; FALK, D.; RICHARD, R.; MILLER, J. C.; BATTAGLIA, R. A.; HILL, R. A. 2006. Residual feed intake of purebred Angus steers: Effects on meat quality and palatability. *J. Anim. Sci.* 84:938–945.
- BALDASSINI, W. A.; CHARDULO, L. A. L.; SILVA, J. A. V.; MALHEIROS, J. M.; DIAS, V. A. D.; ESPIGOLAN, R.; BALDI, F. S.; ALBUQUERQUE, L. G.; FERNANDES T. T.; PADILHA, P. M. 2017. Meat quality traits of Nellore bulls according to

- different degrees of backfat thickness: a multivariate approach. *Anim. Prod. Sci.*, 57: 363-370.
- BARWICK, S. A.; WOLCOTT, M. L.; JOHNSTON, D. J.; BURROW, H. M.; SULLIVAN, M. T. 2009. Genetics of steer daily and residual feed intake in two tropical beef genotypes, and relationships among intake, body composition, growth and other post-weaning measures. *Anim. Prod. Sci.* 49: 351-366.
- BASARAB, J. A.; PRICE, M. A.; AALHUS, J. L.; OKINE, E. K.; SNELLING, W. M.; LYLE, K. L. 2003. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 83: 189-204.
- BASARAB, J.A.; COLAZO, M.G.; AMBROSE, D.J.; NOVAK, S.; MCCARTNEY, D.; BARON, V.S. 2011. Residual feed intake adjusted for backfat thickness and feeding frequency is independent of fertility in beef heifers. *Can. J. Anim. Sci.* 91: 573-584.
- BASARAB, J.A.; MCCARTNEY, D.; OKINE, E.K.; BARON, V.S. 2007. Relationships between progeny residual feed intake and dam productivity traits. *Can. Anim. Sci.* 87: 489- 502.
- BASARAB, J.A.; PRICE, M.A.; AALHUS, J.L.; OKINE, E.K.; SNELLING, W.M.; LYLE, K.L. 2003. Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Can. Anim. Sci.* 83: 189-204.
- BEHRENDTS, S. M.; MILLER, R. K.; ROUQUETTE, F. M.; RNADEL, R. D.; WARRINGTON, B. G.; FORBES, T. D. A.; WELSH, T. H.; LIPPKE, H.; BEHRENDTS, J. M.; CARSTENS, G. E.; HOLLOWAY, J.W. 2009. Relationship of temperament, growth, carcass characteristics and tenderness in beef steers. *Meat Sci.* 81: 433-438.
- BENDALL, J.R. 1967. The elastin content of various muscles of beef animals. *J. Sci. Food Agric.* 18: 553–558.
- BERGMAN, M.; LOXLEY, R. 1963. Two improved and simplified methods for the spectrophotometric determination of hydroxy- proline. *Analytic. Chemist.* 35: 1961-1965.
- BERIAIN, M.J.; LIZASO, G.1997.Calidad de la carne de vacuno. En: Buxadé C. (ed.) *Vacuno de carne: aspectos claves.* Mundi-Prensa: Madrid pp. 493-510.

- BERNAL, V. M.; STANLEY, D.W. 1987. Stability of bovine muscle connective tissues. J. Food Sci. 52:876.
- BERRY, D. P.; CROWLEY, J. J. 2012. Residual intake and body weight gain: a new measure of efficiency in growing cattle. J. Anim. Sci. 90(1): 109-115.
- BLACK, T. E.; BISCHOFF, K. M.; MERCADANTE, V. R. G.; MARQUEZINI, G. H. L.; DILORENZO, N.; CHASE, C. C.; LAMB, G. C. 2013. Relationships among performance, residual feed intake, and temperament assessed in growing beef heifers and subsequently as 3-year-old, lactating beef cows. J. Anim. Sci., 91: 2254-2263.
- BLANK, C. P.; RUSSELL, J. R.; LONERGAN, S. M.; HANSEN, S. L. 2016. 100 Post-mortem proteolysis and meat tenderness in crossbred steers identified as lowly or highly feed efficient. J. Anim. Sci. 94: 46-47.
- BOARI, R.; CHUARD, N.; DERNANDEZ, V.; POULLIER, P. 2014. Mercado de ganados y carnes. Proyecciones 2023. OCDE-FAO 31 p. [en línea] www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/bovinos/informacion_interes/informes_historicos/archivos//000003=Mercado%20internacional%20de%20carnes/000001-Proyección%20OCDE%20FAO%20carnes%202014-2023.pdf [consulta: 1 de noviembre de 2017].
- 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.
- BONILHA, S. F. M.; CYRILLO, J. N. D. S. G.; DOS SANTOS, G. P.; BRANCO, R. H.; RIBEIRO, E. G.; MERCADANTE, M. E. Z. 2015. Feed efficiency, blood parameters, and ingestive behavior of young Nelore males and females. Trop. Anim. Health Prod. 47: 1381-1389.
- BOURGUET, C.; DEISS, V.; GOBERT, M.; DURAND, D.; BOISSY, A.; TERLOUW, E. C. 2010. Characterising the emotional reactivity of cows to understand and predict their stress reactions to the slaughter procedure. Applied Anim. Behav. Sci., 125:9-21.

- BROCKMAN, R.P. 1993. Glucose and short chain fatty acid metabolism. In: Forbes. J.M.; France, J. (eds.). Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. CAB International UK, pp. 249-265.
- BRUNO, K. A.; VANZANT, E. S.; VANZANT, K. A.; MC LEOD, K. R. 2016. Relationships of a novel objective chute score and exit velocity with growth performance of receiving cattle. *J. Anim. Sci.* 94: 4819-4831.
- BURDICK, N. C.; AGADO, B.; WHITE, J. C.; MATHENEY, K. J.; NEUENDORFF, D. A.; RILEY, D.G.; VANN, R. C.; WELSH, T. H.; RANDEL, R. D. 2011. Technical note: evolution of exit velocity in suckling Brahman calves. *J. Anim. Sci.* 89: 233-236
- BURES, D.; BARTON, L. 2012. Growth performance, carcass traits and meat quality of bulls and heifers slaughtered at different ages. *Czech J. Anim. Sci.* 57: 34-43.
- BÜRGER, P.J.; PEREIRA, J.C.; QUEIROZ, A.C.; SILVA, J.F.C.; VALADARES FILHO, S.C.; CECON, P.R.; CASALI, A.D.P. 2000. Comportamento ingestivo em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. *Rev. Bras. Zoot.* 29: 236-242.
- BURNS, J. .C; POND, K.R.; FISHER, D.S. 1994. Measurement of forage intake. In: Fahey Jr., G.C. (ed.) Forage quality, evaluation, and utilization. University of Nebraska: Lincoln pp.494-531.
- BURROW, H. M.; SEIFERT, G. W.; CORBET, N. J. 1988. A new technique for measuring temperament in cattle. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* Vol 17: 155.
- CAFE, L. M.; ROBINSON, D. L.; FERGUSON, D. M.; MCINTYRE, B. L.; GEESINK, G. H.; GREENWOOD, P. L. 2011. Cattle temperament: persistence of assessments and associations with productivity, efficiency, carcass and meat quality traits. *J. Anim. Sci.*, 89: 1452-1465.
- CAROLINE DE LIMA, F.; ANDRÉ MENDES, J.; CASTILHOS, A. M.; RESENDE, F. D.; BENATTI, J. M. B.; SILVA, M. B.; COOKE, R. F. 2014. Association among residual feed intake, residual body weight gain, residual intake and body weight gain and temperament of Nellore cattle. *J. Anim. Sci.* 92 (supl.2):411-412

- CHAMBAZ, A.; SCHEEDER, M. R. L.; KREUZER, M.; DUFEY, P. A. 2003. Meat quality of Angus, Simmental, Charolais and Limousin steers compared at the same intramuscular fat content. *Meat Sci.* 63: 491-500.
- CHANNON, A. F.; ROWE, J. B.; HERD, R. M. 2004. Genetic variation in starch digestion in feedlot cattle and its association with residual feed intake. *Aust. J. Exp. Agricult.* 44: 469-474.
- CHEN, Y.; STOOKEY, J.; ARSENAULT, R.; SCRUTEN, E.; GRIEBEL, P.; NAPPER, S. 2016. Investigation of the physiological, behavioral, and biochemical responses of cattle to restraint stress. *J. Anim. Sci.* 94(8): 3240-3254.
- 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.
- CHO, S.; KANG, S. M.; SEONG, P.; KANG, G.; KIM, Y.; KIM, J.; LEE, S.; KIM, S. 2016. Effect of aging time on physicochemical meat quality and sensory property of Hanwoo bull beef. *Korean J. Food Sci. Anim. Res.* 36(1): 68–76.
- 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. 2010. 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.
- COLPOYS, J. D.; GABLER, N. K.; MILLMAN, S. T.; JOHNSON, A. K. 2016. Divergent selection for residual feed intake alters pig behavioral reactivity to novel stimuli tests. *J. Anim. Sci.* 94(1): 10-10.
- CONFORTH, D. 1994. quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. *Adv. Meat Res.* 9: 34-78.
- COOMBES, S. V.; GARDNER, G. E.; PETHICK, D. W.; MCGILCHRIST, P. 2014. The impact of beef cattle temperament assessed using flight speed on muscle glycogen, muscle lactate and plasma lactate concentrations at slaughter. *Meat Sci.* 98(4): 815-821.
- 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.; CARPENTER, Z. L.; SMITH, G. C. 1973. Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. *J. Food Sci.* 38: 998-1003.
- 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.
- CROWLEY, J.J.; EVANS, R.D.; MCHUGH, N.; KENNY, D.A.; MCGEE, M.; CREWS Jr., D.H.; BERRY, D.P. 2011. Genetic relationships between feed efficiency in growing males and beef cow performance. *J. Anim. Sci.* 89: 3372-3381.
- CRUZ, G. D.; RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, J.A.; OLTJEN, J. W.; SAINZ, R. D. 2010. Performance, residual feed intake, digestibility, carcass traits, and profitability of Angus-Hereford steers housed in individual or group pens. *J. Anim. Sci.* 88:324-329.
- CURLEY, K. O.; PASCHAL, J. C.; WELSH, T. H.; RANDEL, R. D. 2006. Technical note: exit velocity as a measure of cattle temperament is repeatable and associated with serum concentration of cortisol in Brahman bulls. *J. Anim. Sci.*, 84: 3100-3103.
- 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.
- DESCALZO, A. M.; SANCHO, A. M. 2008. A review of natural antioxidants and their effects on oxidative status, odour and quality of fresh beef produced in Argentina. *Meat Sci.* 79: 423-436.
- DESTEFANIS, G.; BARGE, M. T.; BRUGIAPAGLIA, A.; TASSONE, S. 2000. The use of principal component analysis PCA to characterize beef. *Meat Sci.* 56: 255-259.
- DI MARCO, O.E.; AELLO, M.S. 1998. Energy cost of cattle walking on the level and on a gradient. *J. Range Manag.* 51: 9-13.

- DI MARCO, O.N. 1998. Crecimiento de vacunos para carne. El autor: Balcarce, Argentina. 246p.
- 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.
- DU TOIT, E.; OGUTTU, J. W. 2013. Calpain and calpastatin activity *post mortem* and meat tenderness: are the two related? *J. Anim. Vet. Adv.* 12(6): 683-688.
- DURUNNA, O. N.; COLAZO, M. G.; AMBROSE, D. J.; MCCARTNEY, D.; BARON, V. S.; BASARAB, J. A. 2012. Evidence of residual feed intake reranking in crossbred replacement heifers. *J. Anim. Sci.* 90: 734-741.
- DURUNNA, O.N.; COLAZO, M.G.; AMBROSE, D.J.; MCCARTNEY, D.; BARON, V.S.; BASARAB, J.A. 2011. Evidence of residual feed intake reranking in crossbred replacement heifers. *J Anim Sci* 90: 734-741.
- DYKIER, K. C.; SAINZ, R. D. 2016. Performance and net energy in High and Low RFI beef cattle on restricted intake. *J. Anim. Sci.* 94: 118-119.
- EGGERT, D. L.; NIELSEN, M. K. 2006. Comparison of feed energy costs of maintenance, lean deposition, and fat deposition in three lines of mice selected for heat loss. *J. Anim. Sci.* 84: 276–282.
- ELZO, M. A.; RILEY, D. G.; HANSEN, G. R.; JOHNSON, D. D.; MEYER, R. O.; COLEMAN, S. W.; CHASE, C. C.; WASDIN, J. G.; DRYER, J. D. 2009. Effect of breed composition on phenotypic residual feed intake and growth in Angus, Brahman, and Angus × Brahman crossbred cattle. *J. Anim. Sci.* 87:3877-3886.
- ERTBJERG, P.; PUOLANNE, E. 2017. Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. *Meat Sci.* 132 :139-152
- FAURE, J. ; LEFAUCHEUR, L. ; BONHOMME, N. ; ECOLAN, P. ; METEAU, K.; METAYER COUSTARD. S.; KOUBA, M.; GILBERT, H.; LEBRET, B. 2013. Consequences of divergent selection for residual feed intake in pigs on muscle energy metabolism and meat quality. *Meat Sci.* 93: 37-45.
- 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.

- FERREIRA, G. B.; ANDRADE, C. L.; COSTA, F.; FREITAS, M. Q.; SILVA, T. J. P.; SANTOS, F. 2006. Effects transport time and rest period on the quality of electrically stimulated male cattle carcasses. *Meat Sci.* 74: 459-466.
- FIDELIS, H. A.; BONILHA, S. F. M.; TEDESCHI, L. O.; BRANCO, R. H.; CYRILLO, J. N. S. G.; MERCADANTE, M. E. Z. 2017. Residual feed intake, carcass traits and meat quality in Nelore cattle. *Meat Sci.* 128: 34-39.
- FITZSIMONS, C.; KENNY, D. A.; MCGEE, M. 2014. Visceral organ weights, digestion and carcass characteristics of beef bulls differing in residual feed intake offered a high concentrate diet. *Animal* 8(6):949-59
- FOOTE, A. P.; HALES, K. E.; TAIT, R. G.; BERRY, E. D.; LENTS, C. A.; WELLS, J. E.; LINDHOLM-PERRY, A. K.; FREETLY, H. C. 2016. Relationship of glucocorticoids and hematological measures with feed intake, growth, and efficiency of finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 94(1): 275-283.
- FORBES, J. M. 2003. The multifactorial nature of food intake control. *J Anim Sci.* 81: 139-144.
- FOX, J. T. 2004. Characterization of residual feed intake and relationship with performance, carcass, and temperament traits in growing calves. Master's thesis, Texas A&M University. 101p.
- FRAZER, D. J.; RITCHIE, J. S. D.; FRAZER, A. F. 1975. The term 'stress' in a veterinary context. *British Vet. J.* 131: 653-658.
- 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 from steers fed grass and/or concentrates. *Meat Sci.* 57(4): 379-386.
- FROTAS, S.; APARECIDA, D.; RAPOSO, S.; RODRIGUES, P. V.; FILHO, V.; CAMPOS, S.; TORRES ALMEIDA, R. 2015. Feed efficiency and meat quality of crossbred beef heifers classified according to residual feed intake. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.* 16: 632-642.
- 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.

- GEESINK, G.H.; KUCHAY, S.; CHISHTI, A.H.; KOOHMARAIE, M. 2006. μ -Calpain is essential for postmortem proteolysis of muscle proteins. *J. Anim. Sci.* 84: 2834-2840.
- GOLL, D. E.; TAYLOR, R. G.; CHRISTIANSEN, J. A.; THOMPSON, V. F. 1992. Role of proteinases and protein turnover in muscle growth and meat quality. In Proc. 44th. Annual Reciprocal Meat Conference, Manhattan, KS. Natl. Livest. Meat Board, Chicago, IL pp. 25-36.
- GOMES, R. C.; SAINZ, R. D.; LEME, P. R. 2013. Protein metabolism, feed energy partitioning, behavior patterns and plasma cortisol in Nellore steers with high and low residual feed intake. *Rev. Bras. Zootec.* 42: 44-50.
- GOMES, R. C.; SAINZ, R. D.; SILVA, S. L.; CÉSAR, M. C.; BONIN, M. N.; LEME, P. R. 2012. Feedlot performance, feed efficiency reranking, carcass traits, body composition, energy requirements, meat quality and calpain system activity in Nellore steers with low and high residual feed intake. *Livestock Sci.* 150: 265-273.
- GOMES, R. D. C.; SAINZ, R. D.; LEME, P. R. 2013. Protein metabolism, feed energy partitioning, behavior patterns and plasma cortisol in Nellore steers with high and low residual feed intake. *Rev. Bras. Zootec.* 42: 44-50.
- GREENWOOD, P. L.; CAFE, L. M. 2007. Prenatal and pre-weaning growth and nutrition of cattle: long-term consequences for beef production. [en línea] <<http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=1358284&fileId=S175173110700050X>> [consulta: 5 diciembre 2015].
- GREGORINI, P. 2011. Estado interno: estímulos que motivan el consumo y ciertas conductas ingestivas de rumiantes en pastoreo. En: Cangiano, A.; Brizuela, M. Producción animal en pastoreo. INTA: Buenos Aires, Argentina pp. 291-320.
- GREGORINI, P.; GUNTER, S. A.; MASINO, C. A.; BECK, P. A. 2007a. Effects of ruminal fill on short -term herb
heifers. *Grass Forage Sci.*, 62(3): 346-354.
- GREGORINI, P.; EIRIN, M.; AGNELLI, L.; REFI, R.; URSINO, M.; ANSIN, O. E.; MASINO, M. H.; WADE, K.; SODER, K.; GUNTER, S. A. 2007b. Diurnal eating pattern and performance of cattle strip grazed with afternoon herbage allocation

or continuously variable stockeden linea]
https://www.academia.edu/1584177/Diurnal_Eating_Pattern_and_Performance_of_Cattle_Strip_Grazed_with_Afternoon_Herbage_Allocation_or_Continuously_Variable_Stocked [consulta: septiembre 2018].

- GUAN, L. L.; NKURUMAH, J. D.; BASARAB, J. A.; MOORE. S. S. 2008. Linkage of microbial ecology to phenotype: Correlation of rumen microbial ecology to cattle's feed efficiency. *FEMS Microbiol. Lett.* 288:85-91.
- HERD, R. M.; ARTHUR, P. F.; BOTTEMA, C. D. K.; EGARR, A. R.; GEESINK, G. H.; LINES, D. S.; PIPER, S.; SIDDELL, J. P.; THOMPSON, J. M.; PITCHFORD, W. S. 2014. Genetic divergence in residual feed intake affects growth, feed efficiency, carcass and meat quality characteristics of Angus steers in a large commercial feedlot. *Anim. Prod. Sci.* 58(1) 164-174
- HERD, R.M.; ARTHUR, P.F. 2009. Physiological basis for residual feed intake. *J. Anim. Sci.* 87 : 64-71.
- HOCQUETTE, J. F. ; GONDRET, F. ; BAÉZA, E. ; MÉDALE, F. ; JURIE, C. ; PETHICK D. W. 2010. Intramuscular fat content in meat-producing animals: Development, genetic and nutritional control, and identification of putative markers. *Anim.* 4:303-319.
- HOCQUETTE, J. F.; ORTIGES-MARTY, I.; PETHICK, D.; HERPIN, P.; FERNANDEZ, X. 1998. Nutritional and hormonal regulation of energy metabolism in skeletal muscles of meat producing animals. *Livestock Prod. Sci.* 56, 115-143.
- HODGSON, J. 1990. *Grazing management: Science into practice.* Longman Scientific and Technical. Harlow, UK: pp. 203
- HONIKEL, K. O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* 49: 447-457.
- HOPKINS, D. L.; MARTIN, L.; GILMOUR, A. R. 2004. The impact of homogenizer type and speed on the determination of myofibrillar fragmentation. *Meat Sci.* 67(4): 705-710.
- HOPPE, S.; BRANDT, H. R.; KÖNIG, S.; ERHARDT, G.; GAULY M. 2010. Temperament traits of beef calves measured under field conditions and their relationships to performance. *J. Anim. Sci.* 88 (6):1982-1989.

- HUFF LONERGAN, E.; ZHANG, W.; LONERGAN, S.M. 2010. Biochemistry of postmortem muscle - lessons on mechanisms of meat tenderization. *Meat Sci.* 86: 184-95.
- HUGHES, J.; CLARKE, F.; PURSLOW, P.; WARNER, R. 2017. High pH in beef longissimus thoracis reduces muscle fibre transverse shrinkage and light scattering which contributes to the dark colour. *Food Res. Int.* 101: 228-238.
- HUHTANEN, P.; KAUSTELL, K.; JAAKKOLA, S. 1994. The use of internal markers to predict total digestibility and duodenal flow of nutrients in cattle given six different diets. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 48:211-227.
- 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(3): 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 2018. Informe de mercados internacionales de carne bovina. [en línea] Instituto de Promoción de la Carne Vacuna Argentina. http://www.ipcva.com.ar/documentos/1124_informedemercadosmundiales2012.pdf [consulta: 24 enero 2018].
- IRSHAD, A.; KANDEEPAN, G.; KUMAR, S.; ASHISH, K. A.; VISHNURAJ, M. R.; SHUKLA, V. 2013. Factors influencing carcass composition of livestock: A review. *J. Anim. Prod. Adv.* 3: 177-186.
- 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.
- JONES, B. K.; TATUM J. D. 1994. Predictors of beef tenderness among carcasses produced under commercial conditions. *J. Anim. Sci.* 72:1492-1501.

- 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.
- KARLSSON, A. H.; KLONT, R. E.; FERNANDEZ, X. 1999. Skeletal muscle fibres as factors for pork quality. *Livestock Prod. Sci.* 60: 255-269.
- KELLY, A. K.; MCGEE, M.; CREWS, D. H.; SWEENEY, T.; BOLAND, T. M.; KENNY, D. 2010. Repeatability of feed efficiency, carcass ultrasound, feeding behavior, and blood metabolic variables in finishing heifers divergently selected for residual feed intake. *J. Anim. Sci.* 88: 3214-3225.
- KENNEDY, B. W.; VAN DER WERF, J. H.; MEUWISSEN, D T. H.1993. Genetic and statistical properties of residual feed intake. *J. Anim. Sci.* 71:3239-3250.
- 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: 375-395.
- KING, D. A.; PFEIFFER, C. S.; RANDEL, R. D.; WELSH, T. H.; OLIPHINT, R. A.; BAIRD, B. E.; CURLEY, K.O.; VANN, R.C.; HALE, D.S.; SAVELL, J. W. 2006. Influence of animal temperament and stress responsiveness on the carcass quality and beef tenderness of feedlot cattle. *Meat Sci.* 74: 546-556.
- KOCH, R. M.; SWIGER, L. A.; CHAMBERS, D.; GREGORY, K. E. 1963. Efficiency of feed use in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 22:486-494.
- KOLATH, W.; KERLEY, M. 2006. The relationship between mitochondrial respiration and residual feed intake in Angus steers. *J. Anim. Sci.* 84: 131-131.
- 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.
- KOOHMARAIE, M.; KENT, M. P.; SHACKELFORD, S. D.; VEISETH, E.; WHEELER, T. L. 2002. Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? *Meat Sci.* 62: 345-352.
- KOVANEN, V.; SUOMINEN, H.; HEIKKINEN, E. 1984. Collagen of slow twitch and fast twitch muscle fibers in different types of rat skeletal muscle. *European J. App. Physiol.* 52, 235-242.

- KUCHEL, O. 1991. Stress and catecholamines. In: Jasmín, G.; Cantin, M. (eds.) Stress revisited 1. Neuroendocrinology of stress. Karger: Switzerland pp. 80–103.
- LAGE, I. N. K.; PAULINO, P. V. R.; PIRES, C. V.; VILLELA, S. D. J.; DUARTE, M. S.; FILHO, S., PAULINO, M. F.; MAIA, B. A.; SILVA, L. H. P.; TEIXEIRA, C. R. V. 2012. Intake, digestibility, performance, and carcass traits of beef cattle of different gender. *Tropical Anim. Health Prod.* 44: 361-367.
- LAMBE, N. R.; ROSS, D. W.; NAVAJAS, E. A.; HYSLOP, J. J.; PRIETO, N.; CRAIGIE, C.; BÜNGER, L., SIMM, G.; ROEHE, R. 2010. The prediction of carcass composition and tissue distribution loin beef cattle using ultrasound scanning at the start and/or end of the finishing period. *Livestock Sci.* 131: 193-202.
- LANCASTER, P. A.; CARSTENS, G. E.; CREWS D. H.; WELSH, T. H.; FORBES, T. D. A.; FORREST, D. W.; TEDESCHI, L. O.; RANDEL, R. D.; ROUQUETTE, F. M. 2009. Phenotypic and genetic relationships of residual feed intake with performance and ultrasound carcass traits in Brangus heifers. *J. Anim. Sci.* 87:3887.
- LAWRIE, R. J. 1958. Physiological stress in relation to dark cutting beef. *J. Sci. Food Agr.* 9:721.
- LEFAUCHEUR, L.; LEBRET, B.; ECOLAN, P.; LOUVEAU, I.; DAMON, M.; PRUNIER, A.; BILLON, Y.; SELLIER, P.; GILBERT, H. 2011. Muscle characteristics and meat quality traits are affected by divergent selection on residual feed intake in pigs. *J. Anim. Sci.*, 89: 996-1010.
- 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.
- LINES, D. S.; PITCHFORD, W. S.; BOTTEMA, C. D. K.; HERD, R. M.; ODDY, V. H. 2014. Selection for residual feed intake affects appetite and body composition rather than energetic efficiency. *Anim. Prod. Sci.* 58(1) 175-184

- LISTRAT, A.; HOCQUETTE, J.F. 2004. Analytical limits of total and insoluble collagen content measurements and of type I and III collagen analysis by electrophoresis in bovine muscles. *Meat Sci.* 68: 127-136.
- LISTRAT, A. ; LEBRET, B.; LOUVEAU, I.; ASTRUC, T.; BONNET, M.; LEFAUCHEUR, L.; PICARD, B; BUGEON, J. 2016. How muscle structure and composition influence meat and flesh quality. *Sci. World. J.* <http://dx.doi.org/10.1155/2016/3182746>
- LISTRAT, A.; RAKADJIYSKI, N.; JURIE, C.; PICARD, B.; TOURAILLE, C.; GEAY, Y. 1999. Effect of the diet on muscle characteristics and meat palatability of growing Salers bulls. *Meat Sci.* 53: 115-124.
- LIU, M. F.; GOONEWARDENE, L. A.; BAILEY, D. R. C.; BASARAB, J. A.; KEMP, R. A.; ARTHUR, P. F.; OKINE, E. K. MAKARECHIAN, M. 2000. A study on the variation of feed efficiency in station tested beef bulls. *Canadian. J. Anim. Sci.* 80(3): 435-441
- 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(1): 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.
- MACOON, B.; SOLLENBERGER, L. E.; MOORE, J. E.; STAPLES, C. R.; FIKE, J. H.; PORTIER, K. M. 2003. Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *J. Anim. Sci.* 81(9): 2357-2366.
- MACRAE, J.C.; ARMSTRONG, D.G. 1968. Enzyme method for determination of alpha-linked glucose polymers in biological materials. *J. Sci. Food Agricult.* 19:578-581.
- MALOSSINI, F.; BOVOLENTA, S.; PIASENTIER, E.; PIRAS, C.; MARTILLOTTI, F. 1996. Comparison of n-alkanes and chromium oxide methods for estimating herbage intake by grazing dairy cows. *Anim. Feed Sci. Technol.* 61: 155-165.

- MARINO R., ALBENZIO, M., DELLA MALVA, A.; SANTILLO, A.; LOIZZO, P.; SEVI, A. 2013. Proteolytic pattern of myofibrillar protein and meat tenderness as affected by breed and aging time. *Meat Sci.* 95: 281–287.
- MARTELLO, L.S.; SILVA, S.L.; GOMES, R.C.; CORTE, R.S.P.; LEME, P.R. 2016. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. *Int. J. Biometeorol.* 60: 173-181.
- MCCORMICK, R.J. 1994. The flexibility of the collagen compartment of muscle. *Meat Sci.* 36: 79-91.
- MCDONAGH, M.B.; HERD, R.M.; RICHARDSON, E.C.; ODDY, V.H.; ARCHER, J.A.; ARTHUR, P.F. 2001. Meat quality and the calpain system of feedlot steers following a single generation of divergent selection for residual feed intake. *Aust. J. Exp. Agric.* 41: 1013–1021.
- MCGILCHRIST, P.; ALSTON, C. L.; GARDNER, G. E.; THOMSON, K. L.; PETHICK, D. W. 2012. Beef carcasses with larger eye muscle areas, lower ossification scores and improved nutrition have a lower incidence of dark cutting. *Meat Sci.* 92(4): 474-480.
- MERGEN, D.; KENNET, J. 2015. Argentina: livestock and products annual . [en línea] USDA. Foreign Agricultural Service. GAIN https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Livestock%20and%20Products%20Annual_Buenos%20Aires_Argentina_9-11-2015.pdf [consulta: septiembre 2016].
- MEYER, A. M.; KERLEY, M. S.; KALLENBACH, R. L. 2008. The effect of residual feed intake classification on forage intake by grazing beef cows. *J. Anim. Sci.* 86:2670–2679.
- 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.
- MINISTERIO DE AGROINDUSTRIA. 2018. Carnes [en línea] Secretaria de Mercados Agroindustriales. Subsecretaria de Mercados Agropecuarios <http://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/ss_mercados_agropecuarios/areas/carnes/index.php> [consulta: 17 de abril de 2018].

- MITLOHNER, F. M.; GALYEAN, M. L.; MCGLONE, J. J. 2002. Shade effects on performance, carcass traits, physiology, and behavior of heat-stressed feedlot heifers. *J. Anim. Sci.* 80: 2043–2050.
- 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 Chemist.* 112(2): 279-289.
- MUTCH, J. L.; NEIBERGS, H. L.; NEUPANE, M.; MICHAL, J. J.; GARRICK, D. J. KERLEY, M. S.; SHIKE, D. W. BEEVER, J. E. HANSEN, S. L. TAYLOR, J. F. 2017. The role of diet composition fed during residual feed intake determinations and the impact of the diet on the gene sets associated with efficiency as determined by a gene set enrichment analysis. *J. Anim. Sci.* 95(supl. 4):287-288
- NASCIMENTO, M. L., SOUZA, A. R. D. L., CHAVES, A. S., CESAR, A. S. M., TULLIO, R. R., MEDEIROS, S. R., MOURÃO, G.B., ROSA, A.N.; FEIJÓ, G. L. D., ALENCAR, M. M.; LANNA, D. P. D. 2016. Feed efficiency indexes and their relationships with carcass, non-carcass and meat quality traits in Nelore steers. *Meat Sci.* 116: 78-85.
- 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.
- NICHOLSON, M.J. 1987. Effects of Night enclosure and extensive walking on the productivity of zebu cattle. *J. Agric. Sci.* 109:445-452.
- NKRUMAH, J. D.; BASARAB, J. A.; WANG, Z.; LI, C.; PRICE, M. A.; OKINE, E. K.; CREWS, D. H.; MOORE S. S. 2007. Genetic and phenotypic relationships of feed intake and measures of efficiency with growth and carcass merit of in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 85: 2711-2720.
- NKRUMAH, J. D.; OKINE, E. K.; MATHISON, G. W.; SCHMID, K.; LI, C., BASARAB, J. A.; PRICE, M. A.; WANG, Z.; MOORE, S. S. 2006. Relationships of feedlot feed efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 84: 145-153.

- NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle. National Academy Press, Washington, DC pp.3-16
- NOVAKOVI, S.; TOMAŠEVI, I. 2017. A comparison between Warner-Bratzler shear force measurement and texture profile analysis of meat and meat products: a review IOP Conf. Series.: Earth Environ. Sci. 85(1) doi :10.1088/1755-1315/85/1/012063
- ODDY, V.H. 1999. Genetic variation in protein metabolism and implications for variation in efficiency of growth. Recent. Adv. Anim. Nut. Aust. 12: 23-29.
- 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.
- OUALI, A.; TALMANT, A. 1990. Calpains and calpastatin distribution in bovine, porcine and ovine skeletal muscles. Meat Sci. 8(4), 331-348.
- PARR, T.; MAREKO, M. H.; RYAN, K. J.; HEMMINGS, K. M.; BROWN, D. M.; BRAMELD, J. M. 2016. The impact of growth promoters on muscle growth and the potential consequences for meat quality. Meat Sci. 120: 93-99.
- PETTE, D.; STARON, R. S. 1997. Mammalian skeletal muscle fiber type transitions. Int Rev Cytol. 170: 143-223.
- PFLANZER, S. B.; FELÍCIO, P. E. 2009. Effects of teeth maturity and fatness of Nellore (*Bos indicus*) steer carcasses on instrumental and sensory tenderness. Meat Sci. 83(4): 697-701.
- 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.
- POMPONIO, L.; ERTBJERG, P. 2012. The effect of temperature on the activity of μ - and m-calpain and calpastatin during post-mortem storage of porcine longissimus muscle. Meat Sci. 91(1): 50-55.

- POPP, J.; WICKE, M.; KLEIN, G.; KRISCHEK, C. 2015. The relationship of pork longissimus muscle pH to mitochondrial respiratory activities, meat quality and muscle structure. *Anim.* 9(2): 356-361.
- PÖSÖ, A. R.; PUOLANNE, E. 2005. Carbohydrate metabolism in meat animals. *Meat Sci.*70: 423-434.
- POTTS, S.B.; BOERMAN, J.P.; LOCK, A.L.; ALLEN, M.S.; VANDEHARR, M.J. 2015. Residual feed intake is repeatable for lactating Holstein dairy cows feed high and low starch diets. *J. Dairy Sci.* 98:4735-4747.
- PURCHAS, R. W.; AUNGSUPAKORN, R. 1993. Further investigations into the relationship between ultimate pH and tenderness for beef samples from bulls and steers *Meat Sci.* 34: 163:178.
- PURSLOW, P.P. 2005. Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. Review. *Meat Sci.* 70: 435-447.
- PYM, R.A.E.; TOMAS, F.M. 1990. Protein turnover in chickens selected for different aspects of growth and body composition. In: Balnave, D. (ed.) *Proceedings of the Australian Poultry Science Symposium.* University of Sidney: Sidney pp. 116.
- RAMIRO, F.A. 2017. Consumo residual, su relación con la digestibilidad, la composición corporal, el peso del hígado y la carga parasitaria de bovinos en pastoreo. Tesis M.Sc. en Nutrición Animal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata 53p.
- REEDS, P. J.; BURRIN, D. G.; DAVIS, T. A.; STOLL, B. 1998. Amino acid metabolism and the energetics of growth. *Archiv. Anim. Nut.* 51: 187-197.
- REEVES, M.; FULKERSON, W.J.; KELLAWAY, R.C.; DOVE, H.A. 1996. Comparison of three techniques to determine the herbage intake of dairy cows grazing kikuyu *Pennisetum clandestinum* pasture. *Aust. J. Exp. Agric.* 36: 23-30.
- REIS, R. B.; COMBS, D. K. 2000. Effects of corn processing and supplemental hay on rumen environment and lactation performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *J. Dairy Sci.* 83: 2529-2538.
- RESURRECCION, A. V. A. 2004. Sensory aspects of consumer choices for meat and meat products. *Meat Sci.* 66(1): 11-20.

- RHEE, M.; WHEELER, T.; SHACKELFORD, S.; KOOHMARAIE, M. 2004. Variation in palatability and biochemical traits within and among eleven beef muscles. *J. Anim. Sci.* 82: 534.
- RHIND, S. M.; ARCHER, Z. A.; ADAM, C. L. 2002. Seasonality of food intake in ruminants: recent developments in understanding. *Nutr. Res. Rev.* 15: 43-65.
- RIBEIRO, J. S.; GONÇALVES, T. M.; LADEIRA, M. M.; CAMPOS, F. R.; TULLIO, R. R.; MACHADO NETO, O. R.; OLIVEIRA, D. M.; BASSI, M. S. 2012. Residual feed intake and its effect on carcass and meat characteristics of feedlot Zebu cattle. *Rev. Bras. Zoot.* 41:1509-1515.
- RICHARDSON, E. C.; HERD, R. M. 2004. Biological basis of variation in residual feed intake in beef cattle. Review of potential mechanisms. *Aust. J. Exp. Agr.* 44: 423-430.
- RICHARDSON, E. C.; HERD, R. M.; ARTHUR, P. F.; WRIGHT, J.; XU, G.; DIBLEY, K.; ODDY V. H. 1996. Possible physiological indicators for net feed conversion efficiency in beef cattle. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 21: 103-106.
- RICHARDSON, E. C.; HERD, R. M.; ODDY, V. H. 2000. Variation in body composition, activity and other physiological processes and their associations with feed efficiency. In: Archer, J.A.; Herd, R.M.; Arthr, P.E. (eds.) *Feed efficiency in beef cattle. Proceedings of the Feed Efficiency Workshop*, pp. 46-50.
- RICHARDSON, E.C.; HERD, R.M. 2004. Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. 2. Synthesis of results following divergent selection. *Aust. J. Exp. Agri.* 44: 431-440.
- RUSSEL, R.W.; GAHR, S.A. 2000. Glucose availability and associated metabolism. In: D'Mello, J.P.F. (ed.) *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. CAB Intl. Publ., Wallingford, Oxon, UK pp. 121-147.
- RYU, Y. C.; KIM, B. C. 2005. The relationship between muscle fiber characteristics, post- mortem metabolic rate, and meat quality of pig longissimus dorsi muscle. *Meat Sci.* 71,351-357.
- SAINZ, R.D.; PAULINO, P.V. 2004. Residual feed intake. [en línea] UC Davis: <https://escholarship.org/uc/item/9w93f7ks> [consulta: septiembre 2018]

- SAVELL, J. W.; MUELLER, S. L.; BAIRD, B. E. 2005. The chilling of carcasses. *Meat Sci.* 70: 449-459.
- SEIDEMAN, C.; SMITHL, C.; DURLANDJ, P.R. 1984. Factors associated with fresh meat color: heme-chemistry. *Meat Sci.* 6: 211-237.
- SHACKELFORD, S. D.; MORGAN, J. B.; CROSS, H. R.; SAVELL, J. W. 1991. Identification of threshold levels for Warner-Bratzler shear force in beef top loin steaks. *J. Muscle Foods* 2(4): 289-296.
- SHERMAN, E. L.; NKRUMAH, J. D; MOORE S. S. 2010. Whole genome single nucleotide polymorphism associations with feed intake and feed efficiency in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 88:16-22.
- SHIBATA, M.; MATSUMOTO, K.; HIKINO, Y.; YAMAMOTO, N. 2014. Effect of indoor concentrate feeding vs. outdoor grazing on the expression of genes involved in muscle growth and nutrient content in japanese black steer muscle. *Open J. Anim. Sci.* 4(05): 297.
- 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.
- SORIA, L.A.; CORVA, P.M. 2004. Factores genéticos y ambientales que determinan la terneza de la carne bovina. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 12: 73-88.
- STARKEY, C. P.; GEESINK, G. H.; COLLINS, D.; ODDY, V. H.; HOPKINS, D. L. 2016. Do sarcomere length, collagen content, pH, intramuscular fat and desmin degradation explain variation in the tenderness of three ovine muscles? *Meat Sci.* 113: 51-58.
- SUMAN, S. P.; JOSEPH, P. 2013. Myoglobin chemistry and meat color. *Annual Rev. Food Sci. Technol.* 4: 79-99.
- SWANSON, K. C.; HARMON, D. L. 2002. Dietary influences on pancreatic α -amylase expression and secretion in ruminants. In: Zabielski, R.; Lesniewska, V.; Gregory P. C. (eds.) *Biology of the intestine in growing animals*. Elsevier, Boston, MA pp. 515-537.

- 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.
- THOMPSON, B. C.; Cruickshank, G.J.; Poppi, D.P.; SYKES, A.R. 1985. Diurnal patterns of rumen fill in sheep. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 45: 1117-1120.
- THOMPSON, J.M. 2002. Managing meat tenderness. *Meat Sci.* 62: 295-308.
- TORRESCANO, G.; SANCHEZ-ESCALANTE, A.; GIMENEZ, B.; RONCALÉS, P.; BELTRÁN, J. A. 2003. Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. *Meat Science*, 64: 85-91.
- TOTLAND, G. K.; KRYVI, H.; SLINDE, E. 1988. Composition of muscle fiber types and connective tissue in bovine M. semitendinosus and its relation to tenderness. *Meat Sci.* 23:303-315.
- TRUJILLO, A. I.; CASAL, A.; PENAGARICANO, F.; CARRIQUIRY, M.; CHILIBROSTE, P. 2013. Association of SNP of neuropeptide Y, leptin, and IGF-1 genes with residual feed intake in confinement and under grazing condition in Angus cattle. *J. Anim. Sci.* 91: 4235-4244.
- UNITED NATIONS. 2011. Revision of world population prospects. [en línea] <http://esa.un.org/unpd/wpp/Documentation/pdf/WPP2010_Volume_Comprehensive_Tables.pdf> [Consulta: 20 noviembre 2017]
- USDA. 2018. Livestock and poultry: world markets and trade. [en línea] United States Department of Agriculture <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/livestock_poultry.PDF> [Consulta: 13 mayo 2018].
- VAN BA, H.; OLIVEROS, C. M.; PARK, K.; DASHDORJ, D.; HWANG, I. (2016). Effect of marbling and chilled ageing on meat-quality traits, volatile compounds and sensory characteristics of beef longissimus dorsi muscle. *Anim. Prod. n Sci.* 57(5): 981-992.

- VAN SOEST, P. 1994. Body size and the limitations of ruminants. In: Van Soest, P. Nutritional ecology of the ruminants. Cornell University Press. Ithaca, New York pp: 40-43.
- WAGHORN, G.C.; MACDONALD, K.A.; WILLIAMS, Y.; DAVIS, S.R.; SPELMAN, R.J. 2012. Measuring residual feed intake in dairy heifers fed an alfalfa (*Medicago sativa*) cube diet. *J. Dairy Sci.* 95: 1462-1471.
- WALKER, R. S.; MARTIN, R. M.; BUTTREY, B. 2015. Effects of residual feed intake and dam body weight on replacement heifer intake, efficiency, performance, and metabolic response. *J. Anim. Sci.* 93: 3602-3612.
- 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: 363-374.
- 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. 2008. Sarcomere length influences postmortem proteolysis of excised bovine semitendinosus muscle. *J. Anim. Sci.* 86: 1925-1932.
- WEGNER, J.; ALBRECHT, E.; FIEDLER, I.; TEUSCHER, F.; PAPSTEIN, H. J.; ENDER, K. 2000. Growth-and breed-related changes of muscle fiber characteristics in cattle. *J. Anim. Sci.* 78: 1485-1496.
- WELCH, C. M.; AHOLA, J. K.; HALL, J. B.; MURDOCH, G. K.; CREWS, D. H.; DAVIS, L. C.; DOUMIT, M. E.; PRICE, W.J.; KEENAN, L.D; HILL, R. A. 2012. Relationships among performance, residual feed intake, and product quality of progeny from Red Angus sires divergent for maintenance energy EPD. *J. Anim. Sci.* 90(13): 5107-5117.
- WILEY, L. M.; TEDESCHI, L. O.; FORBES, T. D. A.; ROUQUETTE, F. M. 2016. Relationships between restricted residual feed intake of Brahman bulls measured in confinement and under different stocking intensities on Coastal bermudagrass pastures. *Prof. Anim. Sci.* 32(5): 605-618.

- 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., 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(10): 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.
- YAO, G. 2016. Light Propagation in: *Light Scattering Technology for Food Property, Quality and Safety Assessment*, 251.
- YOUNG, J. M.; CAI, W.; DEKKERS, J. C. M. 2011. Effect of selection for residual feed intake on feeding behavior and daily feed intake patterns in Yorkshire swine. *J. Anim. Sci.*89: 639-647.
- YOUNG, O. A.; WEST, J. 2001. *Meat color*. Miritz Centre. Ag. Research, Hamilton, New Zealand.Marcel Dekker, Inc. Press.
- ZORZI, K.; BONILHA, S. F. M.; QUEIROZ, A. C.; BRANCO, R. H.; SOBRINHO, T. L.; DUARTE, M. S. 2013. Meat quality of young Nellore bulls with low and high residual feed intake. *Meat Sci.* 92: 593-599.