

CARACTERIZACIÓN DE LA TERNEZA Y MÉTODOS PARA PREDICCIÓN DE LA MISMA UTILIZANDO MEDICIONES *IN VIVO* Y *POSTMORTEM* (CARACTERÍSTICAS CARNICERAS, PH, TEMPERATURA Y COLOR DE LA CARNE)

G. Brito, X. Lagomarsino

Introducción

La calidad de un producto, puede ser definida previa a la compra (creencias/actitudes), al momento de la misma (señales intrínsecas/extrínsecas) y durante el consumo (atributos sensoriales). Como es señalado por varios autores, las mejoras en calidad deberían ser conducidas por las expectativas y percepciones de los consumidores, ya que una buena experiencia al consumir es esencial para volver a realizar la compra.

La calidad de la carne vacuna puede ser caracterizada por apreciación visual (color de la carne y la grasa, composición, firmeza y textura), palatabilidad (terneza, sabor y jugosidad), valor nutritivo e inocuidad alimentaria (presencia de microorganismos patógenos y/u organismos deteriorantes) (Purchas et al., 1989).

La terneza, es la característica de la carne que más influye en la aceptación de la misma por parte de los consumidores. Diferentes estudios realizados en Norteamérica mostraron que la mayoría de la carne consumida es aceptable por los consumidores, sin embargo existen excepciones donde la terneza final afecta la aceptabilidad de la misma (Jeremiah et al., 1991). Ha sido probado que los consumidores están dispuestos a pagar un sobreprecio por carne conocida como tierna (Shackelford et al., 2001).

La terneza se encuentra determinada por factores intrínsecos como extrínsecos. El 40% de la variación en terneza está determinada por variables controlables por el productor y el 60% restante por variables pre y post faena (Koochmarai et al., 1995). Los factores intrínsecos se refieren a la degradación de las fibras (proteólisis post mortem, maduración), el estado de contracción del musculo (longitud del sarcómeros), tejido conectivo y grasa intramuscular. A su vez, los factores extrínsecos se dividen en variables a nivel del predio (edad de faena, pedo de la faena, alimentación, manejo), variables del animal (genética, género, tipo de musculo), variables *pre* faena (estrés, manejo, condiciones al momento del sacrificio), y variables post faena a nivel industrial (los factores de mayor importancia son la tasa de descenso del pH, la tasa de enfriamiento y el proceso de maduración) y a nivel de procesadores y consumidores (manejo y la preparación de los cortes de carne).

Los efectos de la dieta sobre las características de la canal y los atributos de la carne pueden ser confundidos entre otros, por diferenciación en el grado de terminación del animal, edad de faena, tasa de crecimiento, tiempo en la alimentación, la raza o el sexo (Brito et al., 2007). La alimentación pre faena tiene efecto sobre las características de la carne, algunos autores afirman que la duración del periodo de terminación de los animales con una dieta alta en energía afecta la terneza. Otros

estudios muestran que una restricción alimenticia se traduce en un incremento de la tasa de colágeno insoluble y por tanto en un endurecimiento muscular

En el momento de la faena, los sistemas de insensibilización pueden influenciar la calidad de la carne. Los sistemas no penetrantes y las pistolas de bala cautiva, tienen la negativa de que podrían promover la distribución de priones BSE desde el cerebro a productos comestibles; este sistema podría ser resuelto aplicando la insensibilización eléctrica.

La estimulación eléctrica en la canal, aplicada luego del sangrado, afecta los cambios *post mortem* del músculo y la calidad de la carne, siendo los principales efectos logrados la aceleración del rigor mortis, la ruptura de la matriz de las miofibrillas, la aceleración de la proteólisis (incrementando los niveles de calcio intracelular y la actividad del sistema calpaína calpastatina) y la mejora de la apariencia de la carne (Morton et al., 1999). La estimulación eléctrica lleva a la rápida elevación del calcio intracelular, lo que desestabilizaría las bandas Z y activaría el sistema enzimático de las calpaínas y calpastatinas, proteasas responsables del grado de terneza inicial de la carne por degradación de las miofibrillas.

El desarrollo basado en sistemas de clasificación ha hecho posible la identificación de canales con terneza superior y la adición de valores a canales subevaluadas en los sistemas corrientes. Varios investigadores han realizado intentos en diferenciar canales según grupos de terneza; algunos (Purchas et al., 1990; Jeremiah et al., 1991; Wulf et al., 1997; Purchas et al., 1999) han demostrado la relación entre el pH final y/o el color de la carne con medidas de terneza tanto objetivas (fuerza de corte Warner-Bratzler) como subjetivas (panel sensorial y paneles de consumidores). La mayoría de estos sistemas se basan en la relación entre la terneza y el pH (Purchas, 1990; Jeremiah et al., 1991; Purchas et al., 1999; Silva et al., 1999; Wulf y Page, 2000), el color (Jeremiah et al., 1991; Wulf et al., 1997; Wulf y Page, 2000; Wulf et al., 2002; Vote et al., 2003) y la temperatura (Lochner et al., 1980, Jones y Tatum, 1994). Wulf et al. (1996) clasificaron canales jóvenes de acuerdo al color del músculo (pálido, normal u oscuro) y reportaron que las canales con color oscuro tenían mayores valores de fuerza de corte y Wulf y Page (2000) demostraron que las medidas de color en el músculo *longissimus* están relacionadas con la terneza de canales vacunas jóvenes.

La Universidad de Colorado junto con el Laboratorio Hunter Associates, desarrollaron un sistema de análisis de video imagen (BeefCam) que pudiera medir el color del músculo. Resultados preliminares, sugirieron que las mediciones del color están relacionadas con la palatabilidad del *longissimus* madurado y cocinado (Wyle et al., 2003). Vote et al. (2003) reportaron que los análisis de video imágenes en línea del marmóreo, color del músculo y color de grasa obtenidas a través del Computer Vision System equipado con un módulo BeefCam (CVS BeefCam) eran útiles para predecir los valores de fuerza de corte Warner Bratzler (FC) del *longissimus*. Esta estrategia de mejora, principalmente de la terneza, también es realizada por los principales países exportadores de carne, como Australia (Guarantee tenderness, MSA; Thompson, 2000) y Nueva Zelanda (NZ Beef y Lamb Quality Mark; Lawrence, 2002).

Actualmente, se encuentra una variación considerable en la madurez del ganado producido por la industria cárnica Uruguaya que contribuye a las inconsistencias en la terneza y color del músculo, características importantes para los consumidores. Por lo tanto, Uruguay como país exportador podría realizar un acercamiento de diagnóstico de terneza y aplicar la información disponible para

identificar los puntos críticos de control de palatabilidad a través de la cadena cárnica y así poder aumentar las oportunidades de exportar a mercados de calidad.

El presente informe se divide en cuatro capítulos, donde el primero muestra los resultados de obtenidos a partir de tres estudios donde se evalúa el efecto de diversos sistemas de alimentación sobre la calidad de la carne. El segundo se basa en el estudio de los efectos de la insensibilización y la estimulación eléctrica. El tercero se centra en la evaluación de un método no invasivo portátil de video imagen, Hunter Lab System (BeefCam), que contiene un software que permite predecir la ternura de la carne basado en medidas de la canal que son tomadas por CVS (Computer Vision System), junto con medidas de color del músculo y grasa. El capítulo restante, basado en dos trabajos muestra estudios para determinar la predicción y selección de canales a partir de características *post mortem*.

Factores a nivel de predio

CAPITULO I: Determinación de la Terneza a Partir de Diferentes Estudios Basados en Diferentes Sistemas Productivos

Introducción

Los sistemas de producción de carne en Uruguay son básicamente pastoriles aunque sistemas más intensivos, donde se incorpora la suplementación con concentrados y la terminación a corral, están siendo cada día más utilizados de forma de mejorar la eficiencia de producción y los atributos de calidad de la carne. Dentro de estos últimos, es de interés caracterizar las cualidades intrínsecas de los productos cárnicos (color de la carne y grasa, pH, contenido de grasa intramuscular y terneza entre otras), características demandadas por los mercados exigentes y en las cuales el sector ganadero deberá contemplar para el soporte de su competitividad. Para ello se deberán considerar factores como genética, tipos raciales y sistemas de producción los cuales inciden por sí solos o en su interacción sobre el rendimiento como en la calidad .

Diversos estudios sobre los atributos de palatabilidad de la carne de animales alimentados con pasturas y concentrados han producido resultados dispares. Algunos han encontrado que la terminación con pasturas produce efectos negativos sobre la terneza de la carne (Mitchell et al., 1991; Smith, 1990), mientras que otros han demostrado que la alimentación con pasturas no produce efectos negativos sobre los atributos de calidad de la carne, incluyendo la terneza (Mandell et al., 1998; French et al., 2001). En muchos ensayos, los efectos dietarios se confunden con los producidos por la edad de los animales, el ritmo de crecimiento, el peso de la canal y la gordura al momento de la faena (Realini et al., 2004).

French et al. (2001) hallaron que la suplementación de pasturas con bajos niveles de concentrado produjo una carne más tierna y aceptable luego de dos días *post mortem*, pero que los efectos sobre la palatabilidad de la carne desaparecían si la maduración se prolongaba más allá de este período. Huffman et al. (1996) propusieron un umbral de fuerza de corte, como medición instrumental de la terneza de 4.1 kg, dado que el 98 % de los consumidores de restaurantes mostraba satisfacción al consumir el bife de *longissimus* con ese nivel de terneza.

En este capítulo serán presentados tres trabajos realizados bajo diferentes sistemas de alimentación para la determinación de atributos relacionados con la calidad de la carne, entre ellos la terneza: I. Efecto del sistema de alimentación en base a pastura vs. Concentrados en la terminación y antioxidantes en la composición de ácidos grasos, color y calidad de la carne bovina Uruguaya (Realini, C., Duckett, S., Brito, G., Dalla Rizza, M., de Mattos, D., 2004). II. Efecto de Diversas Dietas en Características de la Canal y de la Calidad de la Carne en Novillos del Uruguay (Brito, G., del Campo, M., Soares de Lima, J.M. y San Julián, R., 2007). III. Evaluación de diferentes alternativas de terminación – suplementación y engorde a corral sobre la performance animal y la calidad de la canal y carne de novillos Hereford. (Facultad de Agronomía, Sociedad Rural de Río Negro, INIA. 2009).

I. Efecto del sistema de alimentación en base a pastura vs. concentrados en la terminación y antioxidantes en la composición de ácidos grasos, color y calidad de la carne bovina Uruguaya

Realini, C., Duckett, S., Brito, G., Dalla Rizza, M., de Mattos, D.

Materiales y métodos

Se utilizaron 30 novillos Hereford, de los cuales, 10 fueron terminados en pasturas y 20 a base de concentrados. Los novillos fueron alimentados en condiciones comerciales llevadas a cabo por el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria del Uruguay en conjunto con la Asociación de Criadores de Hereford del Uruguay y la Asociación Uruguaya de Productores de Carne Natural Intensiva (AUPCIN). La pastura estaba compuesta principalmente por raigrás perenne, lotus corniculatus, trébol blanco y festuca en presencia de malezas. La ración de feedlot consistió en un 50 % silo de maíz, 28 % afrechillo de trigo, 18 % de maíz y 5 % de suplemento (principalmente afrechillo de trigo, Rumensin y urea). La mitad de los novillos terminados con concentrado fueron suplementados con 1000 U.I. de vitamina E por animal y por día durante 100 días. Los animales se faenaron en una planta comercial de acuerdo a los procedimientos normales, después de 100 días de terminación en feedlot. Los novillos alimentados en base a pastura se faenaron en la misma planta comercial luego de un período de 130 días de pastoreo.

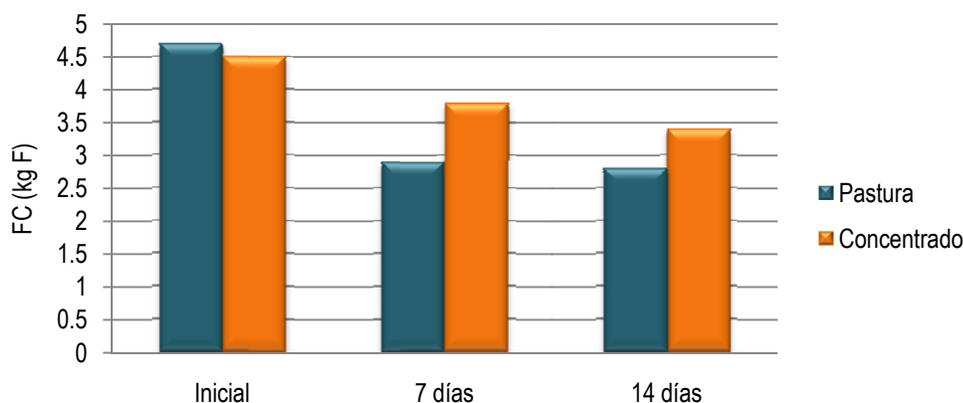
Luego de la faena, las canales se clasificaron utilizando el sistema de graduación Uruguayo, tal como lo especifica el Instituto Nacional de Carnes (INAC, 1997) y se registraron datos de las mismas (conformación, edad, grado de terminación, dentición). Luego de 24 h *post mortem*, se realizó el cuarteo de las canales entre las costillas 12–13^{er} y se registró información adicional (área de ojo de bife, profundidad de grasa, pH, grasa subcutánea y color del área de ojo de bife). Se removieron de las canales bifos de 2.5 cm, envasados al vacío, almacenados en refrigerador a 2°C y congelados, y luego de 0, 7 y 14 días de maduración fueron sometidos a la determinación de la fuerza de corte Warner-Bratzler. Los bifos fueron descongelados durante 24 horas a 2°C, y hervidos en un baño de agua hasta lograr una temperatura interna de 71°C (AMSA, 1995). Luego los bifos se dejaron descansar hasta alcanzar la temperatura ambiente y se tomaron seis muestras de 1.27-cm por bife en forma paralela a la orientación longitudinal de las fibras del músculo. Todas las muestras fueron analizadas en forma perpendicular al eje longitudinal utilizando un aparato Warner-Bratzler de medición de fuerza de corte para carne (Standard Shear Model 2000 D, G-R Manufacturing Co; Manhattan, Kansas).

Los resultados fueron analizados por medio del análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM de SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC). Se utilizaron contrastes pre-determinados no ortogonales para comparar las medias de los animales terminados con pasturas y los animales terminados en base a concentrado, con y sin suplementación de vitamina E. Las variables medidas a través del tiempo fueron analizadas como medidas repetidas. La suplementación con vitamina E no alteró ninguna de las características de la canal, fuerza de corte de Warner-Bratzler, ni la composición de los ácidos grasos para los animales terminados en base a concentrado y suplementados con vitamina E, por lo cual estos datos fueron agrupados.

Resultados

Los resultados de fuerza de corte Warner Bratzel para 14 días de maduración obtenidos en el trabajo de Realini et al. (2004) se presentan en la **Figura 1**.

Figura 1. Efectos de la maduración *post mortem* en la fuerza de corte de bifes *longissimus* de animales alimentados con pasturas (n=10) y con concentrado (n=20).



Los valores iniciales de terneza no presentaron diferencias ($P > 0.05$) entre los diferentes sistemas de alimentación (4.7 vs. 4.5 kg, respectivamente) aun cuando se presentaron diferencias ($P < 0.05$) en los valores de peso de las canales (226 vs. 240 kg), terminación (espesor de grasa: 3.8 vs. 6.1 mm), y temperatura durante el enfriado. Se observó una mayor maduración en la carne de los animales alimentados en base a pasturas, con valores de FC aproximadamente 1 kg ($P < 0.01$) y 0.6 kg ($P < 0.05$) menores luego de 7 y 14 días de maduración respectivamente, que para los bifes de animales terminados con concentrado. Basándose en el umbral definido por Huffman et al. (1996) de 4.1 kg, se podría afirmar que los bifes de *longissimus* de los dos tratamientos dietarios de este estudio resultaron aceptables en su terneza ($FC < 4.1$ kg) luego de 7 días de maduración.

II. Efecto de Diversas Dietas en Características de la Canal y de la Calidad de la Carne en Novillos del Uruguay

Brito, G., del Campo, M., Soares de Lima, J.M. y San Julián, R.

Materiales y métodos

Fueron seleccionados ochenta novillos de la raza Hereford alimentados en base a pasturas hasta los dos años de edad y luego terminados con diferentes dietas: Tratamiento 1 (T_1): Alimentación solo en base pasturas a un nivel de oferta de forraje (NOF) de 4% del peso vivo (PV). Tratamiento 2 (T_2): Alimentación sobre pasturas a un NOF de 3% del PV, mas suplementación con maíz al 0.6 % del PV. Tratamiento 3 (T_3): Alimentación sobre pasturas a un NOF de 3% del PV, mas suplementación con maíz al 1.2 % del PV. Tratamiento 4 (T_4): Alimentación a corral con concentrado y heno de alfalfa a voluntad. Para el engorde a corral, el concentrado se suministro en forma de pellet y estuvo compuesto por 85% de maíz quebrado, 12.8% de expeller de girasol, 0.98% de urea, 0.61% de carbonato de calcio, 0.61% de sal (%MS) y 2g de rumensin al 10% (animal/día). El heno de alfalfa

(124.3 g/kg de PC y 3.26 Mcal/kg de MS) se suministro picado (2-3cm) y mezclado con el concentrado. La base forrajera consistió en pastura mezcla de alfalfa (*Medicago sativa*), trébol blanco (*Trifolium repens*) y festuca (*Festuca arindinacea*).

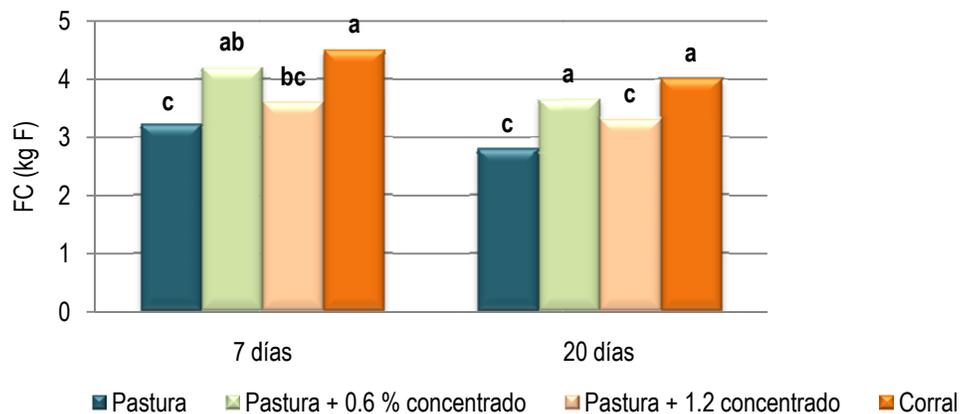
Fueron faenados en un frigorífico comercial al alcanzar en promedio un peso vivo de 500 kg (edad de 26-30 meses) en cada tratamiento. Luego de la faena las canales fueron clasificadas por el Sistema de Clasificación y Tipificación Uruguayo (INACUR) y Europeo (SEUROP), registrándose además el peso de canal caliente (PCC). El pH y la temperatura fueron medidos a la 1, 3 y 24 horas *post* faena en el músculo *Longissimus dorsi* entre la 12 -13^a costilla, utilizando un peachimetro marca Orion 214A con electrodo de gel y un termómetro Barnant 115 con termocupla tipo E, respectivamente. Se extrajeron dos bifés del músculo *Longissimus dorsi*, los cuales fueron envasados al vacío individualmente y llevados a cámara de frío (2-4°C) maduradas durante 7 y 20 días. En dichas muestras se determinó el grado de dureza a través de la fuerza de corte (FC) medida a través de un equipo Warner Bratzel (modelo T2000) y el color de la carne en forma objetiva utilizando un colorímetro Minolta (C-10).

Los resultados se analizaron por el procedimiento GLM de SAS, incluyendo el tratamiento como un efecto fijo y el peso vivo vacío final (PV) como covariable. Las medidas y las diferencias entre tratamientos fueron estimadas por el mínimo cuadrado.

Resultados

Los valores de dureza de la carne presentaron el mismo comportamiento en los diferentes tratamientos para los periodos de maduración considerados (7 y 14 días). Los valores observados con 20 días de maduración fueron más altos ($P < 0.05$) para los T₂ y T₄ que para T₁ y T₃, encontrándose que la carne de los animales alimentados en base a pasto fue más tierna que la de aquellos alimentados a grano (**Figura 2**).

Figura 2. Niveles de dureza según sistema de alimentación en dos periodos de maduración



III. Evaluación de diferentes alternativas de terminación – suplementación y engorde a corral sobre la performance animal y la calidad de la canal y carne de novillos Hereford.

M. Beriau¹, E. Iriarte¹, J., Tucci¹, J. Franco¹, O. Feed², A. Simeone¹, V. Berreta¹, G. Brito³, R. San Julián³, M. del Campo³, D. Chalkling⁴.

(1) Facultad de Agronomía, (2) Facultad de Veterinaria, (3) INIA, (4) Sociedad Rural de Río Negro

Materiales y métodos

En un trabajo conjunto entre la Facultad de Agronomía, la Sociedad Rural de Río Negro y el INIA, se estudió el efecto de diferentes sistemas de alimentación (pasturas y/o encierre a corral) y tiempo de aplicación en la performance animal y en aspectos relacionados a la calidad de la canal y la carne.

Se manejaron 60 novillos Hereford entre 20 y 24 meses de edad, con un peso promedio al inicio del experimento de $354 \pm 20,2$ kg. La alimentación previa al comienzo del ensayo fue de sobre praderas y campo natural mejorado. Fueron definidos 4 tratamientos donde los animales fueron seleccionados al azar: 1) 120 días de engorde en pasturas + suplemento, 2) 80 días de pasturas + suplemento y 40 días de encierre, 3) 40 días en pastura + suplemento y 80 días de encierre y 4) 120 días de encierre.

La pastura fue una mezcla de avena + raigrás (disponible al inicio 2530 kg MS/ha), con una oferta de forraje de 5% del PV. La suplementación se realizó con grano de sorgo al 1% PV. La dieta del encierre estuvo basada en silo de sorgo (40%) y concentrado (60%).

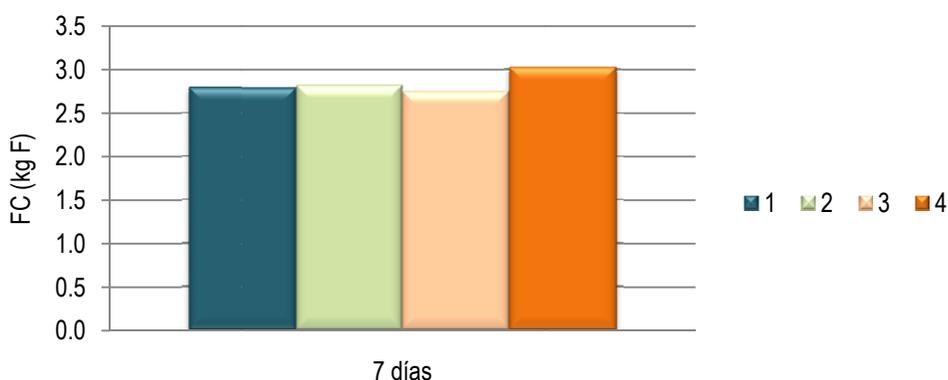
Los animales fueron faenados en dos lotes de 30 animales cada uno, en un frigorífico comercial. Luego de la faena se registro el peso de la canal caliente (PCC) y el peso de la media res. A las 24 horas post mortem se cuarteo la canal a nivel de la 10-11er costilla donde se tomaron los valores de grado de marmoreo en forma visual (marbling) y pH. El pH se midió con un peachímetro Cole Palmer con electrodo de penetración. El marmoreo se midió la escala USDA modificada a 5 puntos: 1: Devoid, 2: Practically Devoid, 3: Slight, 4: Small y 5: Moderate. Se realizaron determinaciones de color del músculo de la grasa), a* (índice de rojo/verde, valores positivos: rojo, valores negativos: verde) y b* (índice de amarillo/azul, valores positivos: amarillo, valores negativos: azul). Los valores se midieron en tres puntos de la superficie del *Longissimus dorsi* en la 10° costilla, utilizando un colorímetro portátil Minolta (C-10, Minolta Inc., Osaka, Japan) luego de un período mínimo de 45 minutos de exposición al oxígeno ("blooming"). Para el análisis instrumental de la terneza se utilizaron muestras de 2,5 cm de espesor del músculo *Longissimus dorsi*. Las muestras fueron envasadas al vacío y maduradas 7 días, entre 1 y 4°C para la posterior determinación de la fuerza de corte. Las muestras fueron descongeladas en agua a temperatura ambiente y cocinadas a baño María en un baño termostatzado a una temperatura interna de 71° C. De cada muestra se extrajeron de 8 a 12 sub-muestras de 1,27 cm de diámetro en forma paralela a las fibras musculares, las cuales fueron sometidas al corte de la cizalla de Warner-Bratzler.

Las variables de peso vivo, ganancia diaria y composición de la canal, fueron analizadas utilizando Procedimiento GLM del paquete estadístico SAS.

Resultados

Los valores de fuerza de corte, considerando un período de maduración de 7 días no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los diferentes sistemas de alimentación, sin embargo, se podría observar una tendencia de menor fuerza de corte en los tratamientos con terminación sobre pasturas, en comparación con el tratamiento a corral.

Figura 3. Niveles de dureza según sistema de alimentación en un periodo de maduración de 7 días



Conclusiones

Del análisis de estos tres estudios de alimentación se constata que existe una tendencia de la carne procedente de los sistemas de engorde a corral a presentar mayor fuerza de corte que aquella proveniente de los sistemas pastoriles. Esto contradice estudios internacionales que muestran que la carne de ganado alimentado con concentrados tiende a ser más tierna. Los factores que podrían estar incidiendo en este comportamiento pueden estar relacionados a los sistemas de producción y su efecto en el crecimiento animal, como en otros factores bioquímicas que actúan en el proceso de transformación de músculo en carne. Es necesario también aclarar que la determinación de la ternera se hace en un músculo en particular (*longissimus dorsi*), el cual se caracteriza por ser de bajo contenido de tejido conectivo, concentrando las causas de los valores de la ternera en la degradación de las fibras musculares. Estos resultados ameritan el desarrollo de nuevos estudios que permitan obtener un mayor conocimiento de las variables que expliquen el comportamiento de este atributo.

Factores a nivel industrial

CAPITULO II: Efecto del sistema de insensibilización y la estimulación eléctrica

Efecto del sistema del sistema de insensibilización y la estimulación eléctrica en la calidad de la carne bajo condiciones comerciales de la carne vacuna en Uruguay

Brito, G., Fiol, C., Soares de Lima, J. M., del Campo, M.

Introducción

Existe una preocupación creciente en la industria de la carne sobre la fiabilidad de los equipos de aturdimiento y sus ventajas en la calidad de la carne. Los sistemas no penetrantes y las pistolas de bala cautiva podrían promover la distribución de priones BSE desde el cerebro a productos comestibles, siendo esta una alternativa inadecuada. El aturdimiento eléctrico podría resolver estos problemas, pero uno de sus riesgos es la salpicadura de sangre. En los frigoríficos comerciales el rápido enfriamiento pre rigor se ha utilizado para aumentar la capacidad de refrigeración, minimizar las pérdidas por evaporación y mejorar las condiciones microbiológicas. La corriente eléctrica aplicada en la canal afecta los cambios post mortem del musculo y la calidad de la carne: Los principales efectos logrados por esta técnica son: aceleración del rigor mortis, la ruptura de la matriz de las miofibrillas, la aceleración de la proteólisis (incrementando los niveles de calcio intracelular y la actividad del sistema calpaína calpastatina) y mejorando la apariencia de la carne (Morton et al., 1999). La terneza es una de las características organolépticas principales por las cuales los consumidores juzgan la calidad de la carne. La EE lleva a la rápida elevación del calcio intracelular, lo que desestabilizaría las bandas Z y activaría el sistema enzimático de las calpaínas y calpastatinas, proteasas responsables del grado de terneza inicial de la carne por degradación de la miofibras. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la corriente eléctrica (insensibilización y estimulación) en el descenso del pH, la apariencia de la carne y la terneza final de la carne en dos periodos de maduración.

Materiales y Métodos

Sobre una base de 443 novillos, de 0 a 6 dientes, comercializados dentro del programa de Carne Hereford del Uruguay, se definieron 4 tratamientos, basados en la combinación de dos sistemas de insensibilización y el uso de la estimulación eléctrica, según las normas establecidas por la planta frigorífica (Frigorífico La Caballada, Salto). T₁: Insensibilización eléctrica (IE) seguido por estimulación eléctrica (EE) (n=112), T₂: IE (n=111), T₃: Insensibilización mecánica (IM) seguido por EE (n=105) y T₄: IM (n=115). Los novillos de T₁ y T₂ fueron insensibilizados eléctricamente usando un voltaje de 850V (60 Hz y 1.5 A). La insensibilización mecánica consistió en una pistola neumática de aire comprimido. Las canales de T₁ y T₃ fueron estimuladas eléctricamente usando bajo voltaje (40V, 60Hz), 1.5 minutos después del sangrado por 20 segundos en 2 tiempos.

Luego de la faena las canales fueron clasificadas de acuerdo al Sistema de Clasificación y Tipificación Uruguayo (INACUR, INAC, 1997) en la canal caliente y el sistema de clasificación de calidad americano (USDA, 1997) en la canal fría.

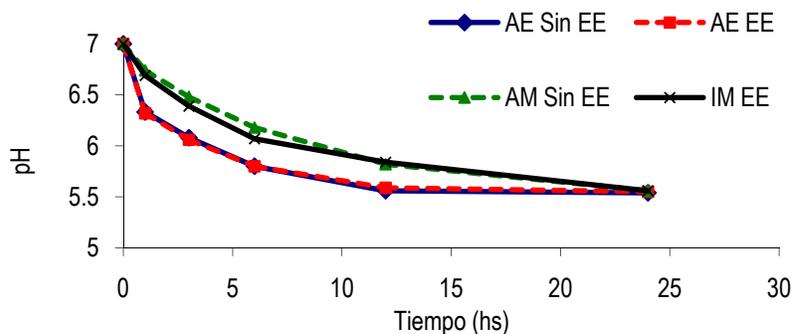
El pH y la temperatura de la canal fue registrado usando un pH metro (ORION, modelo 210A) con electrodo de gel y un termómetro (Bamant 115) con una termocupla tipo E. El pH metro fue calibrado a temperatura ambiente (25°C) antes de cada medida. Las mediciones fueron realizadas aproximadamente a 1, 3, 6, 12, 24 y 72 horas *post mortem* en el musculo *longissimus* en el lado izquierdo de la canal a la altura de la 10-11^{er} costilla. Cada medida de pH y temperatura se realiza aproximadamente a la misma profundidad en cada canal. Dos bifes de 2.54 cm de espesor removidos, envasados al vacío y madurados 7 y 14 días a 2-4°C para la determinación de terneza. Las bolsas fueron abiertas y la exudación de la superficie del bife fue removida con una toalla de papel. Los bifes fueron colocados en bolsas de polietileno y cocinados a baño de maría a 80°C hasta una temperatura interna de 70°C. Durante la cocción la temperatura interna fue seguida por un termómetro Bamant 115 con una termocupla tipo E. Fueron retiradas de cada bife 6 muestras cilíndricas de 1.27 cm en orientación paralela a la fibra del musculo. La medida de la fuerza de corte de cada muestra es obtenida utilizando un instrumento de corte Warner Bratzel (Modelo D2000) y el promedio total es calculado a partir del resultado de cada muestra.

Las medidas de color del musculo *longissimus dorsi* fueron realizadas a las 72 horas *post mortem* entre la 10 y 11^{er} costilla. Las mismas (L^* , a^* y b^*) fueron realizadas con un colorímetro Minolta C 10 con un diámetro de medida del área de 8 mm.

Resultados y discusión

Los resultados que se muestran en las **Figura 4 y 5**, provienen de animales que no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el peso de canal caliente (T_1 : 260.4 kg; T_2 : 259.6 kg; T_3 : 259.6 kg y T_4 : 262.3 kg), en el espesor de grasa subcutáneo (T_1 5.65 mm, T_2 : 5.67 mm, T_3 : 5.64 mm y T_4 : 5.54 mm) ni en el grado de marmoreo (SI^{50}). En promedio los novillos presentaron una dentición de 4 dientes.

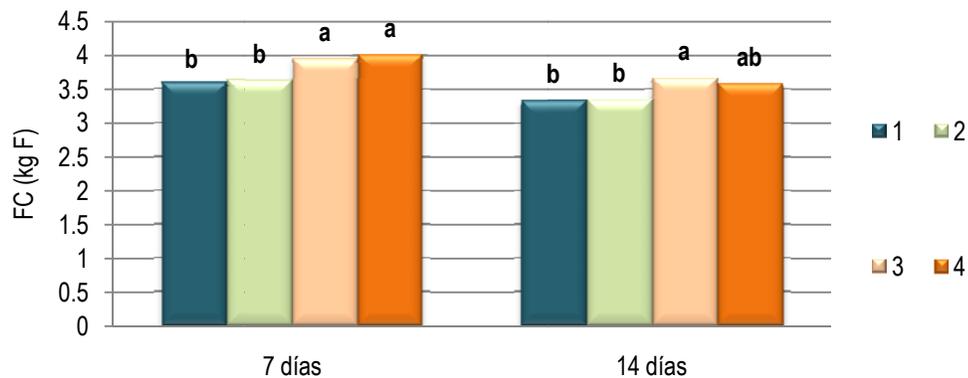
Figura 4. Tasa de descenso del pH para cada tratamiento (24 horas *post mortem*)



Los tratamientos con IE presentaron una disminución más rápida del pH que los de IM. Estas diferencias fueron significativas ($P < 0.01$) a 1, 3, 6 y 12 horas *pos-mortem* comparando los 4 tratamientos. Por lo tanto, los tratamientos IM mostraron diferencias entre ellos. Las canales del T_3

presentaron menores valores de pH a la hora ($P<0.05$), 3 y 6 horas ($P<0.01$) *post mortem* que el T₄. Esto sugiere, de acuerdo con estudios previos, el efecto de la EE en el descenso del pH de las canales (Hwang et al., 2001; Hwang et al., 2003; Strydom et al., 2005). Estos autores observaron diferencias en los valores de pH en las canales con EE y sin ella durante las primeras 4 a 6 horas *post mortem*.

Figura 5. -Niveles de dureza según sistema de alimentación en dos periodos de maduración



El efecto de la insensibilización eléctrica (T₁ y T₂) fue observada a los 7 (FC₇) y 14 (FC₁₄) días de maduración ($P<0.01$). Los novillos insensibilizados eléctricamente fueron más tiernos que los animales insensibilizados en forma mecánica y la estimulación eléctrica no presentó diferencias de ternura en los diferentes métodos de aturdimiento. Eilers et al. (1996) encontraron que bifes del *longissimus* de canales con estimulación eléctrica presentaron menores valores de FC ($P<0.05$) y recibieron una mayor puntuación dentro de la escala en el panel de ternura ($P<0.01$) que los bifes de las canales control.

CAPITULO III: SISTEMA DE PREDICCIÓN DE TERNEZA

I. Evaluación del un sistema de análisis por video imagen (CVS) equipado con un módulo BeefCam para la predicción de la terneza de la carne vacuna.

D. J. Vote*, B. Cunha*, K. E. Belk*, J. A. Scanga*, G. Brito¹, D. de Mattos¹, G. Pigurina², R. Robaina²
(* Universidad de Colorado, (1) INIA, (2) INAC

Introducción

El sistema BeefCam consiste en un dispositivo no invasivo portátil de video imagen, Hunter Lab System (BeefCam), que contiene un software que permite predecir la terneza de la carne basado en medidas de la canal que son tomadas por CVS (Computer Vision System), junto con medidas de color del músculo y grasa. Consta de dos cámaras. La primera toma la imagen del ojo del bife y determina medidas objetivas de área de ojo de bife, % de marmoreo, cobertura de grasa y color del musculo y grasa (Ribeye Camara). La segunda cámara, toma más de 200 medidas sobre la canal a través de un video imagen (CVS Whole Carcass). Estas cámaras además son utilizadas para predecir el rendimiento de la carne vendible, grado de rendimiento, terneza y otros factores de calidad. El sistema operativo del CVS permite adaptarse al trabajo en la industria frigorífica, permitiendo clasificar las canales con una alta probabilidad de terneza de satisfacer a los consumidores.

Materiales y métodos

Las medias reses consideradas en esta prueba fueron seleccionadas al azar luego de la toma del peso de la canal caliente. Antes del lavado de la canal fueron obtenidas las imágenes por el CVS de los lados individuales de las canales y luego fueron trasladadas a la cámara de frio por un periodo comprendido entre 15 y 23 horas, con excepción de aquellas seleccionadas los días viernes, las cuales fueron enfriadas entre 63 y 71 horas y las de los días sábados que fueron enfriadas entre 39 y 47 horas.

Al momento del cuarteo, se registro el número de identificación de la canal, el peso de canal caliente individual, la dentición, el grado de conformación y terminación del sistema de clasificación y tipificación de INAC, el sexo y la correspondiente imagen a través del sistema CVS.

Los lados de las canales que iban a ser desosados se eligieron al azar, evitando aquellas que presentaban un excesivo *trimming* u otros defectos de faena que podrían afectar el peso de los cortes en forma individual o de un músculo principal. Se cuarte entre la 10-11^{er} costilla. Inmediatamente al mismo, se tomaron las imágenes entre la 10-11^{er} costilla usando el sistema CVS equipado con un módulo BeefCam (software para predicción de terneza), identificando las imágenes con el número correlativo de la canal a través de un código de barras. Posteriormente personal de la Universidad de Colorado clasificó y tipificó las canales acorde al sistema americano tanto para rendimiento como calidad (USDA Yield y Quality Grade). Aproximadamente 30 minutos luego del corte, se tomaron nuevamente las imágenes de las canales.

Al completar la elaboración de un lado de la canal, se retiró una muestra del bife angosto de 10 a 12 cm y se envaso para las determinaciones de fuerza de corte Warner Bratzler (FC) a los 7 (FC7) y 14 (FC14) días de maduración en INIA Tacuarembó. Los bifes (2.54 cm de espesor) fueron cocinados a baño maría (80°C) hasta alcanzar una temperatura interna de 70°C determinada por una termocupla (Tipo E Barnnat 115). Luego de enfriados 3 - 4 horas a 4°C se extrajeron 6 muestras cilíndricas (1.27cm) paralelas a la orientación de las fibras musculares. De cada muestra fue obtenido un único valor de máxima fuerza de corte usando el equipo de fuerza de corte Warner Bratzler. Los valores individuales de fuerza de corte fueron promediados para obtener un valor medio de máxima FC para cada bife.

Las estadísticas descriptivas se calcularon para las canales incluidas en los análisis de terniza por características seleccionadas de la canal, variables output CVS, grado de calidad USDA y FC₁₄ (SAS Inst. Inc., Cary, NC.). Las canales fueron separadas utilizando la graduación de INAC de forma de determinar si FC₁₄ difieren entre las clasificaciones de INAC. El efecto de la separación fue probado usando el análisis de varianza y las medias de mínimos cuadrados fueron separadas usando la prueba t cuando la prueba F era significativa $\alpha = 0.05$ (SAS Inst. Inc., Cary, NC)

Fue realizado un análisis de correlación para comparar la relación entre las medidas de color del músculo con el CVS BeefCam y la FC para todas las canales (n=345) con ambos tiempos de la toma de imágenes (al corte y luego de 30 minutos -blooming-). Los coeficientes de correlación entre las medidas de color del músculo y la FC₁₄ fueron similares, sin relacionarse con el tiempo de blooming (tiempo de exposición de la carne con el oxígeno) en las canales. Un segundo análisis de correlación fue llevado a cabo para comparar la relación entre las medidas de color del músculo de todas las canales muestreadas y solo aquellas no consideradas como corte oscuro. Los resultados de este análisis mostraron que el coeficiente de correlación fue mayor entre el color del músculo y la FC₁₄ de canales no consideradas como cortes oscuros. Por lo tanto, se hizo el intento de usar las medidas del color del músculo con el CVS BeefCam para identificar canales probablemente consideradas como cortes oscuros.

El uso de las medidas de color del músculo obtenidas inmediatamente después del corte no probó ser útil para identificar canales con cortes oscuros. Sin embargo, tomando las medidas de color del músculo después de 30 minutos del cuarteo (blooming), se definió un umbral usando de la interacción de los tres parámetros de color del músculo (CVS BeefCam L*, a* y b*) para identificar canales corte oscuro. Las canales clasificadas como de corte oscuro fueron eliminadas de la muestra poblacional. Esto descartó 40 canales de la muestra. Ecuaciones lineales de regresión simple y múltiple (SAS Inst. Inc., Cary, NC) fueron desarrolladas usando el procedimiento de selección de modelos stepwise (con un alfa de entrada de 0.15 y un alfa de salida de 0.16) para predecir los valores de fuerza de corte WBS con 14 días de maduración. Se utilizaron como variables dependientes: 1) factores de tipificación de INAC convertidos en códigos numéricos; 2) factores de tipificación de USDA Quality Grade; 3) variables producidas por el CVS BeefCam (color del músculo, L*, a*, b*, color de la grasa L*, a*, b*, marmóreo y área del ojo del bife)

La mejor ecuación CVS BeefCam para predecir la FC, fue usada para clasificar canales predichas como más tiernas o predichas como menos tiernas. El 50% superior (n=153, predichas como mas tiernas) fueron clasificadas subsecuentemente como "tiernas" con el restante de las canales clasificadas como "no tiernas" Estos dos grupos fueron comparados usando en sentido único una forma de análisis de varianza (SAS Inst. Inc., Cary, NC) para determinar si los valores de

las medias de FC difieren. También el porcentaje de canales dentro de cada grupo que producen bifes con valores FC ≥ 4.5 kg fueron comparados usando el test de Chi² (SAS Inst. Inc., Cary, NC).

Resultados y discusión

Las estadísticas simples de las características de las canales incluidas en los análisis de terneza se presentan en el **Cuadro 1**. Las canales fueron diversas en términos de madurez, marmóreo, color de la grasa y FC. El promedio, desvío estándar y FC se presenta en el **Cuadro 2** estratificados por el grado calidad USDA. La mayoría de las canales muestreadas recibieron una clasificación de calidad USDA de Select, Standard y Utility y el 17,4 % se consideraron como corte oscuro.

Cuadro 1. Estadísticas simples de las características de las canales y los valores de FC₁₄ (n=345)

Característica	Media	SD	Mínimo	Máximo
Peso de canal caliente, kg	225.1	39.6	149.0	374.2
Área del ojo del bife, cm ^{2a}	50.9	8.4	30.2	87.8
L* Músculo ^b	33.8	3.0	25.7	43.1
a* Músculo ^c	27.9	3.9	12.6	34.1
b* Músculo ^d	12.9	1.5	7.9	17.2
L*Grasa ^b	71.3	4.5	50.6	79.7
a*Grasa ^c	7.7	2.1	1.9	22.1
b*Grasa ^d	16.8	3.8	6.4	27.9
Madurez esquelética ^e	158.9	146.4	30.0	500.0
Madurez muscular ^{ef}	138.9	96.0	20.0	430.0
Grados de marmoreo ^g	329.9	73.6	160.0	770.0
Valores FC ₁₄	3.7	1.3	1.4	9.5

^a Medido en la interface de la 10th costilla. ^b L*: 0 = negro, 100 = blanco. ^c a*: altos valores = más rojo, bajos valores = menos rojo. ^d b*: altos valores = más amarillo, altos valores = menos amarillo. ^e Madurez: 0 = A⁰⁰, 100 = B⁰⁰, etc. ^f Madurez muscular no fue evaluada en canales con cortes oscuros (n = 60). ^g Marmoreo: 300 = Slight⁰⁰, 400 = Small⁰⁰, etc.

Cuadro 2. Valores de FC₁₄ para canales estratificadas por el grado de calidad USDA (n=345)

USDA Grade	N	Media	SD	Máximo
Prime	1	2.98	-	2.98
Choice	15	3.04	0.63	4.49
Select	90	3.23	0.81	6.86
Standard	131	3.63	1.25	8.91
Commercial	9	3.14	1.12	5.73
Utility	86	4.21	1.27	9.1
Cutter	13	5.57	2.07	9.49
Todas las canales	345	3.71	1.28	9.49

En el **Cuadro 3** se muestran los resultados de la clasificación de cortes oscuros de acuerdo al umbral de color considerando la interacción de los parámetros L*, a* y b* utilizando el CVS BeefCam. En el mismo se observa las canales que fueron clasificadas correctamente como de cortes oscuros y las que fueron clasificadas de forma incorrecta.

Cuadro 3. Efectividad del uso de las variables de color del músculo obtenidas con el Computer Vision System equipado con un módulo BeefCam para identificar canales con cortes oscuros

Clasificada como corte oscuro	n	Número de canales clasificadas incorrectamente	Número de canales clasificadas correctamente	% clasificadas correctamente
No	305	23	282	92.5
Si	40	3	37	92.5

En el **Cuadro 4** se presentan los coeficientes de correlación entre las variables producidas por el CVS BeefCam y la FC₁₄ en el total de las canales y para aquellas que fueron clasificadas como de color normal por la imagen tomada a los 30 minutos por el CVS BeefCam. Al eliminar las canales clasificadas como cortes oscuros, fueron observados mayores coeficientes de correlación entre L*, a* y b* del músculo y la FC₁₄. Vote et al. (2003) encontraron valores de correlaciones simples de -0.05 a -0.31 para L*, -0.13 a -0.40 para a* y -0.12 a -0.38 para b* con el CVS BeefCam y la FC de cuatro experimentos en este estudio. La relación entre el color de la grasa y los valores de FC₁₄ no fueron afectados por las canales eliminadas clasificadas como cortes oscuros. Adicionalmente, a pesar de que el marmóreo CVS BeefCam (grado de porcentaje de grasa) no fue correlacionado significativamente con los valores de FC₁₄ para el grupo en que los cortes oscuros fueron eliminados, la magnitud de los coeficientes de correlación entre valores de FC₁₄ y marmóreo CVS BeefCam en el grupo con cortes oscuros y en el grupo sin cortes oscuros fueron similares.

Cuadro 4. Coeficientes de correlacion entre FC₁₄, y variables de salida del CVS BeefCam

Variables output CVS BeefCam	FC ₁₄	
	Todas las canales	Cortes oscuros eliminados (n=40)
Área del ojo del bife ajustada (cm ² /kg)	0.08	0.06
Marmoreo	-0.14*	-0.11
L* Músculo	-0.12*	-0.26*
a* Músculo	-0.11*	-0.36*
b* Músculo	-0.11*	-0.23*
L* Grasa	-0.15*	-0.15*
a* Grasa	0.05	0.02
b* Grasa	0.05	0.04

*Correlaciones que difieren de cero (P < 0.05).

En el **Cuadro 5** se presentan las ecuaciones de regresión usando el grado de calidad USDA para predecir la FC₁₄ de canales no clasificadas como cortes oscuros por el CVS BeefCam. La madurez muscular contabilizó un 16% de la variación de FC₁₄. Al agregar la madurez total o general y los grados de marmóreo a la ecuación, contabilizo el 20% de la variación en la FC₁₄.

Cuadro 5. Ecuaciones de múltiple regresión para predecir FC₁₄ usando la graduación de calidad USDA (Cortes oscuros eliminados, n = 305)

Términos en el modelo	R ²	RMSE
Madurez muscular	0.16	0.265
Madurez muscular, madurez total	0.18	0.262
Madurez muscular, Madurez total, grados de marmóreo	0.20	0.259

Usando variables del CVS BeefCam para predecir la FC₁₄ de canales clasificadas como no oscuras, a* fue el primero en entrar al modelo, resultando un R² de 0.12 (**Cuadro 6**). El porcentaje de grasa (marmóreo estimado) entro después explicando un 3% adicional de la variación de FC. La mejor ecuación para predecir FC₁₄ usando solo variables del CVS BeefCam incluye a* del músculo, % grasa, b* de la grasa y b* del músculo y contabilizaron el 20% de la variación en los valores de FC₁₄. Vote et al. (2003) presentaron una ecuación de regresión similar para predecir los valores de FC en las canales vacunas de Estados Unidos. La ecuación incluye las medidas de CVS BeefCam del a* del músculo, b* de la grasa, porcentaje de grasa y área del músculo *longissimus* (AOB) y contabilizó por 19% de la variación en los valores del FC (Vote et al., 2003).

Cuadro 6. Ecuaciones de múltiple regresión para predecir FC₁₄ usando las variables output del CVS BeefCam USDA (Cortes oscuros eliminados, n = 305)

Términos en el modelo	R ²	RMSE
a* Músculo	0.12	0.269
a* Músculo, porcentaje de grasa	0.15	0.265
a* Músculo, porcentaje de grasa, b* Grasa	0.17	0.263
a* Músculo, porcentaje de grasa, b* grasa, b* musculo	0.20	0.259

Usando la mejor ecuación del CVS BeefCam para clasificar las canales de FC₁₄ y subsecuentes clasificaciones de las canales como tiernas son presentados en el **Cuadro 7**. Las clasificadas como tiernas tienen menor media de FC₁₄ (P < 0.05) y menor proporción de canales con FC₁₄ ≥ 4.5 kg (P < 0.05) que aquellas canales no clasificadas como tiernas. Adicionalmente, el 93.5% de las canales que fueron clasificadas como tiernas usando la mejor ecuación con el CVS BeefCam para predecir FC₁₄ tienen actualmente valores menores de 4.5 kg FC₁₄, sugiriendo que esta ecuación podría ser usada para identificar grupos de canales que probablemente produzcan bifos tiernos.

Cuadro 7. Efectos del uso de la mejor ecuación de regresión ^a obtenida con el CVS BeefCam para separar canales en grupos que difieren en terneza ^b (Cortes oscuros eliminados, n = 305)

Clasificados como tiernos	Media FC ₁₄	SD FC ₁₄	% FC ₁₄ ≥ 4.5kg	% FC ₁₄ < 4.5kg
No	4.16 ^c	1.39	30.3 ^c	69.7 ^d
Si	3.29 ^d	0.77	6.5 ^d	93.5 ^c

FC₁₄= 2.91 - (0.074 x porcentaje de grasa) - (0.043 x a* Músculo) - (0.039 x b* Músculo) + (0.014 x b* Grasa). ^b El 50% superior (n = 153; predicha como tierna) de las canales clasificadas como tiernas. ^{c, d} Medias o porcentajes dentro de una columna sin una letra común difieren (P < 0.05)

Consideraciones

Los resultados obtenidos en el presente estudio sugieren que el CVS BeefCam trabaja igual o mejor que lo que lo hace en Estados Unidos. Esto puede deberse a la variación en el color de las canales vacunas de Uruguay debido a diferencias en madurez o condiciones de manejo del ganado *pre* faena. El uso del CVS BeefCam podría ayudar a identificar aquellas condiciones de manejo *pre* faena que contribuyen a obtener carne dura y ayudar a crear un producto superior en ternera que podría ser capaz de comercializarse con un sobrepeso con respecto a lo habitual en la carne vacuna de Uruguay y de esta forma incrementar el valor de la carne vacuna producida en Uruguay.

II. Predicción de la ternera a través de características *post mortem*

En esta sección serán presentados dos estudios de predicción y selección según ternera:

- A. Predicción y selección por ternera de canales de novillos uruguayos bajo condiciones comerciales usando las características de las canales *post mortem*, pH, temperatura y lecturas del colorímetro (Ensayo 1)**
- B. Predicción y selección por ternera de canales de novillos uruguayos en dos plantas frigoríficas bajo condiciones comerciales usando las características de las canales *post mortem*, pH, temperatura y lecturas del colorímetro (Ensayo 2)**

G. Brito, C. Jimenez de Aréchaga, M. I. Pravia, M. Xavier, R. San Julián, M. del Campo, J. M. Soares de Lima

Materiales y Métodos

En el primer estudio (Ensayo 1) se trabajó con un total de 174 canales de novillos provenientes de una planta frigorífica, y en el segundo (Ensayo 2) con un total de 449 canales de novillos procedentes de dos plantas de faena. En ambos estudios se realizaron clasificaciones en la canal caliente de acuerdo al sistema de tipificación uruguayo (1 hora *post mortem*, INAC 1997) y en la canal fría según la clasificación americana (18-24 horas *post mortem*, USDA 1997), sin ser estimuladas eléctricamente. Fueron clasificadas por edad según dentición, en grupos de 0-2 dientes, 4 dientes y 6-8 dientes. La razón de distinguir por edad se basa en determinar si el sistema actual de clasificación de canales en Uruguay podría diferenciar la calidad de la carne por ternera. Debido a que en Uruguay, el peso de canal caliente (PCC) y el espesor de grasa subcutánea (EGS) están asociados con la edad del animal, las canales se subdividieron según PCC (Ensayo 1) y EGS (en ambos ensayos) dentro de cada categoría de edad. En el Ensayo 1, las canales de 0-2 dientes se subdividieron en PCC < y ≥ 225 kg y EGS < y ≥ 5 mm. En las categorías de 4 y 6-8 dientes en PCC < y ≥ 240 kg y EGS < y ≥ 5 mm y PCC < y ≥ 265 kg y EGS < y ≥ 7 mm, respectivamente. En el Ensayo 2, la selección posterior a la edad se basó en el espesor de grasa ≤ 6 mm y > 6 mm.

Durante el cuarte se realizaron medidas en el total de canales en el lado izquierdo de las mismas a la altura 11^{er} costilla en el *longissimus dorsi* (EGS, AOB (Ensayo 1: grilla. Ensayo 2: CVS), color

(L^* , a^* , b^*), pH y temperatura). Del *longissimus dorsi* se extrajo una muestra de 8 cm, la cual fue etiquetada y envasada al vacío para determinar la FC luego de 7 y 14 días de maduración a 2–4°C. El cálculo preliminar de % grasa pélvica y corazón, madurez (muscular, esquelética y general), marmoreo y grado de rendimiento y calidad USDA se realizó por personal especializado de la Universidad de Colorado. En el **Cuadro 1** se presentan las variables evaluadas.

El pH y la temperatura del *longissimus dorsi* se determinó a 1, 3 y 18-24 (final) horas *post mortem*. Las dos primeras medidas se realizaron entre la 10-11^{er} costilla del lado izquierdo de la canal. La última en la 11^{er} costilla en la superficie del corte pistola. Para el registro de pH, se usó un pHmetro portátil (Orion A230) con una sonda de electrodos (BC200, Hanna Instruments), calibrado para dos pH buffers (4 y 7). La temperatura fue determinada por un termómetro (Barnanr 115) con una termocupla de acero inoxidable (tipo E).

Las mediciones de color se realizaron según la convención de color CIE (CIE, 1986), siendo las salidas fundamentales L^* , a^* y b^* . L^* (luminosidad) de 0 (toda la luz absorbida) a 100 (toda la luz reflejada), a^* de +60 (rojo) a -60 (verde) y b^* de +60 (amarillo) a -60 (azul). Se utilizó un colorímetro Minolta (modelo C10) con un diámetro de 50 mm en la medida del área. Las medidas se registraron en forma triplicada en el *longissimus* entre la 10-11^{er} costilla luego del cuarteo en el corte pistola (lado izquierdo). A la hora *post* cuarteo, se colectaron lecturas siguiendo el mismo procedimiento para examinar los efectos del blooming (L^*b , a^*b , b^*b) en las 3 salidas (L^* , a^* , b^*).

La muestra del músculo *longissimus dorsi* fue llevada al laboratorio de calidad de carne de INIA Tacuarembó y se maduró 7 y 14 días entre 2-4°C. A los 7 días *post mortem*, las muestras fueron recortadas en bifes de 2.54 cm de espesor. El primer bife (de la zona anterior) fue usado para determinar la fuerza de corte a los 7 días, al segundo fue envasado al vacío y madurado por 7 días más para el subsecuente análisis de fuerza de corte Warner-Bratzler (FC), el resto de los cortes fueron congelados (-20°C) para futuros análisis. Los bifes madurados a 7 y 14 días fueron cocinados en baño de inmersión en bolsas de plástico (80°C) a una temperatura interna de 70°C por 75 minutos. La temperatura interna fue monitoreada usando termocuplas tipo E ubicadas aproximadamente en el centro geométrico del bife. Fueron removidos de cada bife de forma paralela a la fibra del musculo seis muestras cilíndricas (1.27 cm de diámetro) para la determinación de la terniza, determinando la FC obtenida de cada una a través de un equipo de fuerza de corte Warner Brazler (GR Electric Manufacturing Co, Manhattan, KS). Los valores individuales de máxima fuerza de corte de cada muestra se promediaron para asignar un valor medio a cada bife.

Fueron calculadas las estadísticas descriptivas para las variables evaluadas. Fue realizado el test de Shapiro-Wilk ($P < 0.01$) para procedimientos univariados (SAS, 1990) para comprobar si las variables presentaban distribución normal. Los modelos usados fueron:

Las medias de mínimos cuadrados se calcularon y separaron usando el procedimiento PDFIFF (SAS, 1990). Fueron realizados análisis de correlación y regresión múltiple usando el procedimiento stepwise (SAS, 1990). Se analizaron tablas de contingencia para determinar la eficiencia de seleccionar las canales por terniza usando el mejor modelo.

Cuadro 1. Definición de variables

Variable	Definición
PP	Planta de faena
Conformación	INAC 1=I (mejor conformación) a 6 = R (peor conformación)
Terminación	INAC 0 (poca grasa) a 3 (mucha grasa)
Dentición	0, 2, 4, 6 y 8 dientes
PCC	Peso de canal caliente (kg)
EGS	Espesor de grasa subcutánea entre la 10-11 costilla (mm)
Rendimiento USDA (YG)	Del 1 al 5
Madurez muscular, esquelética y general	0=A ⁰⁰ , 100=B ⁰⁰ , 200=C ⁰⁰ , 300=D ⁰⁰ , 400=E ⁰⁰ (misma escala en las tres)
Marmoreo	100=Prácticamente desprovisto ⁰⁰ (PD), 200=Trazas ⁰⁰ (Tr), 300=Leve ⁰⁰ (SI), 400=Poco ⁰⁰ (Sm), 500=Modesto ⁰⁰ (Md), 600=Moderado ⁰⁰ (Mt), 700=Leve abundante ⁰⁰ (SI A), 800=Modesto Abundante ⁰⁰ (Md A)
Grado de calidad USDA (QG)	200=Cutter ⁰⁰ , 300=Utility ⁰⁰ , 400=Commercial ⁰⁰ , 500=Standard ⁰⁰ , 600=Select ⁰⁰ , 700=Choice ⁰⁰ , 800=Prime ⁰⁰
AOB	Área de ojo de bife (cm ²)
pH ₁ pH ₃ pH _u	pH a 1, 3 y 18-24 horas post mortem
T ₁ T ₃ T _u	a 1, 3 y 18-24 horas post mortem (°C)
L*	Luminosidad 0=negro a 100=blanco
a*	+60=rojo a -60=verde
b*	+60=amarillo a -60=azul
Lb* ab* bb*	L*, a*, b* con 1 hora de blooming luego del cuarteo
FC ₇ - FC ₁₄	Fuerza de corte de Warner-Bratzler a los 7 y 14 días de maduración (kg)

A. Predicción y selección por ternera de canales de novillos uruguayos bajo condiciones comerciales usando las características de las canales post mortem, pH, temperatura y lecturas del colorímetro

Resultados y discusión

En el **Cuadro 2**, se presenta el promedio y desvío estándar de cada variable bajo estudio en el total de las canales.

Cuadro 2. Promedio y desviación estándar para el total de canales de novillos

Variables	Media	DE
Conf.	3.13	0.44
Terminación	1.76	0.47
Dentición	4.50	2.16
PCC	243.47	36.30
EGS	6.04	3.53
YG	2.77	0.46
Madurez muscular	117.46	78.01
Madurez esquelética	70.92	43.47
Madurez general	84.94	49.02
Marmoreo	326.55	67.21
QG	539.08	79.53
AOB	52.21	8.31
pH ₁	6.15	0.28
pH ₃	5.94	0.29
pH _u	5.74	0.34
T ₁	33.65	2.72
T ₃	21.65	3.90
T _u	2.85	0.79
L*	30.37	3.26
a*	19.23	3.66
b*	8.63	2.82
Lb*	31.26	3.34
ab*	21.71	4.04
bb*	10.31	2.51
FC ₇	4.06	1.46
FC ₁₄	3.42	1.04

El promedio y desvío estándar obtenido de cada variable medida según grupos de dentición (0-2, 4 y 6-8 dientes) se presenta en el **Cuadro 3**. No existieron diferencias significativas ($P > 0.05$) en FC₇ y FC₁₄ entre dentición, PCC y EGS. El análisis estadístico para el modelo muestra que no existen variables significativas ($P > 0.05$) en FC. Estos resultados concuerdan con Lawrence et al (2001) y Wyhtes y Shorthose (1991), que no encontraron diferencias significativas en FC y en el panel sensorial entre clases de dentición. Estos autores apoyan el concepto de que la clasificación de canales basado en la dentición no debería usarse en lugar de la madurez USDA para seleccionar al musculo *longissimus* por ternera. De acuerdo la clasificación de madurez general según el USDA en

este estudio las canales se encontraron en su mayoría dentro del grupo de clasificación A. En la escala de marmoreo el 90.23 % de las canales se encontraron dentro de la escala de menor contenido de grasa intramuscular (35.06 Traces y 55.17 Slight). En cuanto a los grados de calidad USDA el 88.50 % fueron canales Standard (44.25) y Select (44.25).

Cuadro 3. Promedio y desviación estándar (DE) de cada grupo según dentición

Variables	0 – 2 dientes		4 dientes		6 – 8 dientes	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Conformación	3.03	0.49	3.16	0.40	3.16	0.47
Terminación	1.76	0.43	1.72	0.50	1.82	0.44
Dentición	1.74	0.68	-	-	7.51	0.87
PCC	229.28	28.81	239.44	33.65	261.63	39.45
EGS	5.50	3.60	5.41	3.26	7.57	3.55
YG	2.65	0.38	2.69	0.39	3.03	0.57
Madurez muscular	92.29	61.25	120.54	77.07	133.08	87.63
Madurez esquelética	62.11	31.89	64.48	22.30	89.18	68.25
Madurez general	73.42	40.15	79.66	36.17	103.27	67.65
Marmoreo	312.89	72.78	320.00	56.89	348.72	75.29
QG	534.21	81.46	539.08	61.67	542.86	104.08
AOB	54.40	9.44	51.40	7.92	51.98	7.91
pH ₁	6.11	0.27	6.12	0.27	6.22	0.28
pH ₃	5.89	0.26	5.93	0.30	6.00	0.27
pH _u	5.71	0.29	5.78	0.37	5.71	0.34
T ₁	33.40	2.67	33.68	2.63	33.81	2.94
T ₃	21.52	3.09	21.34	3.21	22.31	5.33
T _u	2.91	0.85	2.80	0.69	2.89	0.90
L*	32.53	3.58	29.94	3.20	29.61	2.48
a*	19.56	2.97	18.45	3.8	20.34	3.57
b*	9.44	2.33	7.99	2.42	9.16	3.47
Lb*	33.23	3.67	30.83	3.21	30.49	2.69
ab*	22.11	3.46	21.08	4.27	22.54	3.91
bb*	11.27	2.63	9.94	2.53	10.27	2.24
FC ₇	3.98	1.56	4.25	1.59	3.76	1.02
FC ₁₄	3.43	1.19	3.52	1.10	3.25	0.76

Al comparar por dentición (**Cuadro 4**), se encontraron diferencias entre el grupo de 6-8 dientes y los otros 2 grupos en madurez esquelética ($P < 0.01$) y entre 6-8 y 0-2 dientes en madurez muscular ($P < 0.05$). Esta diferencia fue confirmada con el valor L^* ($P < 0.01$). Los grupos de EGS (≤ 6 mm y > 6 mm), dieron diferencias ($P < 0.01$) en madurez muscular, marmoreo y calidad USDA. En las canales mas engrasadas, los pH registrados fueron menores ($P < 0.05$) y las temperaturas mayores (T_1 , $P < 0.01$, y T_3 , $P < 0.05$). La relación positiva entre la temperatura y el EGS es el resultado del efecto de aislamiento de la grasa subcutánea. Bowling et al (1977) reportaron que este efecto en niveles moderadas de grasa reduce la tasa de descenso de la temperatura y acelera la glicolisis durante el enfriamiento *post mortem*. Este resultado concuerda con Laurent et al. (1991), quienes encontraron que la remoción de grasa disminuye la temperatura y aumenta el pH₁ *post mortem*.

Cuadro 4. Media de mínimos cuadrados y error estándar para las variables de calidad según edad

Variables	0 – 2 dientes (n=38)		4 dientes (n=87)		6 – 8 dientes (n=49)	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Madurez muscular	86.06 ^b	13.75	113.81 ^{ab}	10.44	131.79 ^a	13.20
Madurez esquelética	61.20 ^c	7.05	63.53 ^c	4.75	88.27	6.5
Madurez general	70.72 ^c	7.94	76.90 ^c	5.35	101.4 ^a	7.31
Marmoreo	318.84	10.68	324.76	7.19	344.07	9.82
QG	524.75	12.67	548.00	8.54	544.81	11.66
pH ₁	6.06	0.05	6.10	0.03	6.15	0.06
pH ₃	5.82	0.05	5.91	0.03	5.95	0.06
pH _u	5.64	0.07	5.74	0.04	5.71	0.08
T ₁	33.96	0.49	33.83	0.29	33.82	0.58
T ₃	22.11	0.74	22.61	0.43	21.37	0.87
T _u	2.80	0.16	2.85	0.09	3.10	0.18
L*	32.89 ^a	0.66	30.09 ^c	0.36	29.67 ^c	0.71
a*	20.27	0.77	18.69	0.42	20.01	0.83
b*	9.95 ^a	0.60	8.14 ^c	0.32	8.95 ^{ab}	0.65
Lb*	33.51 ^a	0.72	31.02 ^c	0.36	30.67 ^{bc}	0.72
ab*	23.13	0.90	21.46	0.45	22.02	0.91
bb*	11.80 ^a	0.55	10.15 ^b	0.28	10.25 ^{ab}	0.56
FC ₇	3.79	0.28	4.23	0.17	3.58	0.33
FC ₁₄	3.34	0.21	3.53	0.12	3.29	0.24

^{a,b,c} misma letra en la misma fila no difieren significativamente ($P > 0.05$). Una letra diferente en la misma fila difieren ($P < 0.05$), con más de una letra difieren ($P < 0.01$).

Las diferencias de las variables de calidad según rangos de peso de canal caliente (PCC, Kg) y espesor de grasa subcutánea (EGS, mm) se presentan en los **Cuadro 5, 6 y 7** para los grupos de 0-2 dientes, 4 dientes y 6-8 dientes, respectivamente.

En el grupo de 0-2 dientes se encontraron diferencias significativas en FC₇ ($P < 0.05$), presentando mayor FC las muestras provenientes de canales más livianas y magras. Las canales con $PCC \geq 225$ kg y $EGS < 5$ mm, presentaron mayor terneza pero las observaciones fueron pocas ($n=4$). La madurez muscular se asocio con los niveles de grasa ($r = -0.39$, $P < 0.05$), siendo las canales mas engrasadas las que presentaban menor madurez ($P < 0.05$). Los valores de b* tuvieron una respuesta similar en la madurez muscular y los grupos de menos grasa ($r = 0.46$, $P < 0.01$). T₁ y T₃ fueron mayores en los grupos con grasa ≥ 5 mm, a excepción del grupo con menos observaciones. Las canales más pesadas y engrasadas fueron diferentes en T₁ ($P < 0.05$) y T₃ ($P < 0.01$) que las más livianas y con poca grasa (**Cuadro 5**).

Cuadro 5. Media de mínimos cuadrados y desvío estándar (DE) en canales de 0-2 dientes
(1- PCC<225, EGS<5, 2- PCC<225, EGS ≥5, 3- PCC ≥225, EGS <5, 4-PCC ≥225, EGS ≥5)

Variables	1 (n= 11)		2 (n=10)		3 (n=4)		4 (n=13)	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Madurez muscular	143.00 ^a	21.57	76.67 ^b	19.03	96.67 ^{ab}	32.96	73.33 ^b	16.48
Mad. esquelética	65.45	9.77	51.00	10.25	60.00	16.21	68.46	8.99
Madurez general	84.54	12.32	61.00	12.92	72.50	20.43	73.85	11.33
Marmoreo	301.82	22.00	307.00	23.08	370.00	36.49	309.23	20.24
QG	518.18	24.98	560.00	26.20	550.00	41.43	523.08	22.98
pH ₁	6.16	0.08	6.10	0.09	6.12	0.14	6.06	0.08
pH ₃	5.94	0.08	5.84	0.08	5.99	0.13	5.84	0.07
pH _u	5.76	0.09	5.71	0.09	5.81	0.15	5.64	0.08
T ₁	31.70 ^b	0.76	33.63 ^{ab}	0.80	34.28 ^{ab}	1.26	34.40 ^a	0.70
T ₃	19.62 ^c	0.86	21.80 ^{abc}	0.91	20.90 ^{abc}	1.44	23.09 ^a	0.80
T _u	3.09	0.28	2.86	0.28	2.73	0.44	2.86	0.24
L*	31.77	1.10	32.47	1.16	30.23	1.74	34.25	1.10
a*	18.79	0.94	19.72	0.99	18.32	1.49	20.69	0.94
b*	8.54 ^b	0.71	9.40 ^{ab}	0.75	8.64 ^{ab}	1.13	10.72 ^a	0.71
Lb*	31.72 ^b	1.11	33.78 ^{ab}	1.17	31.18 ^{ab}	1.75	34.90 ^a	0.97
ab*	20.04 ^b	1.01	23.27 ^a	1.06	20.17 ^{ab}	1.59	23.50 ^a	0.88
bb*	9.47 ^c	0.74	11.89 ^{ab}	0.78	9.90 ^{bc}	1.17	12.65 ^a	0.65
FC ₇	4.99 ^a	0.44	3.70 ^{ab}	0.47	3.17 ^b	0.74	3.61 ^b	0.41
FC ₁₄	4.08	0.35	3.21	0.37	3.11	0.58	3.13	0.32

^{a,b,c} misma letra en la misma fila no difieren significativamente (P>0.05). Una letra diferente en la misma fila difieren (P<0.05), con más de una letra difieren (P<0.01).

En las canales de 4 dientes, no se encontraron diferencias en FC₇ y FC₁₄. La menor madurez muscular se observó en el grupo más engrasado y la mayor en el grupo con PCC >240 kg y EGS < 5 mm que también presentó menores valores de L* y a*. El coeficiente de correlación entre la madurez muscular y L* y a* fue -0.67 y -0.54, respectivamente (P<0.01). Page et al. (2001) y Wulf y Wise (1999) también reportaron que la madurez muscular tuvo mayor correlación con L* que con a* o b*. El grado de marmoreo se correlacionó moderadamente con el EGS (r=0.46, P<0.01). Los grupos con grasa ≥ 5mm presentaron mayor marmoreo y grado de calidad USDA que los grupos menos engrasados. El marmoreo y el grado de calidad USDA presentaron un r = 0.54 (P<0.01). T₁ y T₃ fueron diferentes (P<0.01) entre los grupos extremos (**Cuadro 6**).

En las canales con 6-8 dientes, el mayor valor de FC₇ y de FC₁₄ fue observado en las canales con PCC > 265 Kg y EGS <7 mm. El marmoreo, T₁ y T₃ fueron también mayores en las canales más pesadas y con más grasa (**Cuadro 7**).

Cuadro 6. Media de mínimos cuadrados y desvío estándar en canales de 4 dientes (1- PCC<225, EGS <5, 2- PCC <225, EGS ≥5, 3- PCC ≥225, EGS <5, 4- PCC ≥225, EGS ≥5)

Variables	1 (n= 23)		2 (n=28)		3 (n=17)		4 (n=19)	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Madurez muscular	124.71 ^{ab}	18.33	94.47 ^b	17.34	167.78 ^a	25.19	111.82 ^{ab}	22.79
Madurez esquelética	60.00	4.65	63.57	4.21	72.35	5.40	64.21	5.11
Madurez general	80.43	7.51	72.86	6.81	93.53	8.74	76.32	8.26
Marmoreo	295.22 ^b	11.56	329.64 ^a	10.48	317.06 ^{ab}	13.44	338.42 ^a	12.72
QG	534.78 ^{ab}	12.51	553.57 ^a	11.34	505.88 ^b	14.55	552.63 ^a	13.76
pH ₁	6.10	0.06	6.05	0.05	6.22	0.07	6.18	0.06
pH ₃	5.86	0.06	5.88	0.06	6.06	0.08	5.98	0.07
pH _u	5.73	0.08	5.71	0.07	5.90	0.09	5.81	0.08
T ₁	32.73 ^c	0.52	33.60 ^{abc}	0.47	34.07 ^{abc}	0.65	35.07 ^a	0.59
T ₃	19.97 ^c	0.65	21.36 ^{abc}	0.59	21.77 ^{abc}	0.80	22.68 ^a	0.73
T _u	2.89	0.15	2.91	0.13	2.52	0.18	2.79	0.16
L*	30.82 ^a	0.68	30.60 ^a	0.59	28.47 ^b	0.80	29.15 ^{ab}	0.73
a*	18.66 ^{ab}	0.82	19.18 ^a	0.71	16.71 ^b	0.97	18.53 ^{ab}	0.89
b*	8.19	0.53	8.49	0.46	7.01	0.62	7.80	0.57
Lb*	31.60 ^a	0.65	31.60 ^a	0.59	29.28 ^b	0.76	30.16 ^{ab}	0.72
ab*	21.01 ^{abc}	0.86	22.64 ^a	0.78	19.01 ^c	1.01	20.72 ^{abc}	0.95
bb*	10.22 ^{ab}	0.51	10.83 ^a	0.46	8.65 ^c	0.59	9.45 ^{abc}	0.56
FC ₇	4.12	0.33	3.83	0.30	4.61	0.38	4.73	0.36
FC ₁₄	3.43	0.23	3.38	0.21	3.73	0.27	3.65	0.26

a,b,c misma letra en la misma fila no difieren significativamente ($P>0.05$). Una letra diferente en la misma fila difieren ($P<0.05$), con más de una letra difieren ($P<0.01$).

La variable con mayor correlación ($P<0.01$) con FC₇ y FC₁₄ fue el grado de rendimiento USDA (**Cuadro 8**). Esto puede ser explicado por el EGS, donde los mayores niveles estarían asociados con los menores valores de FC. En un estudio similar en hembras, a* se correlaciono negativamente ($P<0.05$) con FC₇ y FC₁₄. Todos los coeficientes de correlacion entre el color del musculo y FC fueron negativos. Resultados similares han sido reportados por Wulf et al. (1997), Wulf y Page (2000) y Vote et al. (2003), mostrando que los colores oscuros podrían estar asociados con carnes duras. Vote et al. (2003) reportaron correlaciones moderadas entre a* y FC en 2 experimentos ($r = -0.38$ y -0.40 , $P<0.05$). En este estudio, la correlacion de la madurez del musculo tuvo con FC₇ ($r=0.14$) y FC₁₄ ($r=0.17$) fue baja. En el estudio con hembras, la correlacion ($P<0.01$) entre la madurez del musculo y FC₇ y FC₁₄ fue de 0.38 y 0.47, respectivamente. Estudiando la relación entre los parámetros de color con algunas variables, los mismos se correlacionaron de forma moderada ($P<0.01$) con pH_u, presentando con a* la mayor correlacion ($r=-0.44$). Esto también fue observado en las hembras, donde el coeficiente de correlacion entre a* y pH_u fue -0.47 ($P<0.01$). Ledward et al. (1992) encontraron que la correlacion negativa entre las lecturas del colorímetro y el pH_u, podría ser explicada por la oxigenación de la mioglobina y de la reflectancia de la luz. A un alto pH, la carne sería más oscura por menor cantidad de agua libre para reflejar la luz y se produciría menor oxigenación de la mioglobina en la superficie. Page et al. (2001) también encontraron que el pH afecta el color del musculo, alterando más el color que la luminosidad, L* estaría más relacionado con la madurez muscular ($r=-0.61$, $P<0.01$). Este resultado concuerda con el reportado por Vote et al. (2003) donde encontraron correlaciones entre L* y la madurez muscular en el rango de -0.52 a $-$

0.69 en diferentes experimentos usando las variables de color producidas por el CVS Beefcam. Page et al. (2001) obtuvieron correlaciones simples de -0.58, -0.31 y -0.43 entre la madurez del musculo y los colores del musculo L*, a* y b*, respectivamente. Estas correlaciones fueron similares a los resultados en este estudio sugiriendo la importancia de a* como indicador de la calidad de la carne y especialmente de la ternera.

Cuadro 7. Media de mínimos cuadrados y desvío (DE) estándar para las canales de 6-8 dientes (1: PCC <225, EGS <7mm; 2: PCC <225, EGS ≥7m; 3: PCC ≥225 kg, EGS <7mm y 4: PCC ≥225 kg, EGS ≥7mm)

Variables	1 (n= 9)		2 (n=16)		3 (n=12)		4 (n=12)	
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE
Madurez muscular	153.33	36.25	110.77	24.63	158.00	28.08	125.00	28.08
Madurez esquelética	87.78	23.50	90.00	17.62	90.83	20.34	87.50	20.34
Madurez general	103.33	23.15	93.75	17.36	112.50	20.05	106.67	20.05
Marmoreo	312.22 ^c	22.03	341.25 ^c	16.53	320.00 ^c	19.08	415.00 ^a	19.08
QG	500.00	33.92	568.75	25.44	508.33	29.37	575.00	29.37
pH ₁	6.23 ^{ab}	0.09	6.08 ^b	0.07	6.30 ^a	0.08	6.31 ^a	0.08
pH ₃	6.03	0.09	5.90	0.07	6.10	0.08	6.03	0.08
pH _u	5.86	0.11	5.68	0.09	5.69	0.10	5.67	0.10
T ₁	31.46 ^c	0.83	33.54 ^c	0.64	33.32 ^c	0.72	36.39 ^a	0.72
T ₃	19.63 ^b	1.71	22.17 ^{ab}	1.33	21.57 ^{ab}	1.48	25.24 ^a	1.48
T _u	2.79	0.31	2.82	0.24	2.94	0.27	3.02	0.27
L*	28.69	0.83	30.23	0.65	29.38	0.72	29.75	0.72
a*	19.24	1.19	20.56	0.92	19.52	1.03	21.72	1.03
b*	8.21	1.18	8.93	0.91	9.98	1.02	9.33	1.02
Lb*	29.68	0.91	31.18	0.68	30.21	0.82	30.45	0.79
ab*	21.54	1.34	22.69	1.00	22.59	1.21	23.06	1.16
bb*	9.80	0.77	10.60	0.57	10.10	0.69	10.34	0.66
FC ₇	3.27 ^c	0.31	3.60 ^{bc}	0.24	4.52 ^a	0.27	3.59 ^{bc}	0.27
FC ₁₄	3.07 ^{ab}	0.25	3.07 ^b	0.18	3.69 ^a	0.21	3.20 ^{ab}	0.21

^{a,b,c} misma letra en la misma fila no difieren significativamente (P>0.05). Una letra diferente en la misma fila difieren (P<0.05), con más de una letra difieren (P<0.01).

Cuadro 8. Principales correlaciones simples entre las variables de la canal y las medidas de ternera y color del total de animales

Variable	FC ₇	FC ₁₄	Variable	L*	a*	b*
YG	-0.22 **	-0.22 **	Dentición	-0.44 **	0.23 *	0.01
Madurez muscular.	0.14	0.17 *	MM.	-0.61 **	-0.43 **	-0.32 **
Marmoreo	-0.12	-0.12	QG	0.19 *	0.37 **	0.17
QG	-0.13	-0.15	pH ₁	-0.32 **	-0.25 **	-0.17
L*	-0.19 *	-0.20 *	pH ₃	-0.32 **	-0.22 **	-0.16
a*	-0.47 **	-0.40 **	pH _u	-0.20 *	-0.44 **	-0.32 **
b*	-0.29 **	-0.25 **				

** Significativo al 1%, * al 5%.

Según Pike et al., 1993, para lograr una terneza óptima es necesario producir una tasa intermedia de glicolisis. Jones y Tatum (1994), sin embargo, consideran que las canales con pH₃ < 5.8 producen bifes con mayor terneza. Algunos estudios han mostrado que existe una relación curvilínea entre el pH *post mortem* temprano y la terneza (Hwang y Thompson, 2001; Pike et al., 1993; Marsh et al., 1987); en los mismos se observa que una tasa de descenso de pH intermedia (pH₃= 5.9-6.2) produce la mayor terneza de la carne y la mayor longitud de los sarcómeros. Resultados obtenidos por Marshall y Tatum (1991), citados por Shackelford et al. (1994b), probaron la eficiencia del pH₃ como predictor de la palatabilidad en plantas comerciales de faena y encontraron que la mayor terneza de la carne fue lograda cuando el pH₃ fue menor a 5.8. Sin embargo, en el presente estudio como en el de Shackelford's et al. (1994b) y Eilers et al. (1996), el pH₃ no tuvo una buena correlación con la terneza y no tuvo efecto en agrupar canales por terneza.

Cuando el pH₃ fue usado para seleccionar canales dentro grupos de pH₃ (bajo < 5.8, intermedio 5.8-6.2 y alto >6.2), no se observaron diferencias (P>0.05) en FC₇ y FC₁₄, en las tres categorías de edad (**Cuadro 9**). En el total de canales y en las canales de 4 dientes se encontró una diferencia (P<0.01) en color (L*, a* y b*) entre los tres grupos de pH. Para las canales de 0-2 y 6-8 dientes, hubo diferencias entre el grupo ≤ 6.2 y el en grupo > 6.2 en las 3 medidas de color. El color oscuro de la carne en el grupo de mayor pH₃ fue explicado por la mayor proporción de canales en este grupo donde fueron clasificadas como secas, firmes y oscuras (DFD) (**Cuadro 10**).

Cuadro 9. Media de mínimos cuadrados y error estándar () para cada grupo de pH₃ considerando el total de las canales y los grupos de dentición

pH ₃	Total		0-2 dientes		4 dientes		6-8 dientes	
	FC ₇	FC ₁₄						
<5.8	3.87 (0.20)	3.34 (0.14)	3.70 (0.43)	3.23 (0.32)	4.06 (0.28)	3.42 (0.20)	3.52 (0.33)	3.22 (0.24)
5.8 - 6.2	4.19 (0.15)	3.48 (0.11)	4.27 (0.32)	3.66 (0.24)	4.44 (0.25)	3.57 (0.18)	3.81 (0.19)	3.21 (0.14)
>6.2	3.94 (0.29)	3.42 (0.20)	2.56 (1.09)	2.01 (0.82)	4.17 (0.41)	3.62 (0.29)	3.87 (0.34)	3.40 (0.26)

Sin diferencias significativas (P<0.05)

Cuadro 10. Media de mínimos cuadrados de L*, a* y b* para los grupos de pH₃ considerando el total de las canales y cada grupo de pH.

pH ₃	Total			0 – 2 dientes			4 dientes			6 – 8 dientes		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
<5.8	32.2 ^a	21.0 ^a	9.7 ^a	33.4 ^a	20.8 ^a	10.3 ^a	32.4 ^a	20.9 ^a	9.7 ^a	29.9 ^a	21.6 ^a	9.1 ^a
5.8-6.2	30.6 ^c	19.7 ^b	8.9 ^b	32.7 ^c	19.6 ^a	9.4 ^a	29.6 ^c	18.5 ^c	7.8 ^c	30.4 ^a	21.4 ^a	10.1 ^a
>6.2	26.4 ^e	14.4 ^d	5.6 ^d	26.2 ^c	12.8 ^c	5.5 ^c	26.3 ^e	13.9 ^d	5.4 ^c	26.5 ^c	15.66 ^c	6.07 ^c

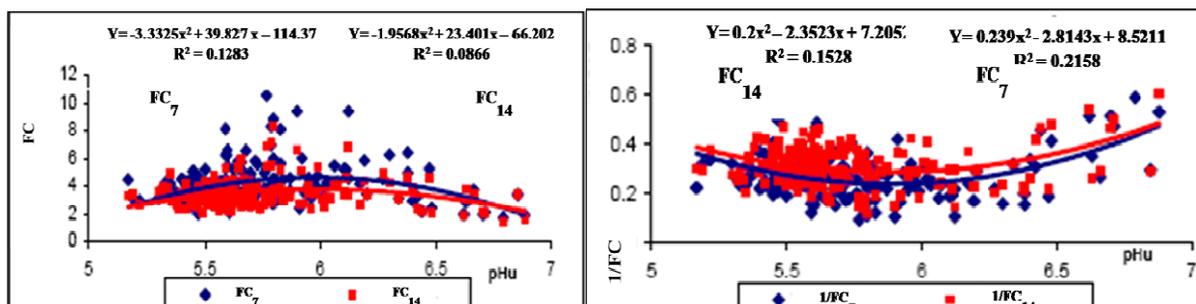
Medias con igual letra en la misma columna no difieren significativamente (P>0.05). Con diferente letra difieren significativamente (P<0.05), con más de una letra difieren muy significativamente (P<0.01).

La relación entre el pH_u y la terneza es controversial. Algunos autores (Bouton et al., 1973; Guignot et al., 1994; Silva et al., 1999) encontraron una relación lineal, mientras que otros (Purchas, 1990; Jeremiah et al., 1991; Purchas y Aungsupakorn, 1993; Wulf et al., 1997) encontraron relaciones curvilíneas con menores ternezas ocurridas en pH de 5.8 y 6.2. Varias hipótesis fueron

propuestas para explicar la relación curvilínea y las razones no han sido adecuadamente explicadas. Yu y Lee (1986) sugirieron que una actividad proteolítica diferencial fue la respuesta en la dureza de la carne para pH de 5.8-6.3. La actividad enzimática es menor con valores de pH final intermedio debido a que este rango cae fuera del pH óptimo de dos sistemas enzimáticos por separado. A valores intermedios de pH, el pH no es óptimo para la actividad de las calpaínas ni para las catepsinas, resultando en menores grados de tiernización de la carne durante la maduración. Ha sido sugerido que la actividad de la enzima lisosomal es la responsable del proceso de tiernización, así como el pH cae de 6 a 5.4 porque el pH óptimo se encuentra en estos rangos. Sin embargo, hay pruebas significativas que en la tiernización *post mortem* hay acumulación de Ca^{2+} (Koochmaraie et al., 1988) y calpaína dependiente (Koochmaraie, 1990; Dransfield, 1993), mientras que la inhibición de la actividad de la enzima lisosomal tiene poco efecto en la terneza, incluso cuando el pH final se encuentra en el menor rango (Koochmaraie et al., 1988). Los diferentes mercados de exportación para Uruguay requieren canales con $pH_u < 5.8$ en el músculo *longissimus dorsi*. Basado en este requisito, se separaron los canales en 3 grupos de pH_u , normal (< 5.8), moderadamente oscuro (MD) (5.8 – 6.2) y DFD (> 6.2).

La relación de FC y pH_u fue algo curvilínea (**Figura 1**). La transformación de los valores de FC a $1/FC$, incrementaron el R^2 para FC_7 y FC_{14} . Una respuesta similar fue reportada por Purchas (1990), Jeremiah et al. (1991) y Purchas et al. (1999).

Figura 1. Respuesta cuadrática entre FC ($1/FC$) y pH_u



El promedio y error estándar de FC_7 y FC_{14} a través de los tres grupos de pH_u en este estudio se presentan en el **Cuadro 11**. El grupo MD tuvo la mayor FC_7 y FC_{14} y fue diferente en terneza a los otros 2 grupos cuando fueron incluidas en el análisis el total de las canales ($P < 0.01$) y las canales de 0-2 dientes ($P < 0.05$). En las canales de 4 dientes, la única diferencia significativa ($P < 0.01$) fue observada entre el grupo MD y DFD. En casi todos los grupos de edad, la FC en el grupo DFD fue la menor (en excepción de las canales de 6-8 dientes). Jeremiah (1991), Lawrie (1992), Dransfield (1994) y Silva et al. (1999) reportaron incrementos de terneza asociados con altos pH_u en la carne. Watanabe et al. (1996) y Beltrán et al. (1997) reportaron una alta tasa de tiernización en los cortes DFD. Una posible explicación puede ser por mayor fragmentación de las miofibrillas y menor pérdida por cocción (mayor capacidad de retención de agua) en cortes DFD que en cortes normales. Esta relación fue confirmada por las medidas de color (L^* , a^* y b^*) para cada grupo de pH_u (**Cuadro 12**).

Cuadro 11. Media de mínimos cuadrados y error estándar () de FC para los grupos de pH_u considerando el total de las canales y cada grupo de pH.

pH ₃	Total		0 – 2 dientes		4 dientes		6 – 8 dientes	
	FC7	FC14	FC7	FC14	FC7	FC14	FC7	FC14
<5.8	3.94 ^c (0.13)	3.34 ^c (0.09)	3.73 ^b (0.28)	3.24 ^b (0.21)	4.19 ^{abc} (0.20)	3.49 (0.14)	3.68 (0.17)	3.16 (0.13)
5.8-6.2	4.79 ^a (0.23)	3.87 ^a (0.17)	5.08 ^a (0.48)	4.28 ^a (0.36)	4.97 ^a (0.36)	4.85 (0.26)	4.13 (0.34)	3.50 (0.25)
>6.2	3.38 ^c (0.33)	3.10 ^c (0.24)	2.56 ^b (1.03)	2.01 ^b (0.77)	3.38 ^c (0.47)	3.16 (0.33)	3.69 (0.46)	3.41 (0.34)

Medias con igual letra en la misma columna no difieren significativamente (P>0.05). Con diferente letra difieren significativamente (P<0.05), con más de una letra difieren muy significativamente (P<0.01).

Cuadro 12. Media de mínimos cuadrados de L*, a* y b* para los grupos de pH_u considerando el total de las canales y cada grupo de pH.

pH ₃	Total			0 – 2 dientes			4 dientes			6 – 8 dientes		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
<5.8	31.7 ^a	21.0 ^a	9.7 ^a	33.9 ^a	20.8 ^a	10.4 ^a	31.4 ^a	20.5 ^a	9.1 ^a	30.5 ^a	21.9 ^a	10.1 ^a
5.8-6.2	28.8 ^c	16.8 ^c	7.1 ^c	29.6 ^c	17.4 ^c	7.2 ^c	28.7 ^c	15.6 ^c	6.6 ^c	28.4 ^c	18.6 ^a	7.9 ^c
>6.2	25.1 ^e	12.6 ^e	4.6 ^e	26.2 ^c	12.8 ^c	5.5 ^d	24.9 ^e	12.8 ^e	4.5 ^c	25.1 ^c	12.3 ^e	4.4 ^e

Medias con igual letra en la misma columna no difieren significativamente (P>0.05). Con diferente letra difieren significativamente (P<0.05), con más de una letra difieren muy significativamente (P<0.01).

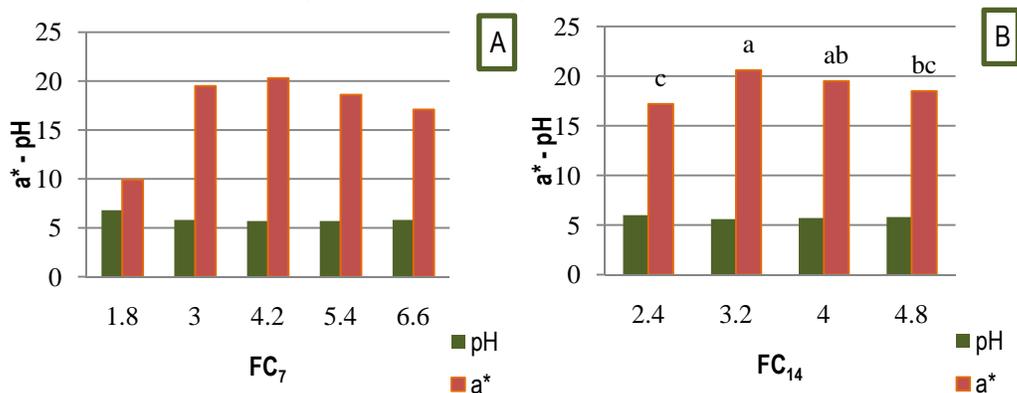
En todos los grupos se observó que las canales de mayor pH_u tenían color oscuro (bajos valores de L*, a* y b*) y estos valores fueron diferentes (P<0.01) a los dos otros grupos de pH_u. El grupo MD fue también diferente (P<0.01) en las lecturas del colorímetro al grupo de bajo pH_u. De los análisis de correlación y la relación entre pH_u, color y FC, la variable a* parece estar más relacionada a la terneza que otras variables. Consistente con la mediana y la media obtenida en este estudio, un umbral de 20 en los valores de a* fue usado para separar canales por terneza. Las canales con a* ≥20 tuvieron menores (P<0.01) valores de FC₇ y FC₁₄ que los grupos de canales con a* <20 (**Cuadro 13**). Estos resultados fueron obtenidos al considerar todas las canales y las canales con pH_u <5.8. Para un mejor entendimiento de la relación entre estas variables, fue realizada una comparación entre las medias de pH_u y a* para diferentes niveles de FC a los 7 y 14 días de maduración (**Figura 2**). Eliminando las canales DFD (pH = 6.8), no se encontraron diferencias (P>0.05) en pH_u cuando se observaron entre los niveles de FC₇ y FC₁₄, pero hubieron diferencias significativas en los promedios de a* cuando la terneza disminuía. En el **Cuadro 14** se muestra el efecto del blooming en los parámetros de color en las diferentes categorías de edad.

Cuadro 13. Media de mínimos cuadrados y error estándar () para los grupos de color del musculo a* en el total de canales y las canales con pH_u<5.8

a*	n	Total		n	pH _u <5.8	
		FC ₇	FC ₁₄		FC ₇	FC ₁₄
< 20	96	4.45 ^a (0.14)	3.62 ^a (0.10)	54	4.63 ^a (0.17)	3.70 ^a (0.14)
≥ 20	78	3.57 ^c (0.16)	3.20 ^c (0.12)	71	3.57 ^c (0.14)	3.16 ^c (0.11)

Medias con letra difieren significativamente (P<0.01).

Figura 2. Respuesta de a^* y pH_u con FC_7 (A) y FC_{14} (B) en el total de canales



Cuadro 14. Media de mínimos cuadrados y error estándar () para el efecto de blooming (1h)

Dentición	L^*	L^* bloom	a^*	a^* bloom	b^*	b^* bloom
0 – 2	32.53 ^a (3.57)	33.32 ^a (3.67)	19.56 ^b (2.98)	22.11 ^a (3.46)	9.44 ^a (2.33)	11.27 ^a (2.63)
4	29.95 ^a (3.19)	30.83 ^a (3.21)	18.45 ^c (3.80)	21.08 ^a (4.27)	7.99 ^c (2.42)	9.94 ^a (2.53)
6 – 8	29.60 ^a (3.57)	30.49 ^a (2.69)	20.34 ^b (3.57)	22.54 ^a (3.91)	9.15 ^b (3.47)	10.27 ^a (2.24)

Medias con igual letra en la misma fila no difieren significativamente ($P>0.05$) para cada variable independiente. Con diferente letra difieren significativamente ($P<0.05$), con más de una letra difieren muy significativamente ($P<0.01$).

En las ecuaciones realizadas para la predicción de la FC, primero fueron incluidas las variables de calidad USDA (**Cuadro 15**) y luego el total de variables consideradas (**Cuadro 16**). La aplicación de los grados de calidad de USDA para novillos uruguayos explico en la mayoría de los casos el 4 a 6 % de la variación de FC_7 y FC_{14} , con la excepción en FC_{14} para el grupo de 6-8 dientes, donde la madurez muscular explico el 21% de su variación. La importancia de la madurez muscular fue también detectada en estudios en canales con hembras en Uruguay, explicando el 15 % de la variación de FC_7 . Vote et al. (2003) reportaron un R^2 parcial para la madurez muscular de 6 y 8 % en la variación de FC_{14} para 2 experimentos diferentes. En este estudio, el marmoreo mostro una baja correlación ($P<0.05$) con FC_7 ($r=-0.12$) y FC_{14} ($r=-0.12$). Wulf et al. (1996) reportaron en un estudio conteniendo en su mayoría canales clasificadas como Select, que no había correlación entre estas variables ($P>0.05$) y Vote et al. (2003) que la escala de marmoreo no explica la variación de FC en estas canales. En el presente estudio al menos el 90 % de las canales fueron clasificadas como Standard y Select y con niveles de marmoreo de Slight y Traces. Estos resultados apoyan tempranas conclusiones en donde la relación de los grados de marmoreo y la FC depende del rango de marmoreo evaluado (Smith et al., 1984).

Cuando el procedimiento de regresión lineal múltiple fue realizado usando todas las medidas para la predicción de FC, la principal variable simple en predecir terneza en el total de canales evaluadas fue a^* . Las lecturas del colorímetro explican por sí solas el 16 a 22 % de la variación de FC_{14} y FC_7 , respectivamente. Una observación similar fue realizada en canales de hembras cuando el valor a^* tenía un R^2 parcial de 0.32 y 0.33 para FC_7 y FC_{14} , respectivamente. Vote et al. (2003) evaluaron canales Choice y Select y encontraron que el a^* proveniente del CVS BeefCam explicaba el 16% de la variación en FC_{14} . En el total de las canales, el parámetro a^* fue seguido por el pH_u y T

(T₁ o T₃). Esto también se observó en canales de 0-2 y 4 dientes, sin embargo, en las de 6-8 dientes, la variación de la ternura se explicó por la combinación de AOB ($r=-0.55$, $P<0.01$), rendimiento USDA y PCC. El 30% de la variación de FC₁₄ se contabilizó únicamente con AOB. Wyle et al. (2003) y Vote et al. (2003) observaron una relación entre AOB y la palatabilidad y sugirieron la posibilidad de identificar por ternura usando el AOB del CVS BeefCam ajustado por el PCC. En este estudio, la clasificación USDA explicó un adicional de 24% en la variación de FC₁₄ en canales de 6-8 dientes.

Cuadro 15. Ecuaciones de regresión múltiple para predecir FC₇ y FC₁₄ usando las variables de calidad USDA para el total del canales y los grupos de 0-2, 4 y 6-8 dientes

FC ₇			FC ₁₄		
Variables independientes	R ²	RMSE	Variables independientes	R ²	RMSE
Total de canales					
Madurez muscular	0.03	1.33	Madurez muscular	0.04	0.97
Madurez muscular, Madurez esquelética	0.06	1.32	Madurez muscular, marmoreo	0.06	0.96
0 – 2 dientes					
No se reunieron variables con 0.2 de nivel de significancia para la entrada del modelo					
4 dientes					
Madurez muscular	0.04	1.57	Madurez esquelética	0.04	1.08
6 – 8 dientes					
Madurez muscular	0.04	0.85	Madurez muscular	0.21	0.57

Los modelos fueron desarrollados usando el procedimiento stepwise. R² = coeficiente de determinación. RMSE = raíz cuadrada media error.

Cuadro 16. Ecuaciones de regresión múltiple para predecir FC₇ y FC₁₄

FC ₇			FC ₁₄		
Variables independientes	R ²	RMSE	Variables independientes	R ²	RMSE
Total de canales					
a*	0.22	1.60	a*	0.16	0.94
a*, pH _u	0.29	1.50	a*, T ₁	0.20	0.90
a*, pH _u , T ₃	0.32	1.45	a*, T ₁ , pH _u	0.24	0.87
			a*, T ₁ , pH _u , EGS	0.26	0.86
0 – 2 dientes					
pH _u	0.11	1.32	a*	0.18	1.63
pH _u , Conformación	0.27	1.14	a*, T ₃	0.26	1.54
4 dientes					
a*	0.31	1.88	a*	0.23	1.00
a*, T ₃	0.42	1.60	a*, T ₁	0.38	0.82
a*, T ₃ , madurez esquelética	0.50	1.43	a*, T ₁ , madurez esquelética	0.43	0.77
a*, T ₃ , madurez esquelética, pH _u	0.53	1.36			
6 – 8 dientes					
pH ₃	0.17	0.63	AOB	0.30	0.29
pH ₃ , YG	0.28	0.56	AOB, USDA	0.54	0.20
pH ₃ , YG, AOB	0.34	0.54	AOB, USDA, PCC	0.58	0.19
			AOB, USDA, PCC, EGS	0.62	0.17

Modelos desarrollados por procedimiento stepwise. R²=coeficiente de determinación. RMSE =raíz cuadrada media error.

Según las variables seleccionadas y considerando el desarrollo de los modelos de predicción de terneza en el total de las canales, fueron realizadas ecuaciones de regresión simple. Se evaluaron dos modelos usando a^* , pH_u y T_3 , determinando R^2 ajustado y RMSE (**Cuadro 17**) en todas las canales y en las canales con $pH_u < 5.8$. Los modelos funcionaron pobremente en las canales de 6-8 dientes, donde otras variables (AOB, USDA, PCC) estuvieron más relacionadas con la variación de FC. En el grupo de 4 dientes, T_3 sumo de 6 a 7% en FC_7 y 11 a 14% en la variación de FC_{14} . Los modelos desarrollados para el presente ensayo fueron:

- $FC_7 = -105.27 - 0.214 (a^*) + 39.797 (pH_u) - 3.477 (pH_u)^2$
- $FC_{14} = -59.21 - 0.129 (a^*) + 22.888 (pH_u) - 2.004 (pH_u)^2$

Una manera de determinar si estos modelos predicen la terneza de las canales según la maduración, es a través de tablas de contingencia, en donde se escoge un umbral de evaluación de FC. La estimación de la precisión se basa en la fracción verdadera positiva (VP: tierna) o correctamente predicho como tierno y la fracción verdadera negativa (VN: dura) o correctamente predicho como duro. La sensibilidad y especificidad representan dos clases de precisión, la primera para los casos realmente positivos y la ultima para los realmente negativos. Ambos son expresados en %. Se utilizaron dos umbrales de FC (4.5 y 3.4 kg de FC) de acuerdo a la literatura. Shackelford et al. (1991) publicaron el primer umbral relacionando los valores de FC con datos del consumidor y reportaron que la transición entre duro y tierno ocurre en 4.5 kg. Esto fue confirmado por Miller et al. (2001) que encontraron un promedio de transición de 4.6 kg. Ambos autores también estudiaron la aceptabilidad del consumo de bifes obteniendo un 99% de consumo aceptable con valores de 3.4 kg. Se seleccionaron cuatro combinaciones, dos umbrales de FC y dos periodos de maduración, para determinar la precisión del modelo en cada uno de los ensayos. Los resultados y sus relaciones se presentan en los **Cuadros 18-19** y **Figura 3**.

Cuadro 17. Ecuaciones de regresión simple para predecir FC_7 y FC_{14}

Variables dependientes Modelo 1 = a^* , pH_u , pH_u^2	FC7		FC14	
	Adj -R ²	RMSE	Adj -R ²	RMSE
Total de canales	0.23	1.31	0.14	0.99
Total de canales con $pH_u < 5.8$	0.23	1.19	0.17	0.93
0-2 dientes	0.17	1.47	0.09	1.20
0-2 dientes con $pH_u < 5.8$	0.25	1.22	0.23	1.07
4 dientes	0.21	1.44	0.13	1.06
4 dientes con $pH_u < 5.8$	0.24	1.36	0.20	0.99
6 – 8 dientes	0.16	0.94	0.08	0.77
6 – 8dientes con $pH_u < 5.8$	-0.07	0.92	-0.10	0.69
Modelo 2 = a^* , pH_u , pH_u^2 , T_3	Adj -R ²	RMSE	Adj -R ²	RMSE
Total de canales	0.24	1.29	0.15	0.99
Total de canales con $pH_u < 5.8$	0.25	1.18	0.18	0.93
0-2 dientes	0.24	1.41	0.11	1.18
0-2 dientes con $pH_u < 5.8$	0.24	1.23	0.20	1.10
4 dientes	0.28	1.38	0.19	1.02
4 dientes con $pH_u < 5.8$	0.38	1.23	0.31	0.92
6 – 8 dientes	0.16	0.94	0.06	0.73
6 – 8dientes con $pH_u < 5.8$	-0.10	0.93	-0.14	0.71

Modelos desarrollados por procedimiento de regresión simple. R^2 =coeficiente de determinación. RMSE =raíz cuadrada media error.

Cuadro 18. Tablas de contingencia para la predicción de FC₇ usando el total de las canales

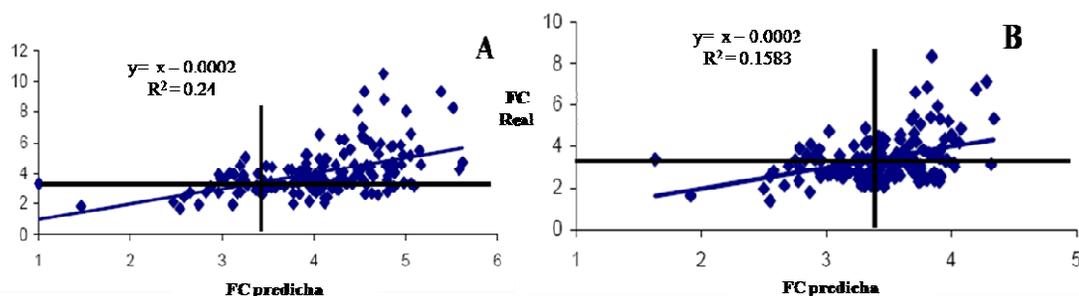
FC = 4.5 kg (n=163)		FC = 3.4 kg (n=163)	
VP n = 98	VN n=27	VP n = 17	VN n=27
60.12 %	16.56 %	10.43 %	55.83 %
FN n = 22	FP n=16	FN n = 44	FP n=11
13.50 %	9.82 %	27.00 %	6.74 %
Precisión = 76.68% (VP + VN)		Precisión = 66.26 % (VP + VN)	
Sensibilidad = 81.66 % [VP/(VP+FN)]		Sensibilidad = 27.87 % [VP/(VP+FN)]	
Especificidad = 62.77 % [VN/(FP+VN)]		Especificidad = 89.23 % [VN/(FP+VN)]	

Cuadro 19. Tablas de contingencia para la predicción de FC₁₄ usando el total de las canales

FC = 4.5 kg (n=163)		FC = 3.4 kg (n=163)	
VP n = 144	VN n=0	VP n = 144	VN n=27
88.34 %		88.34 %	
FN n = 0	FP n=19	FN n = 0	FP n=11
	11.66 %		11.66 %
Precisión = 88.34 % (VP + VN)		Precisión = 60.74 % (VP + VN)	
Sensibilidad = 100.00 % [VP/(VP+FN)]		Sensibilidad = 53.13 % [VP/(VP+FN)]	
Especificidad = 0.00 % [VN/(FP+VN)]		Especificidad = 71.64 % [VN/(FP+VN)]	

La precisión para ambos periodos de maduración fue mejor cuando se consideraron umbrales de 4.5 kg. Con un umbral de 3.4 kg, la precisión fue moderada (61 y 66% para FC₁₄ y FC₇, respectivamente). La especificidad (72 y 89% para FC₁₄ y FC₇, respectivamente) fue mayor a la sensibilidad, mostrando que el modelo fue mejor en identificar bifes tiernos.

Figura 3. Relación entre FC₇ real y predicha (A) y FC₁₄ real y predicha (B) (las líneas horizontales y verticales corresponden a FC = 3.4 kg) (Modelo: $y = x - 0.0002$, $R^2 = 0.21$)



Consideraciones

Este estudio intento dar a la cadena cárnica Uruguaya un primer conocimiento de selección de canales en términos de pH, temperatura y color. La población estudiada fue seleccionada por representar la faena de novillos en Uruguay, estratificado por edad. Para estos animales, las medidas objetivas de color, específicamente a*, fueron efectivamente predictores de FC, explicando el 22 de la variación de FC₇ y el 16 % de FC₁₄. Sin embargo, la predicción para FC en canales de 6-8 dientes fue mejor usando otras variables como pH₃ y AOB. La adición de los estándares de grado de

calidad USDA al sistema de clasificación de canales en Uruguay no contribuyo a mejorar la efectividad de seleccionar canales con mejor terniza, con la excepción de la predicción de FC₁₄ en canales de 6-8 dientes. Basados en estos descubrimientos y en la capacidad de aplicarlos de manera practica en la industria cárnica Uruguaya, parece que el pH_u y a* medidos en el cuarteo podrían ser útiles en la selección por terniza, dependiendo del umbral de FC definido.

B. Predicción y selección por terneza de canales de novillos uruguayos en dos plantas frigoríficas bajo condiciones comerciales usando las características de los canales post mortem, pH, temperatura y lecturas del colorímetro

Resultados y discusión

Los promedios y desvíos estándar obtenidos de las variables consideradas en el presente estudio se muestran en el **Cuadro 20**.

Cuadro 20. Promedio y desviación estándar de cada ensayo para el total de canales de novillos

Variables	Media	DE
Conf.	3.10	0.48
Terminación	1.78	0.47
Dentición	3.79	1.92
PCC	243.15	28.73
EGS	6.24	3.90
AOB	57.17	8.17
pH ₁	6.23	0.32
pH ₃	5.95	0.27
pH _u	5.67	0.26
T ₁	35.05	3.11
T ₃	23.18	3.94
T _u	4.33	3.13
L*	32.19	3.20
a*	20.24	3.40
b*	9.47	2.58
Lb*	33.21	3.22
ab*	22.32	3.74
bb*	11.13	2.59
FC ₇	4.83	1.94
FC ₁₄	4.14	1.59

Se observaron diferencias significativas en la FC en cada una de las plantas evaluadas ($P < 0.01$, **Cuadro 21**) y en la interacción PP x dentición ($P < 0.05$, **Cuadro 22**). La diferencia en terneza podría estar relacionada al PCC y EGS, ya que en la PP₁ los canales fueron más pesados ($P < 0.01$) y con mayor engrasamiento ($P < 0.01$) que en PP₂. Shackelford et al. (1994a), mostraron que en canales con un mismo grado de marmoreo (Select), la FC fue mayor (5.58 vs. 5.32 kg, $P < 0.01$) y los resultados del panel sensorial menores (4.82 vs. 4.99, $P < 0.01$) en canales con menor engrasamiento (< 5 mm) que en canales más engrasadas (≥ 5 mm), sin embargo concluyeron que las diferencias fueron pequeñas y que un nivel adicional de grasa ≥ 5 mm en el grupo Select no mejoraría significativamente la terneza. En este estudio, la raza no fue tomada en cuenta, pero la incidencia de cruza *Bos indicus* fue mayor en PP₂ que en PP₁, y esto podría explicar parcialmente las diferencias en terminación y terneza. Las canales evaluadas en PP₂ tenían mayor T₃, T_u, L*, a* y b* ($P < 0.01$) y menor pH_u ($P < 0.01$) que las canales en PP₁. Las diferencias en el proceso de frío entre las plantas podrían explicar estos resultados. Para todas las combinaciones de PP x dentición, FC₇ y FC₁₄ fueron diferentes ($P < 0.01$) entre PP. La misma tendencia fue observada en todas las variables para cada PP, aunque los niveles de significancia varían.

Cuadro 21. Media y desviación estándar de las variables con diferencia significativa entre plantas

Variables	PP1		PP2	
	Media	DE	Media	DE
Dentición	4.00 ^a	0.12	3.53 ^b	0.14
PCC	246.42 ^a	1.78	238.82 ^b	2.05
EGS	6.99 ^a	0.24	5.26 ^c	0.27
AOB	54.52 ^c	0.49	60.78 ^a	0.58
pH_u	31.48 ^c	0.02	5.60 ^c	0.02
T₃	22.44 ^c	0.16	24.15 ^a	0.28
T_u	2.74 ^c	0.16	6.42 ^a	0.18
L*	31.485 ^c	0.20	33.11 ^a	0.22
a*	19.43 ^c	0.21	21.27 ^a	0.24
b*	8.75 ^c	0.16	10.39 ^a	0.18
FC₇	3.87 ^c	0.17	5.74 ^a	0.19
FC₁₄	3.60 ^c	0.15	4.79 ^a	0.17

^{a,b,c} misma letra en la misma fila no difieren significativamente ($P>0.05$). Una letra diferente en la misma fila difieren ($P<0.05$), con más de una letra difieren ($P<0.01$).

Cuadro 22. Media de mínimos cuadrados y desvío estándar () para las variables medidas por planta de fauna por grupo de dentición

PP	0-2 dientes (n= 154)		4 dientes (n=206)		6-8 dientes (n=89)	
	1 (n=80)	2 (n=74)	1 (n=123)	2 (n=83)	1 (n=53)	2 (n=36)
PCC	237.08 (3.09)	234.08 (3.21)	245.80 (2.49)	238.13 (3.03)	261.96 ^a (3.79)	250.17 ^b (4.60)
AOB	56.10 ^c (0.94)	61.57 ^a (0.97)	54.3 ^c (0.69)	59.92 ^a (0.83)	53.05 ^c (1.04)	61.51 ^a (1.38)
AOB/PCC	12.11 ^c (0.17)	13.09 ^a (0.18)	11.14 ^c (0.13)	12.63 ^a (0.16)	10.20 ^c (0.19)	12.17 ^a (0.26)
EGS	7.21 ^a (0.42)	4.89 ^c (0.44)	6.41 ^a (0.34)	5.27 ^b (0.42)	8.00 ^a (0.52)	5.99 ^b (0.63)
T₃	22.93 ^c (0.43)	25.04 ^a (0.44)	22.17 (0.35)	23.00 (0.42)	22.31 ^c (0.53)	24.95 ^a (0.63)
T_u	2.11 ^c (0.28)	5.43 ^a (0.29)	2.97 ^c (0.23)	6.70 ^a (0.27)	3.18 ^c (0.34)	7.81 ^a (0.41)
pH_u	5.69 (0.03)	5.62 (0.03)	5.74 ^c (0.02)	5.61 ^a (0.03)	5.70 ^b (0.03)	5.57 ^a (0.04)
L*	33.45 (0.34)	32.72 (0.34)	30.95 ^c (0.27)	33.36 ^a (0.32)	29.84 ^c (0.41)	3.34 ^a (0.49)
a*	19.48 ^c (0.37)	22.14 ^a (0.38)	18.99 ^c (0.30)	20.50 ^a (0.36)	20.38 ^c (0.45)	21.27 ^a (0.54)
b*	19.48 ^c (0.37)	22.14 ^a (0.38)	18.99 ^c (0.30)	20.50 ^a (0.36)	20.38 ^c (0.45)	21.27 ^a (0.54)
FC₇	3.85 ^c (0.19)	6.12 ^a (0.20)	4.27 ^c (0.16)	5.39 ^a (0.19)	3.76 ^c (0.24)	6.16 ^a (0.28)
FC₁₄	3.57 ^c (0.17)	5.06 ^a (0.17)	3.84 ^c (0.13)	4.52 ^a (0.17)	3.44 ^c (0.20)	5.03 ^a (0.29)

^{a,b,c} misma letra en la misma fila no difieren significativamente ($P>0.05$). Una letra diferente en la misma fila difieren ($P<0.05$), con más de una letra difieren ($P<0.01$).

En el **Cuadro 23**, se observa que la T_u fue la variable más relacionada con FC_7 ($r=0.43$, $P<0.01$) y FC_{14} ($r=0.44$, $P<0.01$). Esto es probable, debido a las diferencias en el proceso de enfriamiento entre PP_1 y PP_2 , donde las canales de PP_1 fueron más pesadas, engrasadas y con menor T_u que las canales de PP_2 . En este estudio, T_3 también presentó correlaciones bajas a moderadas con FC_7 ($r=0.16$, $P<0.01$) y FC_{14} ($r=0.27$, $P<0.01$). La literatura muestra diferentes resultados en esta relación. Shackelford et al. (1994b) no observaron relación ($r=0.06$) entre T_3 (24.06°C) y FC_{14} (5.61 kg), mientras que Jones y Tatum (1994) reportaron un $r=-0.11$ entre T_3 y FC_{14} . Lochner et al. (1980) encontraron que la correlación entre la temperatura y el panel sensorial de terneza incrementa en forma progresiva en cortos periodos *post mortem* considerados, ocurriendo el mayor aumento entre 2 y 4 horas *post* faena ($r=0.78$ y 0.76 , respectivamente). No se encontraron correlaciones entre pH_u y FC_7 ($r=-0.07$) y FC_{14} ($r=-0.05$). Sin embargo fue reportado por varios autores correlaciones bajas a moderadas ($r=0.08$ a 0.29) (Jones y Tatum, 1994; Eilers et al., 1996; Wulf et al., 1997; Wulf y Page, 2000). Dentro de los parámetros de color, b^* presentó correlaciones bajas a moderadas ($P<0.01$) con ambas FC. La correlación positiva entre b^* y FC no concuerda con resultados previos en hembras ($r=-0.35$ en FC_7 y -0.39 FC_{14}) y machos ($r=-0.17$ y -0.13 , para FC_7 y FC_{14} , respectivamente) en PP_1 , donde el coeficiente de correlación fue negativo. Wulf et al. (1997) y Vote et al. (2003) también encontraron correlaciones negativas entre ambas variables en el rango de -0.12 a -0.38 , utilizando b^* de CVS BeefCam. Relacionado con el color del musculo, los resultados confirman previos hallazgos sobre la relación entre pH_u y las lecturas del colorímetro (principalmente a^* y b^*). Wulf y Wise (1999) y Page et al. (2001) indicaron que la madurez muscular esta mas asociada con la luminosidad, mientras que el pH del musculo afecta los tonos de color o el color a^* y b^* . En este estudio, T_u y T_3 tuvieron correlaciones moderadas con las lecturas del colorímetro, con la mayor correlación ($r=0.42$) entre T_u y b^* .

Cuadro 23. Principales correlaciones simples entre las variables de la canal y las medidas de terneza y color del total de animales

Variable	FC_7	FC_{14}	Variable	L^*	a^*	b^*
AOB	0.25 **	0.25 **	PCC	-	0.13 **	0.13 **
pH₁	0.23 **	0.27 **	AOB	0.29 **	0.24 **	0.26 **
pH₃	0.16 **	0.14 **	pH₃	-0.29 **	-0.33 **	-0.22 **
T₃	0.16 **	0.27 **	pH_u	-0.59 **	-0.66 **	-0.59 **
T₁	0.43 **	0.44 **	T₃	0.24 **	0.28 **	0.29 **
b*	0.16 **	0.18 **	T₁	0.29 **	0.26 **	0.42 **

** Significativo al 1%, * al 5%.

Al igual que en el trabajo previo, en este estudio la menor FC fue obtenida en el grupo de canales con $pH_3 < 5.8$ (**Cuadro 24**). Dentro de los parámetros de color, el pH_3 mostro la mayor correlación con a^* . Cuando todas las canales fueron analizadas, el grupo de $pH > 6.2$ tuvo el color de a^* más oscuro ($P<0.01$), primariamente asociado con canales DFD. Cuando las canales con $pH_u > 5.8$ fueron eliminadas, no se encontraron diferencias ($P>0.05$) en a^* entre los grupos de pH_3 .

La respuesta observada entre pH_u y FC_7 FC_{14} tuvo bajo R^2 usando una ecuación de segundo orden ($R^2=0.04$ y 0.003 para FC_7 y FC_{14} , respectivamente), y mayores valores de FC fueron obtenidos en el rango de pH_u 5.8 - 6.2 (**Figura 4**). El incremento de terneza encontrado cuando el pH_u aumenta de 6 a 7 fue atribuido a la mayor actividad de las calpaínas, que es máxima cuando el pH es neutro. La respuesta observada entre FC y pH_u , y los grupos de pH_u se presentan en el

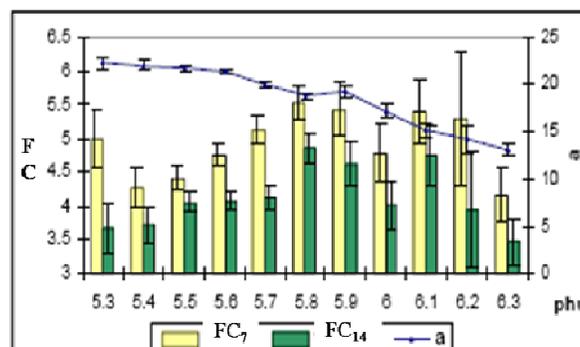
Cuadro 25. La distribución del total de canales por grupo en cada PP mostro que el 73-89 % se encontraba en el grupo N, el 11-20% en el grupo MD y tan solo el 4-7% en el DFD (PP₂ tenía solo una canal con pH_u>6.2). El grupo MD presentó los bifés más duros para ambas FC. Para FC₇, el grupo de canales MD fue diferente significativamente (P<0.01) a los otros dos grupos, para el total de canales en PP₁. Para FC₁₄, el mismo grupo fue el único diferente (P<0.01) de DFD, en todas las canales en PP₁. No se encontraron diferencias (P>0.05) en FC entre grupos de pH_u en PP₂. La mayor correlacion fue encontrada entre el pH_u y las lecturas del colorímetro, principalmente en a* (r=-0.66) (**Figura 5**). El grupo N presento mayores valores promedio de a* de 20, seguido por el grupo MD con valores de a* entre 17 y 18. El grupo N fue diferente en a* (P<0.01) con el grupo MD, para todos los escenarios. El grupo DFD presentó el color más oscuro (a* = 13 o menor). De acuerdo a esta información y con los estadísticos básicos (media y mediana), un umbral de 20 para a* fue usado para observar si a* presenta diferencias en FC (**Cuadro 26**). Las canales con valores de a* < 20 tenían mayor FC₇ (P<0.01) y FC₁₄ (P<0.05) que las canales con valores a* ≥ 20, cuando todas las canales y con las canales con pH_u < 5.8 fueron consideradas (incluyendo ambas PP). La respuesta fue observada en un estudio previo conducido en PP₁ con canales de hembras o machos. Estudiando la respuesta del pH_u y a* con el incremento del FC (para FC₇ y FC₁₄, respectivamente), aparece que para todas las canales, ni el pH_u ni a* podrían diferenciar las canales por niveles de ternesa.

Cuadro 24. Media de mínimos cuadrados y error estándar () entre cada grupo de pH₃ y FC y a* para el total de canales y las canales con pH_u <5.8

pH ₃	Total			pH _u <5.8		
	FC ₇	FC ₁₄	a*	FC ₇	FC ₁₄	a*
<5.8	4.35 ^c (0.16)	3.72 ^c (0.14)	21.23 ^a (0.29)	4.38 ^d (0.16)	3.72 ^c (0.14)	21.23 (0.29)
5.8 - 6.2	4.92 ^a (0.11)	4.23 ^a (0.09)	20.27 ^c (0.20)	4.95 ^a (0.12)	4.25 ^a (0.11)	20.04 (0.19)
>6.2	5.37 ^a (0.21)	4.52 ^a (0.18)	18.56 ^d (0.37)	5.93 ^a (0.28)	4.93 ^a (0.24)	20.80 (0.40)

Medias con igual letra en la misma columna no difieren significativamente (P>0.05). Con diferente letra difieren significativamente (P<0.05), con más de una letra difieren muy significativamente (P<0.01).

Figura 4. Respuesta de FC₇, FC₁₄ y a* con pH_u en el total de canales

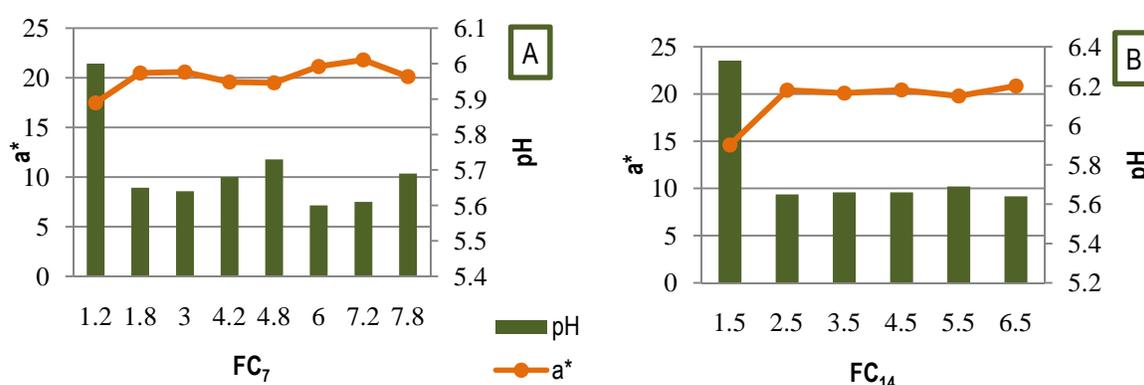


Cuadro 25. Media de mínimos cuadrados y error estándar () entre los grupos de pH y FC y a*

pH ₃	Total			PP ₁			PP ₂		
	FC ₇	FC ₁₄	a*	FC ₇	FC ₁₄	a*	FC ₇	FC ₁₄	a*
<5.8	4.75 ^c (0.09)	4.09 ^{bc} (0.08)	21.12 ^a (0.14)	3.87 ^c (0.10)	3.65 ^{abc} (0.09)	20.65 ^a (0.17)	5.80 (0.16)	4.74 (0.15)	21.73 ^a (0.24)
5.8- 6.2	5.39 ^a (0.20)	4.57 ^a (0.18)	17.57 ^c (0.33)	4.77 ^a (0.19)	3.98 ^a (0.17)	17.24 ^c (0.33)	5.93 (0.45)	5.54 (0.39)	17.87 ^c (0.68)
>6.2	4.15 ^c (0.40)	3.47 ^c (0.34)	1310 ^d (0.62)	3.38 ^c (0.32)	3.10 ^c (0.28)	12.61 ^e (0.53)	4.47 (2.06)	2.57 (1.81)	14.43 ^{bc} (3.09)

Medias con igual letra en la misma columna no difieren significativamente (P>0.05) para cada variable independiente. Con diferente letra difieren significativamente (P<0.05), con más de una letra difieren muy significativamente (P<0.01).

Figura 5. Respuesta del parámetro a* y pH_u con FC₇ (A) y FC₁₄ (B) para el total de novillos



Cuadro 26. Media de mínimos cuadrados y error estándar () entre FC y color (a*) para el total de las canales y las canales con pH_u < 5.8

a*	n	Total			PP ₁			
		FC ₇	FC ₁₄	pH _u	FC ₇	FC ₁₄	pH _u	
< 20	198	5.18 ^a (0.12)	4.32 ^a (0.11)	5.81 ^a (0.02)	124	5.35 ^a (0.16)	4.39 ^a (0.14)	5.64 ^a (0.01)
≥ 20	251	4.55 ^c (0.11)	3.99 ^b (0.10)	5.56 ^c (0.01)	241	4.62 ^c (0.11)	4.03 ^c (0.10)	5.54 ^c (0.01)

Medias con igual letra en la misma columna no difieren significativamente (P>0.05), con más de una letra difieren muy significativamente (P<0.01).

En el **Cuadro 27** se presentan las ecuaciones de predicción realizadas en el total de las canales y para cada planta de faena, y en el **Cuadro 28** para las canales con un pH < 5.8. Jeremiah et al. (1991) reportaron bajos coeficientes de determinación en canales de novillos (R²= 0.07) cuando fue incluido en el modelo el pH_u y medidas de color. Sin embargo, Wulf et al. (1997) encontraron un R² de 0.20 usando L*, a* y b* y el pH_u. Considerando el total de las canales, el R² del modelo de FC₇ fue bajo y a* representó solo el 6% de la variación de la terneza (**Cuadro 27**). Para FC₁₄, el pH₁ representó el 23 % de la variación, seguido por a* y T_u en las canales con pH_u<5.8 (**Cuadro 28**) y el 11% de la variación cuando se analizaron todas las canales (**Cuadro 27**).

Cuadro 27. Ecuaciones de regresión múltiple para predecir FC₇ y FC₁₄ en el total de canales en cada planta de faena

FC ₇			FC ₁₄		
Variables independientes	R ²	RMSE	Variables independientes	R ²	RMSE
Total de canales					
T _u	0.18	1.81	T _u	0.20	1.49
T _u , AOB	0.21	1.77	T _u , T ₁	0.23	1.46
T _u , AOB, pH ₁	0.24	1.75	T _u , T ₁ , dentición	0.25	1.45
T _u , AOB, pH ₁ , dentición	0.26	1.73	T _u , T ₁ , dentición. L*	0.27	1.42
T _u , AOB, pH ₁ , dentición, L*	0.27	1.71	T _u , T ₁ , dentición. L*, AOB	0.28	1.41
PP1					
a*	0.06	1.32	pH ₁	0.11	1.19
a*, pH _u	0.11	1.14	pH ₁ , AOB	0.15	1.17
a*, pH _u , AOB	0.13	1.35	pH ₁ , AOB, pH ₃	0.17	1.15
			pH ₁ , AOB, pH ₃ , a*	0.19	1.14
PP2					
pH ₁	0.16	1.92	T ₃	0.14	1.78
pH ₁ , dentición	0.18	1.90	T ₃ , pH ₁	0.17	1.75
pH ₁ , dentición, L*	0.19	1.89	T ₃ , pH ₁ , pH _u	0.21	1.72
pH ₁ , dentición, L*, b*	0.21	1.87	T ₃ , pH ₁ , pH _u , T ₁	0.24	1.69

Modelos desarrollados por procedimiento stepwise. R²=coeficiente de determinación. RMSE = raíz cuadrada media error.

Cuadro 28. Ecuaciones de regresión múltiple para predecir FC₇ y FC₁₄ en el total de canales con pH_u< 5.8 en cada planta de faena

FC ₇			FC ₁₄		
Variables independientes	R ²	RMSE	Variables independientes	R ²	RMSE
Total de canales					
T _u	0.19	1.84	T _u	0.20	1.53
T _u , pH ₁	0.25	1.77	T _u , pH ₁	0.25	1.77
T _u , pH ₁ , pH _u	0.28	1.73	T _u , pH ₁ , dentición	0.29	1.44
T _u , pH ₁ , pH _u , AOB	0.31	1.71	T _u , pH ₁ , dentición, pH _u	0.33	1.41
T _u , pH ₁ , pH _u , AOB, L*	0.33	1.69	T _u , pH ₁ , dentición, pH _u , L*	0.34	1.39
PP1					
a*	0.19	1.21	pH ₁	0.23	1.14
a*, pH ₃	0.23	1.19	pH ₁ , a*	0.25	1.13
a*, pH ₃ , pH _u	0.25	1.18	pH ₁ , a*, T _u	0.29	1.10
a*, pH ₃ , pH _u , L*	0.26	1.17	pH ₁ , a*, T _u , AOB	0.32	1.08
a*, pH ₃ , pH _u , L*, pH ₁	0.27	1.17	pH ₁ , a*, T _u , AOB, pH _u	0.33	1.07
PP2					
pH ₁	0.16	1.94	T ₃	0.14	1.80
pH ₁ , dentición	0.16	1.92	T ₃ , pH ₁	0.19	1.76
pH ₁ , dentición, pH _u	0.21	1.90	T ₃ , pH ₁ , pH _u	0.26	1.76
pH ₁ , dentición, pH _u , b*	0.22	1.89	T ₃ , pH ₁ , pH _u , T ₁	0.30	1.65

R² = coeficiente de determinación. RMSE = raíz cuadrada media error.

En PP₂, las primeras variables con niveles significativos fueron pH₁ para FC₇ (R² parcial de 0.16) y T₃ para FC₁₄ (R² parcial de 0.16). Shackelford et al. (1994b) no encontraron relación entre T₃ y FC₇, sin embargo, Lochner et al. (1980) reportaron que la terneza dependía en gran medida de la temperatura *post mortem* temprana (2-4 h). Estos autores apoyan esta conclusión debido a que los bajos grados de terminación pueden contrarrestarse mediante la alteración de las condiciones de frío en el periodo *post mortem* temprano, y un menor proceso riguroso de enfriamiento temprano usualmente resulta en una mejora de la terneza. Basado en la información obtenida en los **Cuadros 24 y 25** y en la aplicación práctica, el modelo fue construido para predecir FC con las siguientes variables: dentición, AOB, pH_u, T_u, L*, a* y b*:

- $FC_7 = 13.77 - 0.188\text{dentición} + 0.05\text{AOB} - 1.04 \text{pHu} + 0.275\text{T}_u - 0.165 \text{L}^* - 0.07\text{a}^* + 0.08\text{b}^*$
- $FC_{14} = 7.94 - 0.161 \text{dentición} + 0.03 \text{AOB} - 0.37 \text{pHu} + 0.23 \text{T}_u - 0.108\text{L}^* - 0.07\text{a}^* + 0.08\text{b}^*$

Este modelo mostro un R² ajustado (R² aj) similar en FC₇ y FC₁₄ (**Cuadro 29**). Cuando las canales con pH_u > 5.8 no fueron consideradas, se observo un incremento de 5% en el R² aj para ambas predicciones. Estas variables contribuyen en una mejor explicación de la variación de la terneza en PP₁ que en PP₂, considerando únicamente las canales con pH_u < 5.8 resultando en una mejor predicción de terneza (mayor R² aj) que el análisis con todas las canales (R² aj = 0.22 - 0.28 vs. 0.10 - 0.17, respectivamente para cada periodo de maduración, 7 y 14 días).

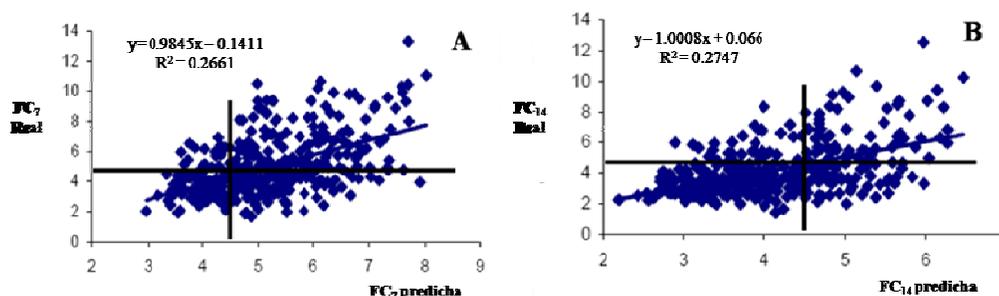
Cuadro 29. Ecuaciones de regresión simple para predecir FC₇ y FC₁₄ usando las variables seleccionadas por stepwise para el total de canales

Variables dependientes Modelo 1 = dentición, AOB, pH _u , T _u , L*, a*, b*	FC ₇		FC ₁₄	
	Adj -R ²	RMSE	Adj -R ²	RMSE
Total de canales	0.25	1.72	0.26	1.43
Total de canales pH _u < 5.8	0.30	1.71	0.31	1.42
PP1	0.10	1.36	0.17	1.15
PP1 pH _u < 5.8	0.22	1.19	0.28	1.10
PP2	0.12	1.95	0.20	1.72
PP2 pH _u < 5.8	0.11	1.98	0.21	1.72

Los modelos fueron desarrollados usando el procedimiento de regresión simple. R² = coeficiente de determinación. RMSE = raíz cuadrada media error.

Este modelo aplicado en PP₂ tuvo, en general, pobre performance, con mayor R² aj para FC₁₄ que para FC₇. La relación entre FC real (para ambos tiempos de maduración) y FC predicho usando el modelo mencionado se presenta en la **Figura 6**. El R² en ambas predicciones fue de 0.27. Las líneas horizontales y verticales para un umbral de 4.5 kg se elaboraron para visualizar el grado de predicción y las tablas de contingencia.

Figura 6. Relación entre FC₇ real y predicha (A) y FC₁₄ real y predicha (B) (las líneas horizontales y verticales corresponden a FC = 4.5 kg) (Modelo: dentición, AOB, T_u, L*, a*, b*)



Las tablas de contingencia realizadas en este estudio se presentan en los Cuadros 30 – 31.

Cuadro 30. Tablas de contingencia para la predicción de FC₇ usando el total de las canales

FC = 4.5 kg (n=380)		FC = 3.4 kg (n=380)	
VP n = 87	VN n=164	VP n = 3	VN n=294
22.90 %	43.16 %	0.80 %	77.36 %
FN n = 106	FP n=23	FN n = 82	FP n=1
27.90 %	6.04 %	21.58 %	0.26 %
Precisión = 66.06 % (VP + VN)		Precisión = 78.16 % (VP + VN)	
Sensibilidad = 45.08 % [VP/(VP+FN)]		Sensibilidad = 3.57 % [VP/(VP+FN)]	
Especificidad = 87.72 % [VN/(FP+VN)]		Especificidad = 99.67 % [VN/(FP+VN)]	

Cuadro 31. Tablas de contingencia para la predicción de FC₁₄ usando el total de las canales

FC = 4.5 kg (n=380)		FC = 3.4 kg (n=380)	
VP n = 216	VN n=72	VP n = 62	VN n=198
56.70 %	18.90 %	16.27 %	51.97 %
FN n = 52	FP n=41	FN n = 84	FP n=37
13.65 %	10.75 %	22.05 %	9.71 %
Precisión = 75.60 % (VP + VN)		Precisión = 68.24 % (VP + VN)	
Sensibilidad = 80.60 % [VP/(VP+FN)]		Sensibilidad = 42.46 % [VP/(VP+FN)]	
Especificidad = 63.74 % [VN/(FP+VN)]		Especificidad = 84.26 % [VN/(FP+VN)]	

En este estudio se observa la dependencia en el umbral usado. Para FC₇, la precisión fue mejor usando un umbral de 3.4 kg. En ambos umbrales, la precisión podría ser obtenida por especificidad (VN: alto % de bifos duros). Las tablas de contingencia para la predicción de FC₁₄ presentaron mayor precisión (75.6%) cuando los umbrales fueron de 4.5 que cuando fueron de 3.4 kg (68.24%). En este caso, la sensibilidad (fracción positiva) fue más precisa que la especificidad para umbrales de 4.5 kg, y en contraste, la especificidad fue más precisa para un punto crítico de 3.4 kg.

Consideraciones

La evaluación de las características de la canal, pH, temperatura y color fueron predictores potenciales de la terneza en las condiciones comerciales en dos plantas de faena. La variable

individual que mejor explicó la variación de la terneza en el total de las canales fue la temperatura final. Se encontraron diferencias en terneza en las plantas de faena, sin embargo los efectos de la temperatura podrían confundir los valores de terneza final con los diferentes tipos de animales (razas y grado de terminación) que fueron procesadas en cada planta. La adición de otras variables como el pH, color y AOB incremento la precisión de seleccionar canales dentro de grupos de terneza. La efectividad de las lecturas del colorímetro en separar las canales por terneza en este estudio no fueron aceptables, aunque en otros escenarios el color del músculo podría ser un punto de control crítico en el proceso de garantizar la terneza del bife.

Conclusiones finales

De acuerdo a los resultados obtenidos en los diferentes estudios para predicción de la terneza, con diferentes períodos de maduración, validando tecnologías en las cuales los parámetros de color constituirían la variable principal para este fin, los modelos no permiten establecer garantías para lograr el fin. Deberían realizarse nuevas investigaciones en la mejora del entendimiento de la relación entre la curva de descenso de pH, color y terneza, como en el efecto de otros componentes (biotipos, grados de terminación, edad) para determinar si se podrían realizar métodos predictivos precisos y no invasivos de la terneza en el Uruguay, y de esta forma identificar por niveles de terneza bajo condiciones comerciales. . Se debería determinar la aplicación de estas metodologías en los programas emergentes de carne con marca, para mejorar la palatabilidad y consistencia del producto.

Literatura Citada

- AMSA. (1995). Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation and Instrumental Tenderness Measurements of Fresh Meat. Am. Meat Sci. Assoc. and Natl. Live Stock and Meat Board, Chicago, IL.
- Belk, K.E., J.A. Scanga, A.M. Wyle, D.M. Wulf, J.D. Tatum, J.O. Reagan, and G.C. Smith 2000. The use of video image analysis and instrumentation to predict beef palatability Proc. Recip. Meat Conf. 53:10-15.
- Beltrán, J.A., I. Jaime, P. Santolaria, C. Sañudo, P. Albertí, and P. Roncalés. 1997. Effect of stress-induced high post-mortem pH on protease activity and tenderness beef. Meat. Sci. 45(2):201-207.
- Bouton, P.E., Carroll, F.D. Harris, P.V., Shorthose. W.R. 1973. Influence of pH and fiber contraction state upon factors affecting the tenderness of bovine muscle. J. Food Sci.38:404-407.
- Bowling, R.A., G.C. Smith, T.R. Dutson, Z.L. Carpenter, and W.M. Oliver. 1977. Comparison of beef finished on forage versus grain. J. Anim. Sci. 45:209-215.
- C.I.E., 1986. Colorimetry (2nd ed.) Commission International de l'Éclairage, Publication CIE 15.2. Vienna: CIE.
- Dransfield, E. 1993. Modelling post-mortem tenderization-IV: Role of calpains and calpastatin in conditioning. Meat Sci. 34:217-234.
- Dransfield, E. 1994. Tenderness of meat, poultry and fish. In A.M. Pearson and T.R. Dutson (Eds), Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. Advances in meat research series vol. 9 (pp. 289-315). London: Blackie Academic and Professional.
- Eilers, J.D., J.D. Tatum, J.B. Morgan, and G.C. Smith. 1996. Modification of early- postmortem muscle pH and use of postmortem aging to improve beef tenderness. J. Anim. Sci. 74:790-798.
- French, P., O'Riordan, E.G., Monahan, F.J., Caffrey, P.J., Mooney, M.T., Troy, D.J., & Moloney, A.P. (2001). The eating quality of meat of steers fed grass and/or concentrates. Meat Science, 57, 379-386.
- George, M.H., J.D. Tatum, K.E. Belk, and G.C. Smith. 1999. An audit of retail beef loin steak tenderness conducted in eight U.S. cities. J. Anim. Sci. 77: 1735-1741.
- Guignot, F., C. Touraille, A. Ouali, and M. Renerre, 1994. Relationships between post- mortem pH changes and some traits of sensory quality in veal. Meat Sci. 37:315-325.
- Huffman, K.L., Miller, M.F., Hoover, L.C., Wu, C.K., Brittin, H.C., & Ramsey, C.B. (1996). Effect of beef tenderness on consumer satisfaction with steaks consumed in the home and restaurant. Journal of Animal Science, 74, 91-97.
- Hwang, I.H., and J.M. Thompson. 2001b. The interaction between pH and temperature decline early post-mortem on the calpain system and objective tenderness in electrically stimulated beef longissimus dorsi muscle. Meat Sci. 58:167-174.
- I.N.A.C. (1997). Sistema oficial de clasificación y tipificación de carne vacuna. Resolución 65/97. Montevideo, Uruguay.
- Jeremiah, L.E., A.K. Tong, and L.L. Gibson. 1991. The usefulness of muscle color and pH for segregating beef carcasses into tenderness groups. Meat Sci. 30: 97-114.
- Jones, B.K. and J.D. Tatum. 1994. Predictors of beef tenderness among carcasses produced under commercial conditions. J. Anim. Sci. 72:1492-1501.
- Koohmaraie, M, G. Whipple, and J.D. Crouse. 1990. Acceleration of post-mortem tenderization in lamb and Brahman-cross beef carcasses through infusion of calcium chloride. J. Anim. Sci. 68:1278-1283.

- Koohmaraie, M. 1988. The role of endogenous proteases in meat tenderness. Proc. Recip. Meat Conf. 41:89-99.
- Laurent, K.M., M.M. Pike, T.D. Bidner, A.M. Saxton, and A.M. McMillin. 1991. Effect of subcutaneous fat removal and aging on beef tenderness. J. Anim. Sci. 69(Suppl.2):19.
- Lawrence, T.E., J.D. Whatley, T.H. Montgomery, L.J. Perino, and M.E. Dikeman. 2001. Influence of dental carcass maturity classification on carcass traits and tenderness of longissimus steaks from commercially fed cattle. J. Anim. Sci. 79:2092-2096.
- Lawrence, J.D. 2002. Quality assurance down under: market access and product differentiation. <http://www.card.iastate.edu/matrix/publications.html>.
- Lawrie, R. 1992. The chemistry of muscle based foods. Eds. E.Ledward, D. Johnston, and M. Knight. (pp 43-46). Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.
- Ledward, D.A. Johnston, D.E., Knight, M., 1992. Color of the raw and cooked meat. In. The chemistry of muscle based foods. Cambridge, UK:Royal Society of Chemistry .pp:128-144.
- Li, J., J. Tan, F.A. Martz, and H. Heymann. 1999. Image texture features as indicators of beef tenderness. Meat Sci. 53:17-22.
- Lochner, J.V., R.G. Kauffman, and B.B. Marsh. 1980. Early post-mortem cooling rate and beef tenderness. Meat Sci. 4:227-241.
- Lorenzen, C.L., T.R. Neely, R.K. Miller, J.D. Tatum, J.W. Wise, J.F. Taylor, M.J. Buyck, J.O. Reagan, and J.W. Savell. 1999. Beef Customer Satisfaction: Cooking method and degree of doneness effects on the top loin steak. J.Anim.Sci. 77:637-644.
- Mandell, I.B., Buchanan-Smith, J.G., & Campbell, C.P. (1998). Effects of forage vs grain feeding on carcass characteristics, fatty acid composition, and beef quality in Limousin-cross steers when time on feed is controlled. Journal of Animal Science, 76, 2619-2630.
- Marsh, B.B., T.P. Ringkob, R.L. Russell, D.R. Swartz, and L.A. Pagel. 1987. Effects of early-postmortem glycolytic rate on beef tenderness. Meat Sci. 21:241-248.
- Mitchell, G.E., Reed, A.W., & Rogers, S.E. (1991). Influence of feeding regimen on the sensory qualities and fatty acid contents of beef steaks. Journal of Food Science, 56, 1102-1106.
- Miller, M.F., M.A. Carr, C.B. Ramsey, K.L. Crockett, and L.C. Hoover. 2001. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. J. Anim.Sci. 79:3062-3068.
- Morton, J.D., Bickerstaffe, R., Kent, M.P., Dransfield, E., Keeley, G.M. (1999). Calpain-calpastatin and toughness in M. longissimus from electrically stimulated lamb and beef carcasses. Meat Science, 52, 71-79.
- Page, J.K., D.M. Wulf, and T.R. Schwotzer. 2001. A survey of beef muscle color and pH. J. Anim. Sci. 79:678-687.
- Pike, M.M., T.P. Ringkob, D.D. Beekman, Y.O. Koh, and W.T. Gerthoffer. 1993. Quadratic relationship between early post-mortem glycolytic rate and beef tenderness. Meat Sci. 34:13-26.
- Pringle, D. 2000. Avances en la determinación de la calidad de la carne. In Congreso de Producción y Comercialización de Carne "Del Campo al Plato", Montevideo. pp. 1-8.
- Purchas, R.W. 1989. On-farm factors affecting meat quality characteristics. In Meat Production and Processing: Occasional Publication N° 11. R.W. Purchas, B.W. Butler-Hogg, A.S. Davies ed. Hamilton, NZ, New Zealand Society of Animal Production. pp. 159-171.
- Purchas, R.W. 1990. An assessment of the role of pH differences in determining the relative tenderness of meat from bulls and steers. Meat Sci. 27:129-140.
- Purchas, R.W., and R. Aungsupakorn. 1993. Further investigations into the relationship between ultimate pH and tenderness of beef samples from bulls and steers. Meat Sci. 34:163-178.

- Purchas, R.W., X. Yan, and D.G. Hartley. 1999. The influence of a period of aging on the relationship between ultimate pH and shear values of beef m. longissimus thoracis. *Meat Sci.* 51:135-141.
- Realini, C., Duckett, S.K., Brito, G.W., Dalla Rizza, M and De Mattos, D. 2004. Effect of pasture vs. concentrate feeding with or without antioxidants on characteristics, fatty acid composition and quality of Uruguayan beef, *Meat Science*, 66:567-577.
- Savell, J.W., C.L. Lorenzen, T.R. Neely, R.K. Miller, J.D. Tatum, J.W. Wise, J.F. Taylor, M.J. Buyck, and J.O. Reagan. 1999. Beef Customer Satisfaction: Cooking method and degree of doneness effects on the top sirloin steak. *J. Anim. Sci.* 77:645-652.
- Shackelford, S.D., M. Koohmaraie, G. Whipple, T.L. Wheeler, M.F. Miller, J.D. Crouse, and J.O. Reagan. 1991. Predictors of beef tenderness: Development and verification. *J. Food Sci.* 56(5):1130-1135.
- Shackelford, S.D., M. Koohmaraie, and T.L. Wheeler. 1994a. The efficacy of adding a minimum adjusted fat thickness requirement to the USDA beef quality grading standards for select grade beef. *J. Anim. Sci.* 72:1502-1507.
- Shackelford, S.D., M. Koohmaraie, and J.W. Savell. 1994b. Evaluation of longissimus dorsi muscle pH at three hours post-mortem as a predictor of beef tenderness. *Meat Sci.* 37: 195-204.
- Silva, J.A., L. Patarata, and C. Martins. 1999. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during aging. *Meat Sci.* 52:453-459.
- Smith, G.C., Z.L. Carpenter, H.R. Cross, C.E. Murphey, H.C. Abraham, J.W. Savell, G.W. Davis, B.W. Berry, and F.C. Parrish Jr. 1984. Relationship of USDA marbling groups to palatability of cooked beef. *J. Food Qual.* 7:289-308.
- Smith, G.C. (1990). Quality of beef from cattle fed solely on forage. *Tex. Agric. Exp. Stn., Texas A & M University, College Station*, 152-162.
- Thompson, J. 2002. Managing meat tenderness. *Meat Sci.* 62:295-308.
- USDA. 1997. Official United States standards for grades of carcass beef. *Agric. Marketing Serv., USDA, Washington, DC*.
- Vote, D.J., K.E. Belk, J.D. Tatum, J.A. Scanga, and G.C. Smith. 2003. Online prediction of beef tenderness using a computer vision system equipped with a BeefCam module. *J. Anim. Sci.* 81:457-465.
- Watanabe, A., C.C. Daly, and C.E. Devine. 1996. The effects of the ultimate pH of meat on tenderness changes during aging. *Meat Sci.* 42(1):67-78.
- Wulf, D.M., J.B. Morgan, J.D. Tatum, and G.C. Smith. 1996. Effects of animal age, marbling score, calpastatin activity, subprimal cut, calcium injection, and degree of doneness on the palatability of steaks from Limousin steers. *J. Anim. Sci.* 74: 569-576.
- Wulf, D.M., S.F. O'Connor, J. D. Tatum, and G. C. Smith. 1997. Using objective measures of muscle color to predict beef longissimus tenderness. *J. Anim. Sci.* 75:684-692.
- Wulf, D.M., and J.W. Wise. 1999. Measuring muscle color on beef carcasses using the L* a* b* color space. *J. Anim. Sci.* 77:2418-2427.
- Wulf, D.M. and J.K. Page. 2000. Using measurements of muscle color, pH, and electrical impedance to augment the current USDA beef quality grading standards and improve the accuracy and precision of sorting carcasses into palatability groups. *J. Anim. Sci.* 78:2595-2607.
- Wulf, D.M., R.S. Emmett, J.M. Leheska, and S.J. Moeller. 2002. Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. *J. Anim. Sci.* 80:1895-1903.

- Wyle, A.M., D.J. Vote, D.L. Roeber, R.C. Cannell, K.E. Belk, J.A. Scanga, M. Goldberg, J.D. Tatum, and G.C. Smith. 2003. Effectiveness of the SmartMV prototype BeefCam system to sort beef carcasses into expected palatability groups. *J.Anim.Sci.* 81:441-448.
- Wythes, J.R., and W.R. Shorthose. 1991. Chronological age and dentition effects on carcass and meat quality of cattle in northern Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 31:145-152.
- Yu, L.P., and Y.B. Lee. (1986). Effects of post-mortem pH and temperature on bovine muscle structure and meat tenderness. *J. Food Sci.* 51:774-780.