

**Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Vicerrectoría de Investigación y Extensión**

**Informe Final de proyecto de investigación:**

**Evaluación del efecto de la castración en bovinos de carne  
sobre el rendimiento, la calidad y terneza de la carne  
Código: 5402-2151-8401**

**ITCR-CORFOGA**

Coordinador por el ITCR:	Ing. Milton Villarreal, Ph.D. Escuela de Agronomía, ITCR Sede San Carlos.
Investigador principal:	Ing. Julio Rodríguez, CORFOGA
Co-investigadores:	John Unruh, Ph.D. Animal Sciences & Industry Department, KSU. (Advisor de Tesis de maestría) John Jaeger, Ph.D. Animal Sciences & Industry Department, KSU. Chris Reinhart, Ph.D. Animal Sciences & Industry Department, KSU.

**Informe elaborado por:**

Ing. Julio Rodríguez, CORFOGA (Texto original de tesis de maestría "*Effects of castration on carcass composition, meat quality, and sensory properties of beef produced in a tropical climate*". Kansas State University, Manhattan, KS. Abril 5, 2012.

Traducción y adaptación: Milton Villarreal, Ph.D., Escuela de Agronomía, ITCR Sede San Carlos.

**Marzo, 2012**

# Tabla de contenido

Agradecimiento .....	iv
Presentación .....	1
Documento 1. ....	2
<b>1. Introducción.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Marco teórico general.....</b>	<b>1</b>
2.1 Toros vs. novillos.....	1
2.1.1 Rendimiento animal.....	1
2.1.2 Efecto hormonal.....	1
2.1.3 Composición de la canal.....	2
2.1.4 Calidad de la carne.....	4
2.1.5 Efecto de la edad de castración.....	8
2.2 Efecto racial.....	10
2.2.1 Razas <i>Bos indicus</i> .....	10
2.2.1.1 Rendimiento y composición de la canal.....	10
2.2.1.2 Calidad de la carne.....	12
2.3 Maduración de la carne postmortem.....	14
2.3.1 Diferencias entre músculos.....	15
2.3.2 Efecto de raza.....	16
2.3.3 Pérdidas de agua:.....	17
2.4 Propiedades de los músculos.....	17
2.4.1 Suavidad o “terneza”.....	17
2.4.2 Jugocidad y pérdidas de agua.....	19
2.4.3 Sabor de la carne.....	20
<b>3. Bibliografía consultada en el marco teórico.....</b>	<b>22</b>
<b>4. Manuscrito ( “paper”).....</b>	<b>33</b>
<i>Effect of castration on carcass composition, meat quality, and sensory properties of beef produced in a tropical climate .....</i>	<i>33</i>
ABSTRACT.....	33
INTRODUCTION .....	35
MATERIALS AND METHODS .....	37
<i>Animals:</i> .....	37
<i>Animal History:</i> .....	38
<i>Harvest Data:</i> .....	38
<i>Carcass Data:</i> .....	39
<i>Subprimal Fabrication:</i> .....	39
<i>Steak Fabrication:</i> .....	40
<i>Warner-Bratzler Shear Force:</i> .....	41
<i>Sensory Panel Evaluation:</i> .....	42
<i>Statistical Design:</i> .....	43
RESULTS.....	44
<i>Harvest and Carcass Traits:</i> .....	44
<i>Subprimal Weights and Proportions:</i> .....	44
<i>Color, Moisture Loss, and Warner-Bratzler Shear Force :</i> .....	44

<i>Sensory Panel</i> .....	47
DISCUSSION .....	47
CONCLUSIONS .....	53
TABLES .....	55
LITERATURE CITED .....	62
<b>APPENDIX TABLES .....</b>	<b>65</b>
<b>5. Alcances de la investigación .....</b>	<b>74</b>

## Agradecimiento

Como coordinador del proyecto por el ITCR, se agradece y reconoce el trabajo líder del estudiante de maestría, Sr. Julio Rodríguez de CORFOGA, así como el acompañamiento científico de su asesor de tesis, Dr. John Unruh, y demás miembros de su comité de tesis, Dr. John Jaeger y Dr. Chris Reinhart.

Igualmente esencial fue el trabajo de nuestra laboratorista Sailin Rojas, Srta. Tacy Langemeier, estudiante de la Universidad de Nebraska (USA), Sra. Tatiana Carmona y Sra. Judy Unruh; gracias por el fuerte trabajo en las etapas de evaluación de fuerza de corte (*Warner Bratzler shear force*) y páneces sensoriales.

Finalmente, en las etapas de análisis de información, se agradece la disponibilidad y aporte del Dr. Jorge Camacho y el apoyo en la coordinación de logística y trabajo de campo en la finca La Vega por parte del Sr. Rodrigo Solís, Coordinador del Programa de Ganado de Carne y el Sr. Arturo Huertas, ambos de la Escuela de Agronomía del ITCR, Sede San Carlos y el Técnico Jorge López de CORFOGA.

## Presentación

El presente Informe se compone de una introducción, un marco teórico general y su respectiva lista de bibliografía, un “paper” para ser sometido a publicación en la revista *Meat of Science* y una sección sobre alcances de la investigación.

En la introducción se destaca la importancia de la temática a nivel nacional, se definen algunos conceptos apoyándose en citas bibliográficas seleccionadas y se resumen los objetivos más relevantes del proyecto.

El marco teórico ofrece una revisión de literatura extensa sobre los factores que afectan la calidad de carne bovina y es un aporte útil a estudiantes y profesores en cursos de producción animal y para investigadores que deseen introducirse en este tema.

El “paper” constituye la base para una publicación científica en una revista SCI. Contiene una introducción con citas bibliográficas, un detalle de los materiales y métodos, resultados, discusión y conclusiones del proyecto; además, incluye una sección de apéndices con información relevante generada en el proyecto; no obstante, se aclara, que dado el formato de una publicación científica, estos apéndices no serán parte del artículo científico final. Esta es la sección medular del informe.

Alcances de la investigación resume los logros obtenidos e importancia para el país de futuros proyectos en esta línea de trabajo.

# Documento 1.

## 1. Introducción

En Costa Rica, la producción de ganado de carne se basa principalmente en animales *Bos indicus* y utilización de pasturas y otros forrajes como base de la dieta. El ganado *Bos indicus* o “cebuino” presenta buena adaptación a las condiciones tropicales y subtropicales (Forbes *et al.*, 1998). Sin embargo, la carne proveniente de este tipo de ganado se ha caracterizado por ser menos suave (Crouse *et al.*, 1989; Elzo *et al.*, 2012), asociado a una mayor actividad de la calpastatina muscular y menos proteólisis *postmortem*, comparados con el ganado *Bos taurus* (Johnson *et al.*, 1990; Wheeler *et al.*, 1990; Whipple *et al.*, 1990).

El engorde y finalización del ganado en base a forrajes tiene consecuencias negativas sobre la suavidad y características organolépticas de la carne (Mitchell *et al.*, 1991), estos animales también presentan menos ganancia de peso diarias, períodos mayores para alcanzar el peso al mercado, menores rendimientos en canal, menores porcentajes de grasa y carnes más magras que aquellos animales alimentados con dietas de alta densidad calórica basadas en uso de concentrados (Bidner *et al.*, 1981, 1986).

A inicios de los años 50's, la castración de terneros fue parte de las prácticas normales de manejo de ganado, junto con identificación y vacunación. Eventualmente, la práctica de castración fue eliminada en los años 70's, debido al crecimiento experimentado en la exportación de carne y la demanda a nivel de plantas empacadoras por carne magra y sistemas que favorecían aumentos en cantidad de carne (Perez, 2009). Ha sido aceptado que toros (animales no castrados), cuando se les provee adecuada alimentación, crecen más rápido y más eficientemente y producen canales con menos grasa que animales castrados o novillos (Seideman *et al.*, 1982; Mach *et al.*, 2009).

Hoy día, los animales enteros (toros), siguen siendo la principal práctica de producción en nuestro país debido a la falta de incentivos para producir carnes de mayor calidad con machos castrados.

La suavidad de la carne ha sido identificada como una característica de calidad estrechamente relacionada con la aceptabilidad por parte del consumidor (Chambers y Bowers, 1993). Los consumidores detectar diferencias en suavidad de la carne y están dispuestos a pagar más por carnes más suaves (Miller *et al.*, 2001). En los últimos diez años, los consumidores en Costa Rica

han mostrado una demanda creciente por carnes suaves y están dispuestos a pagar altos precios por carnes de mayor calidad (Retana, 2012).

Carnes de novillos y novillas es preferida por consumidores sobre carnes de animales intactos debido a las mejores características sensoriales, particularmente la suavidad (Seideman *et al.*, 1989; Huerta-Leidenz y Rios., 1993). Debido a este interés renovado en producción de carnes de calidad, la castración ha sido reintroducida en Costa Rica como una herramienta de manejo. Para algunos nichos de mercado, la castración tardía (> 12 meses de edad), ha sido incorporada por algunos productores para incrementar grasa en los cortes de mayor valor, comparados con aquellos provenientes de toros, de esta forma, también se aprovecha la ventaja de una mayor tasa de crecimiento y mayor eficiencia de estos animales comparados con los castrados en forma temprana (Murillo, 2012).

Sin embargo, la castración temprana es también recomendada, pues reduce el estrés y agresividad y mejora el bienestar animal (Bretschneider, 2005; Anderson 2007), a la vez que puede mejorar la calidad de la carne (Morón *et al.*, 2005ab).

La maduración de la carne es una práctica *postmortem* para mejorar la palatabilidad y es una de las opciones más populares para mejorar la suavidad (Dransfield, 1994). Esta práctica no ha sido extensamente utilizada en Costa Rica y solo unas pocas empresas la practican. Existen diferencias en la respuesta de los diferentes músculos respecto al grado en que la maduración afecta la suavidad debido a diferencias en contenidos de tejido conectivo (Rhee *et al.*, 2004), el nivel y velocidad con que el pH disminuye y la actividad de las calpaínas (Ilian *et al.*, 2001), lo que explica el grado de degradación proteolítica (Taylor *et al.*, 1995; Rhee *et al.*, 2004). Resultados publicados en *Beef Tenderness Surveys* (Morgan *et al.*, 1991; Brooks *et al.*, 2000), han revelado que existe una sustancial variación en el largo del tiempo de maduración para optimizar la suavidad de diferentes cortes de carne bovina.

La producción de carne en Costa Rica está enfrentando grandes retos, muchos de ellos relacionados con la necesidad de mejorar la calidad de la carne para hacer de este un producto más competitivo en el mercado. Muy poca investigación se ha realizado en este campo utilizando prácticas *antemortem* y *postmortem* para mejorar la calidad y la suavidad. Ardaya y Zapata (1999), no encontraron diferencias en suavidad de la carne entre toros y animales castrados tardíamente. Arce y Murillo (2004), encontraron que el *Longissimus* de novillos tenía menores valores WBSF (Warner Bratzler shear force), o sea, más suaves que aquellos provenientes de toros y que la maduración mejoró la suavidad de la carne en ambas categorías de animales.

Por tanto, los objetivos de este estudio patrocinado por la Corporación Ganadera (CORFOGA) y el Instituto Tecnológico de Costa Rica fueron:

1. Determinar el efecto de castración y tiempo de castración sobre la composición de la canal y suavidad de la carne.
2. Determinar el efecto del período de maduración sobre la suavidad de cuatro diferentes músculos en ganado de carne bajo condiciones de producción en el trópico.



## 2. Marco teórico general

### 2.1 Toros vs. novillos

#### 2.1.1 Rendimiento animal

Varios estudios sobre alimentación en toros y novillos en sistemas de confinamiento (feedlots), han mostrado que los toros presentan mayores ganancias de peso diarias y mayor eficiencia alimenticia que los novillos (Klosterman *et al.*, 1954; Field *et al.*, 1966; Arthaud *et al.*, 1977; Seideman *et al.*, 1982; Gerrard *et al.*, 1987; Purchas y Grant, 1995). Field (1971), después de revisar múltiples estudios concluyó que los toros ganaron peso 17% más rápido y fueron 13% más eficientes en convertir alimento en peso vivo. Sin embargo, Seideman *et al.* (1982), en otra revisión de literatura concluyeron que cuando los animales son desarrollados en pasturas, los novillos pueden tener mayores ganancias de peso que los toros. Martin *et al.* (1978), concluyeron que los toros alimentados con dietas bajas en proteína exhiben la misma ganancia de peso que los novillos. En condiciones de un plano nutricional alto, los toros se desempeñan mejor que los novillos. El efecto detrimental de la castración sobre la tasa de crecimiento y eficiencia alimenticia se expresa más fuertemente bajo condiciones de un plano nutricional alto (Cobic, 1968). Ardaya y Zapata (1999), en un estudio realizado en Costa Rica, no encontraron diferencias en ganancia de peso diario y peso final entre novillos y toros. En condiciones nutricionales altas, tales como en feedlots, los toros superan a los novillos en ganancia de peso y eficiencia alimenticia, pero esto no ocurre bajo planos nutricionales deficientes.

#### 2.1.2 Efecto hormonal

Los testículos producen andrógenos y estrógenos que promueven el crecimiento muscular al incrementar la retención de nitrógeno. Cuando los testículos son removidos (castración), la producción de esteroides naturales anabólicos en machos se reduce (Unruh, 1986). La testosterona en particular, está asociada con un balance positivo de N, un incremento en el contenido de proteína de la canal y una disminución en su contenido de grasa (Schanbacher *et al.*, 1984). Unruh (1986), estableció que la concentración endógena de andrógenos y estrógenos naturales en machos enteros puede ayudar a maximizar el crecimiento. Estas hormonas endógenas sirven como coordinadores de la partición de nutrientes que soportan las demandas inmediatas para mantenimiento (homeostasis) y las demandas para funciones de producción (homeorhesis). Barnes *et al.* (1983), concluyeron que los toros tienen mayores niveles de testosterona en sangre y menores niveles de cortisol que los novillos. Lunstra *et al.* (1978), evaluaron las

concentraciones de testosterona sérica en diferentes razas y encontraron que el promedio para todos los toros incrementó linealmente entre 3 y 7 meses de edad y que además, este valor no varió entre razas. Animales *Bos indicus* típicamente son más lentos en alcanzar la madurez sexual y son más delgados al momento del sacrificio que las razas británicas *Bos taurus* (Martin *et al.*, 1992; Pringle *et al.*, 1997). Thomas *et al.* (2002), encontraron que toros Angus y Brangus mostraron concentraciones similares de testosterona sérica y que ambos grupos tuvieron valores mayores que toros Brahman. La testosterona se asocia con la síntesis de colágeno en músculo, acumulación y tipo de colágeno, lo cual es responsable, parcialmente, de las diferencias en suavidad de la carne entre machos castrados y enteros (Unruh, 1986).

La glándula pituitaria secreta hormona del crecimiento (GH) y por tanto está asociada con incremento en la tasa de crecimiento y eficiencia alimenticia (Bauman *et al.*, 1982). Frohman (1991) estableció que la GH es responsable de promover la diferenciación de células precursoras bajo la influencia de la IGF-1 (insulin-like growth factor I). La GH es también un anabólico en rumiantes puesto que inyecciones diarias de esta hormona estimulan la ganancia de peso y la retención de N (Moseley *et al.*, 1982). Thomas *et al.* (2002), evaluaron la concentración sérica de GH y encontraron que esta fue igual para Brangus y Angus y que ambas razas presentaron mayores valores que en toros Brahman. Además, el eje GH es sensitivo al nivel de deposición de grasa. En general, conforme la edad y deposición de grasa avanza en rumiantes, la concentración sérica de GH declina.

Los estrógenos causan la liberación del factor liberador de GH en el hipotálamo, el cual es el responsable por la liberación final de GH, esto resulta en un incremento en el crecimiento y en la retención de nitrógeno (Preston, 1975). Los estrógenos también actúan indirectamente sobre el crecimiento mediante la regulación de la GH en plasma, insulina y hormona tiroidea (Preston, 1975). La insulina estimula la síntesis de proteínas y a la vez esta hormona es requerida para la acción de la GH (Beitz, 1985). La influencia de los estrógenos sobre los novillos está generalmente relacionada con incrementos en el área del ojo del lomo y disminución en deposición de grasa (Preston, 1975). Los estrógenos también causan sellado de la epífisis ósea y aceleran la madurez del esqueleto (Hafs *et al.*, 1971). Por otra parte, incrementos en temperatura ambiental pueden disminuir el efecto de los estrógenos (Ray *et al.*, 1969).

### **2.1.3 Composición de la canal**

En general, los toros tienen menor rendimiento (%) en canal, más músculo, menos grasa, mayor porcentaje de rendimiento cárnico en condiciones de similar proporción de hueso, cuando se les compara con novillos. Brannang (1966) y Hedrick (1968), concluyeron que el porcentaje de rendimiento en canal fue similar para toros y novillos. Sin embargo, Watson (1969) y Jacobs *et al.*, (1977a), determinaron que los toros tienen ligeramente menor rendimiento en canal que los novillos. Según Field (1971), es

razonable esperar que los toros presenten menor porcentaje de rendimiento en canal que los novillos debido a que los primeros tienen menos grasa.

Debido a la mayor cantidad de testosterona, los animales enteros presentan mayor hipertrofia muscular, resultando en 7% más músculo que los novillos (Bavera and Peñafort, 2005). Otros autores (Prescott y Lamming, 1964.; Watson 1969; Kay y Houseman, 1974), han reportado que la canal de los toros tiene aproximadamente 8% más músculo que la de los novillos. Como es de esperar, según varios autores, (Arthaud *et al.*, 1969; Hunsley *et al.*, 1971; Albaugh *et al.*, 1975; Jacobs *et al.*, 1977a; Purchas y Grant, 1995), los toros presentan mayores área de ojo del lomo (AOL) que los novillos.

Los toros generalmente tienen menor cobertura de grasa y canales con menos grasa que los novillos (Watson, 1969). De igual forma, varios autores (Hunsley *et al.*, 1971; Jacobs *et al.*, 1977a; Landon *et al.*, 1978; Purchas y Grant, 1995), concluyeron que los machos enteros presentan menor espesor de la cobertura de grasa y menores porcentajes de recortes de grasa que los novillos.

Como resultado del incremento en músculo y disminución en grasa, varios autores (Klosterman *et al.*, 1954; Wierbicki *et al.*, 1955; Arthaud *et al.*, 1969; Landon *et al.*, 1978, Purchas y Grant, 1995), concluyeron que los toros presentan mayor rendimiento cárnico que los novillos. Cohen *et al.* (1991), encontraron que los toros (60.5% rendimiento canal) presentaban mayor rendimiento carnicero que los novillos (57.8% rendimiento canal). En otro estudio, Arthaud *et al.* (1977), compararon dietas bajas en energía y encontraron que en toros a los 24 meses de edad, se presentaron canales más pesadas, menor grosor en capa de grasa, mayor carne magra separable, menor grasa separable y más hueso separable en la 9-10-11<sup>th</sup> costilla, cuando se compararon con novillos (313 kg, 7 mm, 61.6%, 21.0%, y 17.3% vs. 273 kg, 9 mm, 55.2%, 27.2%, y 16.7%, respectivamente). Purchas y Grant (1995), encontraron que las canales de toros rindieron 6.7 kg más de producto vendible que en el caso de los novillos. Lo anterior es consistente con lo reportado por Jacobs *et al.* (1977a), quienes concluyeron que los toros rindieron 10.6% más carne comestible y 10.1% menos recortes de grasa que los novillos.

Por otra parte, algunos investigadores (Jacobs *et al.*, 1977a; Prescott y Lamming, 1964; Landon *et al.*, 1978), encontraron diferencias significativas en rendimiento de hueso cuando se compararon toros y novillos. Field (1971), resumió varios estudios y concluyó que el hueso separable en la canal, promedió 15.8% para toros y 15.6% para novillos. Aun cuando la diferencia en porcentaje de hueso entre toros y novillos pueda ser pequeña, los toros muestran mayor relación músculo-hueso que los novillos (Berg y Butterfield, 1968; Wierbicki *et al.*, 1955).

Sideman *et al.* (1982), concluyeron que las canales de los toros presentan la ventaja de ser menos grasos y con mayor rendimiento cárnico que las canales de los novillos. Sin embargo, estos autores concluyeron que también existen algunas desventajas tales como mínima cobertura de grasa,

mayor dificultad para la remoción del cuero y canales más pesadas que en los novillos.

#### 2.1.4 Calidad de la carne

Varios estudios (Field, 1971; Seideman *et al.*, 1982; Dikeman *et al.*, 1986), han mostrado diferencias en la calidad de la carne entre toros y novillos. Desde el punto de vista de aceptabilidad por el consumidor, Seideman *et al.* (1982) indicaron que la suavidad, el color y la textura son las desventajas más importantes al producir carne con toros.

Basados en el grado de oscificación, la canal de los toros es fisiológicamente más madura que la canal de novillos a la misma edad cronológica (Champagne *et al.*, 1969; Glimp *et al.*, 1971; Reagan *et al.*, 1971). Esto puede ser explicado por la acción de la testosterona y el estradiol-17 $\beta$  las cuales son las hormonas con cambios más pronunciados asociados a la pubertad y madurez sexual de los toros (McCarty *et al.*, 1979). La magnitud de los niveles séricos de estradiol-17 $\beta$  puede estar relacionada con la tasa de madurez de los toros y la madurez (oscificación) de los huesos (Gray *et al.*, 1986).

Para los consumidores, la suavidad es la característica más importante (Shackelford *et al.*, 1995ab; Polidori *et al.*, 1996; Shackelford *et al.*, 1997ab). Los consumidores pueden diferenciar grados de ternura y estar dispuestos a pagar por ello (Miller *et al.*, 2001). Otras características como jugosidad y cantidad de tejido conectivo (residuo al masticar), están estrechamente relacionadas con suavidad (Jerez *et al.*, 1994; Huerta *et al.*, 1997).

Los toros por lo general, tienen carnes más duras que los novillos (Klosterman *et al.*, 1954; Field, 1971; Hunsley *et al.*, 1971; Arthaud *et al.*, 1977; Seideman *et al.*, 1982; Dikeman *et al.*, 1986; Morgan *et al.*, 1993; Purchas *et al.*, 2002). En la revisión de literatura efectuada por Field (1971), se concluyó que la carne de toros fue ligeramente más suave que la de novillos. Sin embargo, Champagne *et al.* (1969), Albaugh *et al.* (1975), y Landon *et al.* (1978), no observaron diferencias en los valores de "Warner Bratzler shear force" debida a condición de sexo. Field *et al.* (1966), establecieron que no existieron diferencias significativas en suavidad de la carne entre toros y novillos de 300 a 399 d de edad, pero novillos de 400 a 499 d de edad presentaron grados de suavidad ligeramente mayores que los toros con igual edad y grado de marmoleo. Hedrick *et al.* (1969) reportaron que los toros menores a 16 meses de edad presentaron valores de WBSF comparables en suavidad a novillas y novillos. En un ensayo realizado por Unruh *et al.* (1987), los toros presentaron valores mayores de WBSF (más duros) en *Longissimus* que los novillos (3.9 y 2.7 kg, respectivamente). De igual forma, Morgan *et al.* (1993), obtuvieron valores de WBSF para *Longissimus* de 4.9 kg y 4.2 kg en toros y novillos, respectivamente. Para ganado criado en pasturas tropicales, Ardaya y Zapata (1999) y Arce y Murillo (2004), evaluaron la suavidad en *Longissimus* de animales Brahman enteros

y castrados y concluyeron que los toros presentaban mayores valores de WBSF que los novillos.

Diferencias en suavidad de la carne entre novillos y toros pareciera estar influenciada por la edad y el efecto acumulativo de la testosterona en el tiempo. Existe poca diferencia en la suavidad de la carne entre toros jóvenes y novillos; conforme la edad avanza, la diferencia en suavidad entre ambos grupos aumenta. Estas variaciones en suavidad son reguladas hormonalmente y pareciera que están relacionadas con la naturaleza o estado de las proteínas contráctiles (miofibrilares) y el contenido y propiedades del tejido conectivo (Unruh, 1986).

Cross *et al.* (1984), atribuyen el incremento en dureza de la carne en los toros a un aumento en ligas de tejido conectivo, lo cual resulta del incremento en los niveles de testosterona de los animales enteros. Teira (2004), encontró que los animales enteros presentaban mayores niveles de colágeno intramuscular y que podían tener más “cross-link” a nivel intermolecular a la misma edad cronológica que animales castrados. Baccard *et al.* (1979), investigaron el efecto del sexo sobre la cantidad de colágeno soluble en diferentes músculos en ganado de carne. Estos autores reportaron que, independientemente de la edad, el contenido de colágeno en músculo fue mayor en toros que en novillos; además, la solubilidad del colágeno disminuyó marcadamente entre los 12 y 16 meses de edad en toros. Así, la menor suavidad de la carne en toros podría ser al menos parcialmente atribuida a la cantidad de tejido conectivo y su madurez (“crosslinking”).

De igual forma, Burson *et al.* (1986), propusieron que los diferentes tipos de colágeno podrían también jugar un rol en las diferencias en la suavidad de la carne entre toros y novillos. Bailey *et al.* (1979), concluyeron que la suavidad de aquellos músculos podría presentar un menor porcentaje de colágeno tipo III que los músculos más duros. Sin embargo, Light *et al.* (1985), evaluaron seis diferentes músculos y reportaron que el porcentaje de colágeno tipo III en el endomisio o en el perimisio no estuvo relacionada con la suavidad. Posteriormente, Burson *et al.* (1986) concluyeron que las proporciones de colágeno tipo I y III no se relacionaron bien con las diferencias en suavidad del *Longissimus* al comparar toros y novillo. Sin embargo, las características del colágeno, tales como el tipo de ligámenes cruzados y tamaño de la fibra en cada tipo de colágeno, podría jugar un rol en las diferencias en suavidad entre músculos de toros y novillos.

Los toros pueden también mostrar carnes con más dureza miofibrilar resultando en mayor resistencia a la maduración que la carne de novillos. Morgan *et al.*, (1993), señalaron que los toros presentan mayor actividad de calpastatina (inhibidor endógeno de la calpaína). Existe una alta correlación entre la actividad de la calpastatina a las 24 horas *postmortem*, la proteólisis miofibrilar y la suavidad de la carne en novillos y novillas (Whipple *et al.*, 1990). Al hacer una comparación del *Longissimus* entre machos (excluyendo novillos) y hembras, los toros mostraron 81% mayor actividad de calpastatina a las 24 horas *postmortem* (Rubensan, 1999). Otros

experimentos han indicado que la calpastatina es el principal regulador de la  $\mu$ -calpaína en músculos *postmortem* (Morgan *et al.*, 1993). Por tanto, la actividad *postmortem* de la calpastatina esta altamente relacionada con la tasa de proteólisis *postmortem* y suavidad de la carne en razas *Bos indicus* (Whipple *et al.*, 1990; Shackelford *et al.*, 1991). Además, el zinc es un potente inhibidor de la proteasa calpaína (Koomaraie, 1990). Seideman *et al.* (1989), reportaron que el *Longissimus* en toros fue más duro y con mayores contenidos de zinc que en el caso de novillos (45.1 vs 34.8 ppm, respectivamente). Así, en adición a los elevados niveles de actividad de calpastatina, las altas concentraciones de zinc endógeno en el *Longissimus* de toros, podría estar contribuyendo a la disminución en la actividad de la  $\mu$ -calpain, resultando en una disminución en la suavidad de la carne (Morgan *et al.*, 1993).

Diferencias en la cantidad de grasa de cobertura (grasa subcutánea) entre toros y novillos podría también contribuir a explicar las diferencias en suavidad entre toros y novillos. Bowling *et al.* (1978), indicaron que espesor de grasa mayor a 7mm provee máxima protección contra el efecto “cold shortening” de las fibra musculares. Lochner *et al.* (1980), señalaron que los mayores espesores de cobertura de grasa subcutánea de los novillos, podría tener un efecto positivo sobre la suavidad. Con diferencias en cobertura de grasa subcutanea entre toros y novillos, puede esperarse que las diferencias en el “cold shortening” contribuyan a diferencias potenciales en suavidad.

Al momento de la decisión de compra, el color de la carne es una de las características que más influye en el consumidor ya que este es un indicador de frescura y apariencia general del producto (Mancini y Hunt, 2005). Seideman *et al.* (1982), indicaron que desde el punto de vista del consumidor, la dureza, el color y la textura, son las desventajas más importantes cuando se produce carne con toros. Sabor y jugosidad estarían entre las características que menos impactan la calidad de la carne. El color y su relación con el pH podría también ser un factor importante como indicador de la suavidad de la carne. Varias investigaciones han mostrado que la suavidad de la carne está relacionada con el pH final en el músculo (Purchas, 1990; Watanabe *et al.*, 1996) and muscle color (Jeremiah *et al.*, 1991; Wulf *et al.*, 1997).

En evaluaciones subjetivas, se ha encontrado pocas diferencias entre el color de la carne de toros y novillos (Field, 1971). Estas observaciones han sido soportadas por otros (Weniger y Steinhäuf, 1968; Watson, 1969), quienes encontraron que los niveles de mioglobina en toros y novillos fueron similares. Sin embargo, Varela *et al.* (2003), indicaron que el pH final de la carne en toros fue mayor que en novillos. Además, Arthaud *et al.* (1969), encontraron que la canal de novillos presentaba una textura más fina y un color brillante más deseable que en toros. Esto podría ser parcialmente atribuido al temperamento y susceptibilidad al estrés de los toros comparado con novillos. El consumo de glucógeno en las fibras musculares predispone a los bovinos y cerdos a lo que se conoce como carnes secas-firmes-duras (DFD, “dry, firm, and dark”) (Shaefer *et al.*, 2001). Hedrick *et al.* (1959) y Field (1971), sugieren que los toros son candidatos más probables para

producir cortes más oscuros que los novillos. Por esta razón, es necesario que los toros sean manejados más cuidadosamente para así minimizar el estrés y el agotamiento del glucógeno.

El momento antes del sacrificio puede tener un gran impacto en la calidad de la carne al igual que en el peso vivo y pérdidas de peso en la canal (Shaefer *et al.*, 2001). La activación del eje adrenal-pituitario-hipotalámico y otros eventos, evocan un número de cambios bioquímicos que pueden resultar en deshidratación muscular, agotamiento de iones y fuentes de energía y catabolismo proteico (Shaefer *et al.*, 2001). Los cambios fisiológicos *antemortem* tales como deshidratación y catabolismo determinan el grado de disminución en cantidad y calidad de la carne (Shaefer *et al.*, 2001).

En la revisión de literatura realizada por Field (1971), se concluye que el grado de marmoleo es uno o dos puntos más alto en novillos que en toros. Puesto que el marmoleo tiene una alta correlación con la jugosidad y el sabor (Killingner *et al.*, 2004), la carne de toros podría ser menos jugosa y con menos sabor que aquella que proviene de novillos. Sin embargo, varios estudios (Hendrick *et al.*, 1969; Watson, 1969; Jacobs *et al.*, 1977), encontraron que el sabor y la jugosidad de bisteks cocinados no fueron afectados significativamente por la condición de sexo. La carne de toros fue aceptable en términos de calidad, sin sabores indeseables o aroma alguno (Klosterman *et al.*, 1954). Hunsley *et al.* (1971), no encontraron diferencias en el sabor y jugosidad del *Longissimus* entre toros y novillos. Unruh *et al.* (1986) encontraron que los novillos tenían ventaja en cuanto a jugosidad, cantidad de tejido conectivo, suavidad miofibrilar y suavidad general de la carne respecto a los toros, aunque no se detectaron diferencias en el sabor.

Por su parte, Dikeman *et al.* (1986), encontraron superioridad en la carne de novillos en términos de suavidad y jugosidad, aunque no se encontraron diferencias en sabor. En un ensayo realizado en Costa Rica utilizando *Bos indicus*, Ardaya y Zapata (1999), no encontraron diferencias en la jugosidad y sabor del *Longissimus*. No obstante, se presentaron diferencias en marmoleo entre toros y novillos, lo cual pareciera tener algún impacto variable y mínimo sobre el sabor.

El principal responsable de la sensación de jugosidad es el contenido de agua retenida durante la cocción. Jacobs *et al.* (1977), concluyeron que la pérdida por cocción a las 24 horas fue mayor en bistecs de toros que de novillos. Esto fue parcialmente atribuido al mayor contenido de grasa intersticial (marmoleo) en la carne de novillos y al efecto de protección contra la pérdida de humedad debida a la grasa derretida por el calor. Purchas (1990), reportó mayores pérdidas por cocción en bistecs de toros comparado con novillos; sin embargo, Reagan *et al.* (1971), no encontraron diferencias en pérdidas por cocción entre toros y novillos. Similares hallazgos fueron reportados por Varela *et al.* (2003), pero Dikeman (1985), concluyó que las pérdidas en el empacado al vacío podrían ser ligeramente mayores en toros que en novillos. Aunque la mayoría de las mediciones de retención de

humedad son variables, pareciera que existe alguna ventaja (mayor retención de humedad) en novillos comparado con toros.

En general, la carne proveniente de novillos es superior a la de toros. Los toros se asocian generalmente con carnes más duras y oscuras. El grado en que esto represente una ventaja en la suavidad, color y jugosidad, depende de múltiples factores afectados por la edad del animal y prácticas de manejo antes del sacrificio. Entre estos factores están los niveles de hormonas y actividad enzimática que tienen un efecto negativo sobre la deposición de grasa, proteólisis *postmortem* y propiedades del colágeno.

### 2.1.5 Efecto de la edad de castración

En general, la castración reduce la agresividad del animal y mejora la calidad de la carne. Como consecuencia, los novillos usualmente tienen mayor valor comercial que los toros (Morón *et al.*, 2005ab). Según (Huerta-Leidenz y Ríos, 1993), las categorías de castración de acuerdo a la edad y peso del animal cuando esta se realiza, son las siguientes:

- a) Castración temprana: menos de 4 meses de edad o menos de 100 kg de peso vivo.
- b) Castración ligeramente tardía: entre 4 y 7 meses de edad o entre 100 - 250 kg de peso vivo.
- c) Castración moderadamente tardía: entre 8 y 11 meses de edad o entre 251 - 350 kg of peso vivo.
- d) Castración muy tardía: entre 13 y 15 meses de edad o entre 351 - 450 kg de peso vivo.
- e) Castración extremadamente tardía: después de 15 meses de edad o después de 450 de peso vivo.

Inmediatamente después de la castración, los terneros comienzas a perder peso y las ganancias de peso diarias decaen por un cierto tiempo. La severidad de este periodo de estrés está relacionada con la edad de castración. Dawn (1998), concluyó que la castración temprana produce menos estrés y los terneros se recuperan más rápidamente que aquellos castrados al destete. Bretschneider (2005), encontró que la castración temprana redujo las pérdidas de peso asociadas con el estrés del animal durante el período de recuperación.

Boccard y Bordes (1986), concluyeron que la castración tardía puede mejorar el peso final del animal, pero disminuye la suavidad de la carne al compararse con castración temprana. La castración tardía retarda la acumulación de tejido adiposo comparado con la castración temprana, lo cual resulta en canales con menos grasa (Muller *et al.*, 1991). Estos autores concluyeron que la castración tardía prevé una oportunidad para incrementar la producción y mejorar la composición de la canal.

Champagne *et al.* (1969), realizaron un experiment en condiciones de confinamiento ("feedlot"), en donde compararon toros y novillos castrados al



nacimiento, dos, siete y nueve meses de edad. Estos autores concluyeron que los toros ganaron más rápida y eficientemente que el grupo de los castrados. No se detectaron diferencias en área del *Longissimus* entre el grupo de los castrados y toros; sin embargo, la tendencia hacia una mayor área del *Longissimus* se presentó al incrementar la edad de castración. Los toros presentaron menos grosor de la cobertura de grasa y mayor porción comestible que todos los grupos de novillos, excepto aquellos castrados a 9 meses de edad. La proporción comestible estimada fue de 74.3% en toros, 69.1% en terneros castrados al nacimiento, 66.2% en terneros castrados a 2 meses de edad, 69.7% en terneros castrados a los 7 meses de edad y 70.1% cuando la castración se realizó a los 9 meses de edad.

Adicionalmente, las canales de toros exhibieron menos marmoleo que aquellas de las diferentes categorías de castrados, pero no se detectaron diferencias en suavidad, sabor, jugosidad y WBSF. Landon *et al.* (1978), en otro ensayo sobre efecto de la edad de castración, encontraron que las canales de toros presentaron mayores producciones de carne y menos recortes de grasa que las canales de novillos. Los novillos castrados a 7 meses de edad produjeron mayor cantidad de carne comestible y menos recortes de grasa que los animales castrados en forma temprana.

Klosterman *et al.* (1954), compararon castración temprana y tardía y concluyeron que no existieron diferencias en ganancias de peso, rendimiento canal y calidad de la canal. Los animales enteros alcanzaron mayores pesos al destete, pero una vez castrados, sus ganancias de peso disminuyeron y sus pesos fueron muy similares a los animales castrados en forma temprana.

De acuerdo a Destefanis *et al.* (2003), los resultados de comparaciones en calidad de la carne de novillos y toros son inconsistentes. Otros autores (Gregory *et al.*, 1983; Riley *et al.*, 1983; Dikeman *et al.*, 1986), encontraron que los novillos presentaban menos valores de WBSF y altos calificaciones en páneces sensoriales, particularmente para suavidad; no obstante, otros autores (Field, 1971; Calkins *et al.*, 1986; Morgan *et al.*, 1993), han encontrado poco o ningún efecto. Destefanis *et al.* (2003), no encontraron diferencias en WBSF o características sensoriales al comparar animales castrados a diferentes edades contra animales enteros. Estos autores observaron que las pérdidas en cocción en los animales castrados tardíamente fueron mayores que aquellas ocurridas en animales enteros o castrados tempranamente. En adición, estos autores concluyeron que la castración afectó la composición química de la carne al disminuir el contenido de agua e incrementar el contenido de grasa. Este efecto fue mayor para animales de castración tardía. Finalmente, los anteriores autores encontraron bajos contenidos de colágeno en animales castrados tempranamente comparados con los castrados en forma tardía, pero estas diferencias no fueron significativas.

El bienestar animal reduce la agresividad del ganado y ayuda a mejorar la calidad de la carne, lo cual apoya la práctica de la castración temprana comparada con la castración tardía. En climas tropicales y subtropicales, en donde la humedad y la temperatura son altas, creando

condiciones ideales para enfermedades y parásitos, la castración tardía podría tener inconvenientes adicionales. Además, las razas *Bos indicus* son más agresivas que las *Bos taurus*; por esta razón, la castración temprana podría ser útil como práctica de manejo. Finalmente, los consumidores están incrementando su demanda de carnes suaves y la práctica de castrarlo temprano podría limitar la producción de testosterona y así beneficiar la calidad de la carne.

## 2.2 Efecto racial

### 2.2.1 Razas *Bos indicus*

#### 2.2.1.1 Rendimiento y composición de la canal

El valor económico de las razas *Bos indicus*, principalmente Brahman, en programas de cruzamiento en los trópicos y subtrópicos, ha sido bien establecido (Carroll *et al.*, 1955; Cole *et al.*, 1963; Crockett *et al.*, 1979). El uso de *Bos indicus* en cruzamientos mejora la productividad al incrementar la resistencia a enfermedades y parásitos, mayor tolerancia a climas adversos, efectos de heterosis y variación genética aditiva (Wheeler *et al.*, 1990ab).

Crouse *et al.* (1989), concluyeron que el peso vivo final de los cruces *Bos indicus* fue menor que en los cruces *Bos taurus*. Estos autores establecieron que al incrementar la proporción de *Bos indicus* en cruces, más allá del 25%, disminuía el peso de la canal. En contraste, Koch *et al.* (1982), observaron que el F1 Brahman x Hereford-Angus mostró mayores pesos que el F1 de cruces Hereford-Angus. Koger *et al.* (1975), sugirieron que la ventaja en el incremento de peso de los cruces Brahman x Hereford-Angus podría deberse a la heterosis, estimada ser dos veces mayor en los cruces *Bos indicus* x *Bos taurus*, comparada con aquella en cruces *Bos taurus* x *Bos taurus*.

La utilización de las razas *Bos indicus*, tales como Brahman, ofrecen gran ventaja, principalmente en trópicos y subtrópicos; sin embargo, existe una amplia variedad de atributos indeseables en la palatabilidad de la carne lo cual reduce el valor del ganado Brahman. Koch *et al.* (1982) y Pringle *et al.* (1997), encontraron mayor porcentaje de rendimiento en canal para *Bos taurus* que en *Bos indicus*. En contraste, Ramsey *et al.* (1965), encontraron mayor rendimiento canal en ganado Brahman, lo que se atribuyó a un menor peso del tracto gastrointestinal, comparado con otros grupos de razas. Koch *et al.* (1982) concluyeron que los cruces Brahman presentan mayor porcentajes de rendimiento cárnico (71.05%) que la raza Tarentaise (70.2%) y Hereford-Angus (66.9%). Koch *et al.* (1982), reportó que el porcentaje de hueso fue similar entre cruces Brahman y otras razas *Bos taurus*. En un ensayo conducido por Crouse *et al.* (1989), los machos *Bos taurus* presentaron mayor grosor de la cobertura de grasa así como más grasa en riñones, area pélvica y corazón que en machos *Bos indicus*. Sin embargo, Highfill *et al.* (2011), no encontraron diferencias en las anteriores características entre razas *Bos taurus* y *Bos indicus*. Koch *et al.* (1982),

concluyeron que *Bos indicus* posee en general menor grasa pélvica y en riñones que los cruces de razas Tarentaise y Pinzgauer. Pringle *et al.* (1997), concluyeron que el grosor de la cobertura de grasa fue mayor para *Bos taurus* que para *Bos indicus* y que el porcentaje de grasa pélvica, en riñones y corazón, no fueron diferentes entre los grupos estudiados. Elzo *et al.* (2012), encontraron menor grosor de la capa de grasa y menor área del ojo del lomo (AOL) para Brahman, pero similar cantidad de grasa pélvica, en riñones y corazón cuando se comparó con Angus. Sherbeck *et al.* (1995), compararon animales 100% Hereford y ½ Hereford x ½ Brahman y no encontraron diferencias en grosor de capa de grasa ni en porcentajes de grasa pélvica, en riñones y corazón, pero el AOL fue mayor en los cruces Hereford/Brahman. Crouse *et al.* (1989), encontraron que los animales Hereford- Angus mostraban área del músculo *Longissimus* similar a cruces Brahman o Sahiwal. En contraste, Marshall *et al.* (1994), encontraron valores para AOL para ganado *Bos indicus* (Brahman, Sahiwal y Nelore) en el orden de 74.2, 74.4, y 77.8 cm<sup>2</sup>, respectivamente, mientras que para ganado *Bos taurus* (Angus, Shorthorn, y Simmental) los valores fueron 76.1, 76.2, y 82.0 cm<sup>2</sup>, respectivamente.

La resistencia a altas temperaturas y humedad en condiciones del trópico y subtropical, ha sido asociada con diferencias en acumulación y distribución de la grasa. En el ganado en general, la deposición de grasa cerca de los riñones precede la deposición de grasa intermuscular, subcutánea e intramuscular (Owens *et al.*, 1993). Sin embargo, en razas de ganado lechero y *Bos indicus*, los animales depositan más grasa internamente que subcutáneamente, comparados con razas de ganado de carne de climas templados (Kempster, 1981). Cartwright (1980), también encontró más acumulación de grasa en anca, jiba y papada en ganado criado en regiones tropicales.

El ganado *Bos taurus* generalmente presenta mayor “marmoleo” (grasa intramuscular) que *Bos indicus* cattle (Crouse *et al.*, 1989; Marshall, 1994). Se ha documentado que las razas *Bos indicus* son conocidas por su capacidad limitada de depositar grasa intramuscular; así, la regla general es que conforme aumenta el porcentaje de sangre *Bos indicus*, el “marmoleo” decrece (Koch *et al.*, 1982; Crouse *et al.*, 1989). Pringle *et al.* (1997), concluyeron que tanto el grosor de la capa de grasa como el “marmoleo” fueron mayores en *Bos taurus* que en *Bos indicus*. Sin embargo, Highfill *et al.* (2011), no encontraron diferencias en grasa intramuscular en los músculos *Longissimus lumborum*, *Psoas major*, *Gluteus medius* y *Semitendinosus* entre ganado *Bos indicus* y *Bos taurus*. Koch *et al.* (1982), indicaron que *Bos indicus* (Brahman y Sahiwal) mostraron menor grado de “marmoleo” que los animales *Bos taurus*. Marshall *et al.* (1994), concluyeron que Brahman y Sahiwal (ambas razas *Bos indicus*), fueron similares en “marmoleo” a varias razas europeas *Bos taurus*, pero mostraron menor suavidad en su carne. En general, los contenidos de cortes y hueso fueron similares cuando se comparó ganado *Bos indicus* y *Bos taurus*. Las mayores diferencias ocurrieron en la composición de la canal, donde los animales *Bos indicus* mostraron menos grosor de la capa de grasa y menor grasa intramuscular y menor AOL.

### 2.2.1.2 Calidad de la carne

La terneza o suavidad de la carne, es la característica que más preocupa al consumidor de ganado *Bos indicus*. Las causas posibles de una mayor dureza de la carne de *Bos indicus* comparada con la de *Bos taurus* son el grado de “marmoleo”, la cantidad de tejido conectivo resistente a calor y diferencias enzimáticas responsables de la degradación de la proteína miofibrilar (Marshall, 1994). La mayoría de los estudios (Koch *et al.*, 1982; Crouse *et al.*, 1987; Whipple *et al.*, 1990; Marshall, 1994; Pringle *et al.*, 1997) al comparar la terneza de la carne entre *Bos indicus* y *Bos Taurus*, han observado que la carne obtenida de cruces de razas *Bos indicus* fueron menos suaves que aquellas obtenidas de razas *Bos taurus*. En otro estudio, O'Connor *et al.* (1997), compararon la carne de novillos 3/8 *Bos indicus* con la de novillos *Bos taurus* y encontraron que los bistecs de *Bos taurus* recibieron una mejor calificación en suavidad por un panel sensorial, comparados con los de *Bos indicus*. La diferencia en suavidad de la carne entre cruces de razas *Bos taurus* es menor que la diferencia entre cruces de las razas *Bos indicus* y *Bos taurus* (Koch *et al.*, 1976, 1979, 1982). En general, la carne de animales con algún grado de cruzamiento con *Bos indicus* es menos suave que la carne proveniente de sangre de razas solamente *Bos taurus*.

El valor de fuerza de corte (Warner-Bratzler shear force –WBSF-) para *Longissimus lumbarum*, *Gluteus medius*, y *Psoas major* de ganado *Bos indicus* fue mayor (más dura) que aquel de *Bos taurus* (Highfill *et al.*, 2011). Shackelford *et al.* (1995b), reportaron que la suavidad de *Longissimus lumbarum*, *Gluteus medius* y *Psoas major* decreció conforme el porcentaje de sangre *Bos indicus* incrementó. Elzo *et al.* (2012), encontraron valores mayores de WBSF para Brahman que para Angus. Crouse *et al.* (1989), resumieron los resultados de varios trabajos reportados en la literatura y encontraron que los bistecs de animales Brahman y sus cruces, fueron menos suaves (mayores valores de WBSF) que aquellos de razas británicas, sin embargo, tales diferencias no fueron siempre significativas. Sherbeck *et al.* (1995), reportaron mayores valores de WBSF conforme incrementó la sangre Brahman en el cruce. Marshall (1994), concluyó que conforme la proporción de *Bos indicus* incrementa, el valor de WBSF también incrementa y los valores de “marmoleo” y suavidad sensorial disminuyen. Este incremento en WBSF y disminución en suavidad sensorial con incrementos en proporción de sangre *Bos indicus*, tendió a ser más pronunciado en Sahiwal que en Brahman.

La actividad enzimática proteolítica en ganado de carne ha sido considerada como un factor importante en la suavidad de la carne. El sistema de calpaínas, el cual consiste de dos enzimas Ca-dependientes, la  $\mu$ -calpaína y la  $m$ -calpaína, y su inhibidor, la calpastatina, se cree que constituyen el principal sistema proteolítico enzimático involucrado en “tenderización” *postmortem* en carnes maduras (Kochmariaie, 1988, 1992). El incremento en la actividad de la calpastatina a las 24 h *postmortem*, ha

sido propuesto como el mayor responsable de las diferencias en suavidad de la carne *Bos indicus* y *Bos taurus* (Whipple *et al.*, 1990). Ambos, Angus rojo y Simmental, presentaron menos actividad de la calpastatina a las 24 horas que la presentada en ganado Brahman (O'Connor *et al.*, 1997). Elzo *et al.* (2012), encontraron que la actividad de la calpastatina incrementó linealmente y la actividad de la  $\mu$ -calpain disminuyó conforme la proporción de sangre Brahman incrementó. Los mayores niveles de calpastatina han sido asociados con mayores porcentajes de sangre Brahman (Pringle *et al.*, 1997). El incremento en la actividad de calpastatina en *Bos indicus*, es responsable de una limitada “tenderización” *postmortem*, debido al bloqueo del proceso natural de “tenderización” por la  $\mu$ -calpain (Pringle *et al.*, 1997). Varios autores (Johnson *et al.*, 1990; Wheeler *et al.*, 1990a; Whipple *et al.*, 1990; Shackelford *et al.*, 1991), han reportado aumentos en la actividad de la enzima Ca-dependiente proteasa inhibidora (calpastatina), en *Bos indicus*, comparado con *Bos taurus*. Johnson *et al.* (1990), reportaron reducida actividad total de cathepsin B + L en *Bos indicus* comparado con Angus, mientras que Wheeler *et al.* (1990), Whipple *et al.* (1990), y Shackelford *et al.* (1991), no reportaron diferencias en la actividad de cathepsin B y B + L entre *Bos indicus* y *Bos taurus*. Cundiff (1993), sugirió que la selección por baja actividad de calpastatina, podría ser especialmente útil para mejorar la suavidad de la carne de ganado *Bos indicus*, debido a la inherente característica de esta raza a presentar alta actividad de calpastatina y su correspondiente tendencia a producir carnes duras. La heredabilidad de la suavidad de la carne es aproximadamente 0.4, considerándose que es una característica altamente heredable y que por tanto puede hacerse selección para mejorar la suavidad (Dikeman *et al.*, 2005). Sin embargo, la heredabilidad estimada para fuerza de corte disminuye al incrementar la proporción de sangre Brahman (Elzo *et al.*, 1998). En contraste, Crews y Franke (1998), reportaron los mayores estimados de heredabilidad (0.24 a 0.36) para fuerza de corte en novillos  $\frac{1}{2}$  o mayor sangre Brahman, comparado con los valores para novillos  $\frac{1}{4}$  o menos de sangres Brahman (heredabilidad =0.20). En concordancia con lo anterior, Robinson *et al.* (2001), reportaron una heredabilidad estimada de 0.11 para fuerza de corte en ganado Hereford, Angus, Shorthorn y Murray Grey, mientras para ganado tropicalmente adaptado, tal como Brahman, Belmont Red y Santa Gertrudis, el estimado fue de 0.38. Riley *et al.* (2003), establecieron que la heredabilidad estimada para características relacionadas con la suavidad de la carne en ganado Brahman, incluyendo fuerza de corte, actividad *postmortem* de la calpastatina, calificación de suavidad en panel sensorial, grado de jugosidad y cantidad de tejido conectivo, fue baja, indicando que el mejoramiento por selección de estas características sería bajo.

Crouse *et al.* (1989), concluyeron que la carne de *Bos taurus* presenta una textura más fina y menos oscura en su color que la carne de *Bos indicus*. Por otra parte, se observó que las carnes de diferentes grupos de razas fueron similar en jugosidad y sabor (deseable o indeseable –“off-flavor”). Elzo *et al.* (2012), compararon seis características de palatabilidad en Angus y Brahman y no encontraron diferencias en sabor y “off-flavor”, sin embargo, la evaluación de terneza, tejido conectivo y jugosidad, fueron favorables para Angus. Johnson *et al.* (1990), no encontraron diferencias entre Angus y

Brahman para características de sabor y “off-flavor”, pero la carne de Angus y  $\frac{1}{4}$  Brahman fue mas jugosa que la  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  Brahman. Sherbeck *et al.* (1995), reportaron diferencias significativas en jugocidad y suavidad cuando compararon carnes de animales 100% Hereford y  $\frac{1}{2}$  Hereford x  $\frac{1}{2}$  Brahman maduras a 6 y 18 d, pero no existieron diferencias en sabor. Pringle *et al.* (1997), en evaluación con panel sensorial, concluyeron que la calificación en jugocidad e intensidad de sabor disminuyó linealmente conforme el porcentaje de Brahman incrementó, siendo esto explicado por la misma tendencia en “marmoleo”. Koch *et al.* (1982), evaluaron palatabilidad y jugocidad y encontraron resultados menores para Brahmman y Sahiwal que para el grupo de razas *Bos taurus*; las calificaciones en intensidad de sabor mostraron la menor variación entre los grupos.

La adaptación tropical de los animales debida al plano nutricional y al tipo de uso que se le dió, podría resultar en selección animal por diferencias en estructura y envejecimiento de las células musculares, lo cual ha sido sugerido que contribuye a las diferencias en suavidad entre razas *Bos indicus* y *Bos taurus* (Oddy *et al.*, 2001). Estas y otros tipos de estrés ambiental pueden tener una influencia dramática sobre características de la canal y palatabilidad (Burrow *et al.*, 2001). Crouse *et al.* (1989), concluyeron que estos problemas en la suavidad de la carne parecieran que son independientes del ambiente en el cual los animales producen.

Las diferencias en suavidad son más probablemente relacionadas a la fragmentación de los componentes miofibrilares del músculo y en menor grado a la proporción de tejido conectivo. O'Connor *et al.* (1997), sugirieron una estrategia viable para mejorar la suavidad de la carne en razas con tolerancia al calor. Estos autores propusieron el uso de períodos adecuados de maduración *postmortem* para mejorar la suavidad de todos los cortes de ganado *Bos indicus*. Una segunda estrategia sería seleccionar por suavidad vía pruebas de progenie en razas *Bos indicus* y sus cruce con razas *Bos taurus*. Finalmente, utilizar germoplasma de *Bos taurus* trropicalmente adaptados para sustituir *Bos indicus* en el desarrollo de razas compuestas para tolerancia al calor.

### **2.3 Maduración de la carne *postmortem***

La maduración es una técnica *postmortem* que mejora la palatabilidad de la carne y está entre las opciones más populares para mejorar la calidad (Dransfield, 1994). La carne puede ser “madurada en húmedo” (mantenida por un tiempo empacada al vacío o “madurada en seco” (mantenida por un tiempo sin empacado), permitiendo tiempo para que ocurra degradación de la miofibrillas debido a la pérdida de integridad de los sarcómeros en la línea Z (Smith *et al.*, 2008). Olson y Parrish (1977) y Koohmaraie, (1994), concluyeron que la proteólisis *postmortem* de la proteína miofibrilar conduce a la fragmentación de la fibra muscular y que esta es la principal causa del mejoramiento en la suavidad de la carne.

El incremento en el tiempo de maduración está asociado a la disminución de la influencia miofibrilar sobre la terneza, por lo tanto la influencia de la maduración en las proteínas estromales es menor que en el caso de las proteínas miofibrilares (Riley *et al.*, 2005).

El sistema de calpaína, el cual consiste en dos enzimas Ca-dependientes ( $\mu$ -calpain y m-calpain, y un inhibidor, la calpastatina), es el principal sistema proteolítico enzimático relacionado con la “tenderización” *postmortem* de la carne madura (Koochmariaie, 1988, 1992). Dransfield (1994) concluyó que la  $\mu$ -calpaina es activada a pH 6.3 aproximadamente 6 h después del sacrificio y que la m-calpaína es activada por iones de calcio aproximadamente a las 16 h después del sacrificio y que ambas formas de calpaínas llegan a ser menos activas al incrementar el tiempo de almacenamiento. Crouse *et al.* (1991), establecieron que la actividad de las calpaínas disminuye con el tiempo y sugirieron que la proteólisis *postmortem* se completa a los 6 días.

Stolowski *et al.* (2006), evaluaron la actividad de la calpastatina en ganado  $\frac{3}{4}$  Angus  $\times$   $\frac{1}{4}$  Brahman y encontraron que el *Triceps brachii* y *Vastus lateralis* tenían la más alta actividad de calpastatina mientras que *Gluteus medius* y *Longissimus* presentaron la menor actividad, siendo el *semitendinosus* un músculo con actividad intermedia. La maduración *postmortem* es una práctica de manejo importante que puede consistentemente mejorar la suavidad de la carne (Tatum *et al.*, 1999).

### 2.3.1 Diferencias entre músculos

Un trabajo elaborado por “The National Beef Tenderness Survey” en Estados Unidos, indicó que 17 días es el promedio de tiempo necesario para alcanzar una adecuada suavidad de la carne (Morgan *et al.*, 1991). Sin embargo, músculos individuales responden en forma diferente en el grado de mejoramiento en suavidad como consecuencia de maduración *postmortem*; esto es debido a la tasa y grado de disminución del pH y actividad de las calpaínas (Ilian *et al.*, 2001), y por tanto en el grado de degradación proteolítica (Taylor *et al.*, 1995; Rhee *et al.*, 2004). Numerosos estudios (Smith *et al.*, 1978; Eilers *et al.*, 1996; Bratcher *et al.*, 2005; Gruber *et al.*, 2006), han sido llevados a cabo para identificar el tiempo óptimo de maduración *postmortem* para cortes o músculos específicos. El efecto de la maduración en cuatro músculos seleccionados es mostrado en el cuadro 1.

El tiempo de maduración para lograr una “tenderización” óptima varía según el músculo y según el sistema de calificación (USDA Quality Grades). Bratcher *et al.* (2005), evaluaron el *Infraespinatus*, *Triceps brachii-lateral head*, *Triceps brachii-long head*, *Serratus ventralis, Complexus*, *Splenius*, *Rhomboideus*, *Vastus lateralis*, y *Rectus femoris* y concluyeron que los músculos de las dos terceras partes superiores del sistema del USDA Choice no necesitaban periodos de maduración más allá de 7 días, mientras que músculos pertenecientes al USDA Select, debían ser madurados al menos 4 días. Para alcanzar la respuesta óptima a maduración en 17 músculos

estudiados, Gruber *et al.* (2006) recomendaron 20 o más días si la carne correspondía a canales clasificadas como USDA Select, pero 10 de los 17 músculos requeriría 18 o menos días si ellos correspondían a canales de las dos terceras partes superiores del USDA Choice. Stolowski *et al.* (2006), agruparon los músculos de acuerdo a diferentes categorías según maduración/suavidad y concluyeron que *Gluteus medius* y *Longissimus* fueron suaves con una repuesta continua y gradual a maduración hasta los 42 días; el *Semitendinosus* fue ligeramente duro con una respuesta gradual a la maduración después de 28 d y el *Biceps femoris* fue duro y sin respuesta a la maduración. Stolowski *et al.* (2006), concluyeron que el contenido total de colágeno estuvo relacionado con la respuesta a la maduración y que esto fue más alto para los músculos *Biceps femoris* y *Vastus lateralis*, mientras que el *Longissimus* y *Gluteus medius* mostraron el menor contenido de colágeno. Los músculos con el más alto contenido de colágeno también presentaron el más alto valor WBSF. La solubilidad del colágeno también fue alta para *Longissimus*, seguida por el *Gluteus medius* y *Semitendinosus*. El mejoramiento en la suavidad de la carne como respuesta a la maduración, varía según el músculo y puede estar relacionada con diferencias en las propiedades del colágeno, capacidad proteolítica y deposición de lípidos dentro del músculo.

### 2.3.2 Efecto de raza

Los bistecs de lomo ancho de novillos *Bos taurus* presentaron una tasa de “tenderización” *postmortem* mucho más rápidas entre 1 y 4 días que aquellos provenientes de novillos *Bos indicus* (O’Connor *et al.*, 1997). Consecuentemente, los valores de WBSF fueron sustancialmente menores para carnes de *Bos taurus* a 4 días y se mantuvieron bajos a 14, 21 y 35 días de maduración. De 7 a 35 días, la tasa de “tenderización” debida a la maduración fue ligeramente más rápida para carnes de novillos 3/8 *Bos indicus* que para aquellos de novillos *Bos taurus*. La menor tasa de “tenderización” durante los primeros 7 días *postmortem* para novillos 3/8 *Bos indicus* estuvo probablemente asociada con la alta actividad de la calpastatina. Estos autores concluyeron que debido a las diferentes tasas de “tenderización” *postmortem*, la carne de *Bos taurus* y *Bos indicus* requeriría diferentes períodos de maduración para alcanzar grados aceptables de maduración para asegurar una suavidad aceptable. Stolowski *et al.* (2006), establecieron que el envejecimiento *postmortem* puede mejorar los valores de WBSF hasta los 14 días. Sin embargo, la maduración *postmortem* más allá de 14 días puede no ser efectiva en el mejoramiento de la suavidad (WBSF) en carnes de animales con gran influencia *Bos indicus*. Stolowski *et al.* (2006), concluyeron que la raza está asociada con las diferencias inherentes en la suavidad de los músculos; estas diferencias sin embargo, fueron limitadas a la tasa de envejecimiento *postmortem* y actividad de la calpastatina.



### 2.3.3 Pérdidas de agua:

El envejecimiento de la carne o maduración, puede tener un efecto potencial en las pérdidas de agua durante el empacado al vacío, descongelamiento y cocido. Wheeler *et al.* (1999b), encontraron pérdidas más altas durante el descongelamiento en carnes maduradas 3 días que en aquellas maduradas 14 días. Esto puede ser parcialmente explicado por la siguiente relación: conforme el tiempo de empacado aumenta, el drenaje de líquidos en empaque y pérdidas de humedad también aumentan. Sin embargo, George-Evins *et al.* (2004), encontraron que carnes maduradas 7 días presentaban mayores porcentajes de pérdidas por descongelamiento que carnes maduradas 21 días; pero carnes maduradas entre 14 y 21 días mostraron mayores porcentajes de pérdidas durante el cocido que aquellos madurados 7 días. En contraste, Wheeler *et al.* (1990), reportaron mayores pérdidas por cocido para carnes maduradas 7 días comparadas con aquellas maduradas 14, 21 o 28 días. No obstante, Morgan *et al.* (1993), no encontraron diferencias en pérdidas por cocción para carnes maduradas 1, 7 y 14 días. Arce y Murillo (2004), concluyeron que las pérdidas por cocción en *Longissimus* fueron estadísticamente diferentes (más altas) cuando la carne se maduró por 28 días que cuando se maduró por 2, 7, 14, y 21 días. Aunque los resultados no son concluyentes y además son variables, las pérdidas totales de agua generalmente incrementan conforme el tiempo de maduración también incrementa.

## 2.4 Propiedades de los músculos

Propiedades de los músculos tales como contenido de grasa, capacidad de retención de agua, fragmentación de las miofibrillas, actividad de la calpastatina, actividad de  $\mu$ -calpain, largo de los sarcomeros y cantidad de tejido conectivo, pueden ser influenciados por múltiples factores tales como prácticas de manejo en finca, genética, procesamiento *postmortem* y temperaturas de cocción. Por lo tanto, es necesaria la identificación de los músculos para un tratamiento particular durante su preparación y venta de acuerdo a las diferencias en valor. Identificar las características inherentes a los músculos podría ser útil para aplicar técnicas tales como la maduración que permitan mejorar su calidad y valor. Las propiedades de los cuatro músculos investigados en el presente trabajo son descritas en el cuadro 2. A continuación se mencionan algunas de estas propiedades y sus relaciones.

### 2.4.1 Suavidad o “terneza”

La suavidad de la carne de res cocida es determinada por la cantidad de tejido conectivo que permanece insoluble después del proceso de cocción, de la cantidad de agua intramuscular y del “marmoleo” que permanece después de la cocción y de la integridad de los sarcómeros, miofibrillas y fibras musculares al momento que la carne es consumida (Smith *et al.*, 2008).

La suavidad de la carne cocida puede ser medida mediante panel sensorial o mecánicamente por WBSF. Para un panel sensorial, la suavidad puede ser descrita como la suavidad de la miofibrilla, la cantidad de tejido conectivo o como la suavidad total (Savell *et al.*, 1982). Otremba *et al.* (1999), describieron la suavidad miofibrilar como la percepción de cuan dura o cuan suave son los componentes miofibrilares. Esta percepción es determinada por la suavidad de la carne al contacto con la lengua y la mejilla, suavidad en la presión con los dientes y la suavidad con la cual la fibra muscular se rompe (Blumer, 1963). La cantidad de tejido conectivo se define como la porción que permanece después de la masticación previo a ser tragada. La suavidad total es la percepción de cuan dura o cuan suave es la muestra de carne al completarse la masticación.

El parámetro “Warner–Bratzler shear force” o fuerza de corte utilizando el aparato Warner–Bratzler, ha probado ser una medida efectiva de la suavidad y se utiliza como un indicador de suavidad comparativo (Arthaud *et al.*, 1969). Warner-Bratzler shear force evalúa la suavidad de la carne mediante la medición de la cantidad de fuerza en kilogramos para cortar una muestra cilíndrica de carne de 1/2 pulgada de diámetro (AMSA, 1995). Existe una alta correlación ( $r=0.78$ ) entre el valor WBSF y el panel sensorial (Gruber *et al.*, 2006). Shackelford *et al.* (1995), reportó una alta correlación ( $r=.70$ ) cuando evaluó suavidad mediante panel sensorial y Warner-Bratzler. Otremba *et al.* (1999), determinaron una correlación de 0.54 y 0.56 entre el panel sensorial y el WBSF en *Longissimus* y *Semitendinosus* en cocción a 71 °C (temperatura interna). Huffman *et al.* (1996), concluyeron que WBSF de 4.1 kg podría ser utilizado como el valor límite bajo el cual el 98% de los consumidores de carne domésticos y en restaurantes encuentran la carne de *Longissimus* aceptable en suavidad. El valor WBSF es una medida aceptada y altamente efectiva para predecir la suavidad y aceptabilidad de la carne por los consumidores. La carne proveniente de diferentes músculos tiene diferentes propiedades y por lo tanto diferentes propiedades (Cuadros 1 y 2). Shackelford *et al.* (1995), compararon la suavidad de 10 principales músculos utilizando WBSF. Estos autores reportaron diferencias significativas en suavidad entre los diferentes músculos, encontrando la siguiente relación: *Psoas major* = *Infraspinatus* > *Triceps brachii* = *Longissimus* > *Semitendinosus* = *Gluteus medius* = *Supraspinatus* > *Biceps femoris* = *Semimembranosus* = *Quadriceps femoris*. En un estudio similar, (Rhee *et al.*, 2004) compararon los valores WBSF 11 diferentes músculos y encontraron diferencias significativas, siendo *Psoas major* el que presentó el menor valor seguido por *Infraspinatus*, mientras que *Adductor* y *Supraspinatus* presentaron los valores más altos. Highfill *et al.* (2012), compararon *Longissimus*, *Gluteus medius*, *Semitendinosus* y *Psoas major* provenientes de *Bos indicus* y *Bos taurus* y encontraron que las carnes de *Bos taurus* fueron más suaves que aquella de *Bos indicus*. Las carnes de *Bos taurus* presentaron ventajas en el contenido de lípidos intramuscular lo cual pudo contribuir a una mayor suavidad. Adicionalmente, cuando se comparó la suavidad en *Bos indicus*, el orden de suavidad fue: *Psoas major* > *Longissimus* > *Gluteus medius* > *Semitendinosus*. Algunos músculos (*Longissimus* y *Gluteus medius*) parecieron tener mayor variabilidad que otros (*Psoas major* y *Semitendinosus*).

#### 2.4.2 Jugocidad y pérdidas de agua

La habilidad de la carne fresca para retener humedad es argumentablemente una de las características de calidad más importante del producto crudo (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005). La mayor parte del agua en el músculo es mantenida dentro de las miofibrillas, entre las miofibrillas, entre las miofibrillas y la membrana celular (sarcolema), entre las células musculares y entre los haces musculares. El agua puede ser clasificada como “ligada” al músculo (no fácilmente removible), agua inmovilizada la cual es mayoritariamente afectada por *rigor mortis* y la conversión de músculo a carne y finalmente, el agua que fluye o drena del tejido sin dificultad. Por lo tanto, la manipulación de la proteína miofibrilar, la estructura de las células musculares y la cantidad de espacio extracelular dentro del músculo mismo, son factores que pueden influenciar la retención de agua (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005).

La jugosidad es la cantidad de líquido obtenido a partir del masticado inicial de la muestra de carne. La jugosidad está relacionada con el contenido de humedad y de lípidos ya que ello estimula la salivación y la percepción sensorial de jugocidad (Blumer, 1963). La grasa estimula el flujo de salida con el resultado neto de un incremento en la jugosidad. Cualquier otra porción de jugocidad atribuible a la grasa de la carne debe venir principalmente de ácidos grasos pues la grasa de la carne contiene solo un 10% de agua (Blumer, 1963).

Highfill *et al.* (2012), reportaron pérdidas en el cocido de carnes maduradas por 10 días en el orden de 23.6, 30.0, y 29.9% para *Longissimus*, *Psoas major* y *Gluteus*, respectivamente. Wheeler *et al.* (1999b), cocinaron bistecs de lomo ancho hasta temperaturas finales de 60, 70, u 80 °C y encontraron pérdidas por cocción de 13.5, 18.2, and 23.6%, respectivamente. En un estudio hecho por Feoli (2002) en Costa Rica utilizando razas *Bos indicus*, se trabajó con lomo ancho, lomito, y vuelta de lomo madurados 5 días. Este autor reportó pérdidas por descongelación de 7.4%, 4.2%, y 4.1% respectivamente, y pérdidas por cocción para lomo ancho, lomito y vuelta de lomo de 25.7%, 22.2%, y 27.2% respectivamente. Highfill *et al.* (2012), determinaron pérdidas por cocción en *Longissimus*, *Gluteus medius*, y *Psoas major* en el orden de 23.6%, 29.9%, y 30.0% respectivamente.

Según Jones *et al.* (2004), la capacidad de retención de agua (Cuadro 2) es ligeramente mayor para *Gluteus medius* > *Longissimus* > *Semitendinosus* > *Psoas major*. Además, la humedad es ligeramente mayor para *Semitendinosus* > *Psoas major* > *Gluteus medius* > *Longissimus*. Adicionalmente, (Cuadro 2) Rhee *et al.* (2004), concluyeron que las pérdidas por cocción para estos músculos se ordenan de la siguiente manera: *Semitendinosus* > *Psoas major* = *Gluteus medius* > *Longissimus*. Para la característica de jugocidad, el orden es *Psoas major* > *Gluteus medius* >

*Longissimus* > *Semitendinosus*, pero Sullivan y Calkins (2011) encontraron que el orden de jugosidad es *Longissimus* > *Psoas major* > *Gluteus medius* > *Semitendinosus*.

#### 2.4.3 Sabor de la carne

El sabor es la combinación de varias interacciones de componentes químicos incluyendo proteínas, lípidos y carbohidratos (Spanier *et al.*, 1997) y un atributo muy complejo de palatabilidad de la carne (Calkins y Hodgen, 2007). La intensidad del sabor de la carne es definida como la intensidad con la cual la muestra de carne es reconocida distintivamente como carne de res y no como carne de otra especie. El sabor consiste en la presencia de compuestos activos detectados por el sentido del gusto, agentes estimulantes del sabor y aroma y más de 880 compuestos actualmente identificados en el producto final cocinado (Stelzleni y Johnson, 2008). El desarrollo de “off-flavor” en la carne, es afectado por varios factores, dentro de los cuales se incluye la nutrición, el sexo del animal, la edad, la raza, maduración de la carne, tipo de músculo, método de cocido y tipo de almacenamiento (Spanier *et al.*, 1997). Las características “off-flavor” se desarrollan con la maduración (Calkins y Hodgen, 2007) debido a que la carne contiene compuestos nitrogenados que pueden ser formados por degradación natural que ocurre durante dicho proceso, algunos de estos compuestos son responsables de conferir a la carne madura el desarrollo de un olor particular. Según Rhee *et al.* (2004), en un ejercicio por categorizar la intensidad del sabor de la carne, reportaron los siguientes resultados (Cuadro 2): *Longissimus* > *Gluteus medius* = *Semitendinosus* > *Psoas major*. Sin embargo, estos autores encontraron características “off-flavor” de mayor a menor en el siguiente orden *Psoas major* > *Gluteus medius* = *Semitendinosus* > *Longissimus*. Sullivan y Calkins (2011), obtuvieron la misma categorización para características de intensidad del sabor de la carne. Lorenzen *et al.* (2003), concluyeron que la intensidad del sabor de la carne fue ligeramente mayor para *Gluteus medius* que para *Longissimus* steaks.

**Cuadro 1. Valores de “Warner-Bratzler shear force” (WBSF) para grado “select” Longissimus, Psoas major, Gluteus medius, y Semitendinosus, madurados por 2, 6, 14, y 28 días <sup>1</sup>.**

Músculo	Días de maduración			
	2 d	6 d	14 d	28 d
<i>Longissimus</i>	6.7	5.9	5.0	4.3
<i>Psoas major</i>	4.6	4.2	3.7	3.3
<i>Gluteus medius</i>	6.2	5.9	5.4	4.7
<i>Semitendinosus</i>	6.4	5.7	5.2	4.8

<sup>1</sup> Estimaciones de valores para “Warner-Bratzler shear force”, según curvas de maduración de Industry Guidelines for Aging Beef, NCBA 2006.

**Cuadro 2. Promedios generales para propiedades físicas y sensoriales de músculos seleccionados.**

Característica	Músculo			
	<i>Gluteus medius</i>	<i>Longissimus</i>	<i>Psoas major</i>	<i>Semitendinosus</i>
pH <sup>1</sup>	5.7	5.6	5.7	5.7
Capacidad de retención de agua	45.7	44.2	43.7	44.0
L* <sup>1</sup>	32.6	40.6	34.4	38.3
a* <sup>1</sup>	28.3	31.1	34.1	28.0
b* <sup>1</sup>	21.7	24.0	20.9	21.8
Grasa <sup>1</sup> , %	4.8	4.6	5.7	2.9
Humedad <sup>1</sup> , %	74.4	74.2	74.5	75.9
Cenizas <sup>1</sup> , mg/g	1.6	1.5	1.6	1.4
Proteína <sup>1</sup> , mg/g	19.3	19.7	18.3	19.7
Colágeno <sup>2</sup> , mg/g	4.3	4.5	2.7	8.7
WBSF, kg	4.4	4.0	3.0	4.3
Longitud de Sarcómero <sup>2</sup> , μm	1.8	1.8	2.9	2.1
Pérdidas por cocido <sup>2</sup> , %	23.6	20.7	23.6	27.4
Tejido conectivo <sup>2</sup>	6.2	6.9	7.7	5.6
Intensidad del sabor <sup>2</sup>	4.1	4.4	3.9	4.1
Jugocidad <sup>2</sup>	5.1	5.1	5.2	4.8
“Off flavor” <sup>2</sup>	2.4	2.7	2.2	2.4
Suavidad total <sup>2</sup>	4.7	5.7	7.4	4.1

<sup>1</sup>Jones *et al.* (2004).

<sup>2</sup>Rhee *et al.*, (2004).

Las características sensoriales fueron evaluadas con una escala de 1 a 8 para cantidad de tejido conectivo (1 = abundante, 8 = ninguno), Intensidad del sabor (1 = extremadamente insípido, 8 = extremadamente intenso), jugocidad (1 = extremadamente seca, 8 = extremadamente jugosa), “off flavor” (1 = extremadamente intenso, 8 = ninguno), y suavidad total (1 = extremadamente dura, 8 = extremadamente suave).

### 3. Bibliografía consultada en el marco teórico

- AMSA. 1995. Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation and Instrumental Tenderness Measurements of Fresh Meat. American Meat Sci. Association in cooperation with National Livestock and Meat Board, Chicago Illinois.
- Albaugh, A., F. D. Carrol, K. W. Ellis, and R. Albaugh. 1975. Comparison of carcasses and meat from steers, short scrotum bulls and intact bulls. *J. Anim. Sci.* 41:1627-1631.
- Arce, E., and Murillo, O. 2004. "Efecto de la maduración sobre la suavidad de la carne de animales cebuínos en pastoreo". Thesis. Escuela de Agronomía. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Alajuela (ITCR), Costa Rica.
- Ardaya, J., and Zapata, P. 1999. "Efecto de la castración en la ganancia de pesoel rendimineto y calidad de canal de bovinos machos semiestabulados". Thesis. Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (EARTH). Limón, Costa Rica.
- Arthaud, V. H., C. H. Adams, D. R Jacobs, and R. M. Koch. 1969. Comparison of carcass traits of bulls and steers. *J. Anim. Sci.* 28:742-745.
- Arthaud, V. H., R. W. Mandigo, R. M. Koch, and A. W. Kotula. 1977. Carcass composition, quality and palatability attributes of bulls and steers fed different energy levels and killed at four ages. *J. Anim. Sci.* 44:53-64.
- Bailey, A. J., D. J. Restall, T. J. Sims, and V. C. Duance. 1979. Meat tenderness: Immunofluorescent localization of the isomorphic forms of collagen in bovine muscles of varying texture. *J. Sci. Food Agr.* 30:203-210.
- Barnes, M. A., G. W. Kazmer, G. P. Birrenkott, and L. W. Grimes. 1983. Induced gonadotropin release in adrenocorticotropin-treated bulls-steers. *J. Anim. Sci.* 56:155-161.
- Bauman, D. E., J. H. Eisemann, and W. B. Currie. 1982. Hormonal effects on partitioning for tissue growth: Role of growth hormone and prolactin. *Fed. Proc.* 41:2538-2544.
- Bavera, G. A., and C. H. Peñafort. 2005. Evaluación exterior de los signos de fertilidad y subfertilidad de un rodeo. Cursos de Producción Bovina de Carne, FAV UNRC. Pp 1-15.
- Beitz, D. C. 1985. Physiological and metabolic systems important to animal growth: An overview. *J. Anim. Sci.* 61(Suppl.2):1-20.
- Berg, R. T., and R. M. Butterfield. 1968. Growth patterns of bovine muscle fat and bone. *J. Anim. Sci.* 27:611-619.
- Bidner, T. D., A. R. Schupp, R. E. Montgomery, and J. C. Carpenter. 1981. Acceptability of beef finished on all-forage, forage plus- grain or high energy diets. *J. Anim. Sci.* 53:1181-1187.
- Bidner, T. D., A. R. Schupp, A. B. Mohamad, N. C. Rumore, R. E. Montgomery, C. P. Bagley, and K. W. Mc Millin. 1986. Acceptability of beef from Angus-Hereford or Angus-Hereford-Brahman steers finished on all forage or a high energy diet. *J. Anim. Sci.* 62:381-387.

- Blumer, T. N. 1963. Relationship of marbling to the palatability of beef. *J. Anim. Sci.* 22:771-778.
- Boccard, R., and P. Bordes. 1986. Caracteristiques qualitatives et technologiques des viandes bovines: influence des facteurs de production. In D. Micol (Ed.), *Production de viande bovine* Paris: INRA. Pp 61-84.
- Boccard, R., R. T. Naude, D. E. Cronje, M. C. Smith, H. J. Venter, and E. J. Rossouw. 1979. The influence of age, sex and breed of cattle on their muscle characteristics. *Meat Sci.* 3:261-279.
- Bowling, R. A., J. K. Riggs, G. C. Smith, Z. L. Carpenter, R. L. Reddish, and O. D. Butler. 1978. Production, carcass and palatability characteristics of steers produced by different management systems. *J. Anim. Sci.* 46:333-340.
- Brannang, E. 1966. The effect of castration and age of castration on the growth rate, feed conversion and carcass traits of Swedish red and white cattle. *Lantbrukshogskolansannaler* 32. Pp 329-415.
- Bratcher, C. L., D. D. Johnson, R. C. Littell, and B. L. Gwartnery. 2005. The effects of quality grade, aging and location within muscle on Warner-Bratzler shear force in beef muscles of locomotion. *Meat Sci.* 70:279-284.
- Bretschneider, G. 2005. Effects of age and method of castration on performance and stress response of beef male cattle. *Liv. Prod. Sci.* 97:89-100.
- Brooks, J. C., J. B. Belew, D. B. Griffin, B. L. Gwartney, D. S. Hale, W. R. Henning, D. D. Johnson, J. B. Morgan, F. C. Parrish, Jr., J. O. Reagan, and J. W. Savell. 2000. National Beef Tenderness Survey - 1998. *J. Anim. Sci.* 78:1852-1860.
- Burrow, H. M., S. S. Moore, D. J. Johnston, W. Barendse, and B. M. Bindon. 2001. Quantitative and molecular genetic influences on properties of beef: A review. *Aust. J. Exp. Agric.* 41:893-920.
- Burson, D. E., M. C. Hunt, J. A. Unruh, and M. E. Dikeman. 1986. Proportion of types I and III collagen from bulls and steers. *J. Anim. Sci.* 63:453-456.
- Calkins, C. R., D. C. Clanton, T. J. Berg and J. E. Kinder. 1986. Growth, carcass and palatability traits of intact males and steers implanted with zeranol or estradiol early and throughout life. *J. Anim. Sci.* 62:625-631.
- Calkins, C. R. and J. M. Hodgen. 2007. A fresh look at meat flavor. *Meat Sci.* 77:63-80.
- Carroll, F. D., W. C. Rollins, and N. R. Ittner. 1955. Brahman-Hereford crossbreeds and Herefords gains, carcass yields and carcass differences. *J. Anim. Sci.* 14:218-223.
- Cartwright, T.C. 1980. Prognosis of Zebu cattle: research and application. *J. Anim. Sci.* 50:1221-1226.
- Chambers, E., and J. R. Bowers. 1993. Consumer perception of sensory qualities in muscle foods. *Food Tech.* 47:116-120.
- Champagne, J. R., J. W. Carpenter, J. F. Hentges, Jr., A. Z. Palmer, and M. Morger. 1969. Feedlot performance and carcass characteristics of young bulls and steers castrated at four ages. *J. Anim. Sci.* 29:887-890.
- Cobic, T. 1968. Castration experiments with Yugoslav Simmental cattle. I. The effect of castration on growth and live-weight gains. *Anim. Prod.* 10:103-107.
- Cohen, R. D. H., B. D. King, E. D. Jansen, and H. H. Nicholson. 1991. The effect of

- castration age, method and implant regime on growth and carcass traits of male beef cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 71:301-309.
- Cole, J. W., C. B. Ramsey, C. S. Hobbs, and R. S. Temple. 1963. Effects of type and breed of British, Zebu and dairy cattle on production, palatability and composition. I. Rate of gain, feed efficiency and factors affecting market value. *J. Anim. Sci.* 22:702-707.
- Crews, D. H., Jr., and D. E. Franke. 1998. Heterogeneity of variances for carcass traits by percentage Brahman inheritance. *J. Anim. Sci.* 76:1803-1809.
- Crockett, J. R., F. S. Baker, Jr., J. W. Carpenter, and M. Koger. 1979. Prewearing, feedlot and carcass characteristics of calves sired by Continental, Brahman and Brahman-derivative sires in subtropical Florida. *J. Anim. Sci.* 49:900-907.
- Cross, H.R., B. D. Schanbacher, and J. D. Crouse. 1984. Sex, age and breed related changes in bovine testosterone and intramuscular collagen. *Meat Sci.* 10:187-195.
- Crouse J. D., L. V. Cundiff., R. M. Koch., M. Koohmaraire, and S.C. Seideman. 1989. Comparisons of *Bos indicus* and *Bos taurus* inheritance for carcass beef characteristics and meat palatability. *J. Anim. Sci.* 67:2661-2668.
- Crouse J. D., M. Koohmaraire, and S. C. Seideman. 1991. The relationship of muscle fiber size to tenderness of beef. *Meat Sci.* 30:295-302.
- Crouse J. D., S. C. Seideman, and L. V. Cundiff. 1987. The effect of carcass electrical stimulation on meat obtained from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *J. Food Qual.* 10:407-416.
- Cundiff, L. V. 1993. How breed variations affect carcass quality and cutability. Presented at the National Cattlemen's Association Annual Convention, Phoenix, AZ. Pp 1-33.
- Destefanis, D., A. Brugiapaglia., M. T. Barge, and C. Lazzaroni. 2003. Effect of castration on meat quality in Piemontese cattle. *Meat Sci.* 64:215-218.
- Dikeman, M. E., E. J. Pollak, Z. Zhang, D. W. Moser, C. A. Gill, and E. A. Dressler. 2005. Phenotypic ranges and relationships among carcass and meat palatability traits for fourteen cattle breeds, and heritabilities and expected progeny differences for Warner-Bratzler shear force in three beef cattle breeds. *J. Anim. Sci.* 83:2461-2467.
- Dikeman, M. E., G. B. Reddy , V. H. Arthaud, H. J. Tuma, R. M. Koch, R. W. Mandigo, and J. B. Axe. 1986. *Longissimus* muscle quality, palatability and connective tissue histological characteristics of bulls and steers fed different energy levels and slaughtered at four ages. *J. Anim. Sci.* 63:92-101.
- Dikeman, M. E., H. C. Russell, and J. D. Crouse. 1985. Recommendations for the production of young bulls for meat. Agricultural Experiment Station. Kansas State University, Manhattan. Bulletin 648. Pp1-12.
- Dransfield, E. 1994. Optimization of tenderization, aging, and tenderness. *Meat Sci.* 36:105-121.
- 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.
- Elzo, M. A., D. D. Johnson, J. G. Wasdin, and J. D. Driver. 2012. Carcass and meat palatability breed differences and heterosis effects in an Angus-Brahman multibreed population. *Meat Sci.* 90:87-92.



- Elzo, M. A., R. L. West, D. D. Johnson, and D. L. Wakeman. 1998. Genetic variation and prediction of additive and non-additive genetic effects for six carcass traits in an Angus-Brahman multibreed herd. *J. Anim. Sci.* 76:1810-1823.
- Feoli, C. 2002. "Efecto de la edad y el sexo del ganado cebuino de dos zonas del norte de Costa Rica sobre el rendimiento y las características de la calidad de la carne". Thesis. Facultad de Agronomía, Escuela de Zootecnia. Universidad de Costa Rica (UCR). San José, Costa Rica.
- Field, R.A. 1971. Effect of castration on meat quality and quantity. *J. Anim. Sci.* 1971. 32: 849-858.
- Field, R. A., G. E. Nelms, and C. O. Schoonover. 1966. Effect of age, marbling and sex on palatability of beef. *J. Anim. Sci.* 25:360-366.
- Forbes, T. D. A., F. M. Rouquette, Jr., and J. W. Holloway. 1998. Comparisons among Tuli, Brahman and Angus sired heifers: Intake, digesta kinetics, and grazing behavior. *J. Anim. Sci.* 76:220-227.
- Frohman, L. A. 1991. Endocrine and endocrine regulation of cell function and growth. *J. Anim. Sci.* 69:74-81.
- George-Evins, C. D., J. A. Unruh, A. T. Waylan, and J. L. Marsden . 2004. Influence of quality classification, aging period, blade tenderization, and endpoint cooking temperature on cooking characteristics and tenderness of beef gluteus medius steaks. *J. Anim. Sci.* 82:1863-1867.
- Gerrard, D. E., S. J. Jones, E. D. Aberle, R. P. Lemenager, M. A. Diekman, and M. D. Judge. 1987. Collagen stability, testosterone secretion and tenderness in growing bulls and steers. *J. Anim. Sci.* 65:1236-1242.
- Glimp, H. A., M. E. Dikeman, H. J. Tuma., K. E. Gregory, and L. V. Cundiff. 1971. Effect of sex condition on growth and carcass traits of male Hereford and Angus cattle. *J. Anim. Sci.* 33:1242-1247.
- Gray, D. G., J. A. Unruh, M. E. Dikeman, and J. S. Stevenson. 1986. Implanting young bulls with zeranol from birth to four slaughter ages: III. Growth performance and endocrine aspects. *J. Anim. Sci.* 63:747-756.
- Gregory, K. E., S. C. Seideman, and J. J. Ford. 1983. Effects of late castration, zeranol and breed group on composition and palatability characteristics of longissimus muscle of bovine males. *J. Anim. Sci.* 56:781-786.
- Gruber, S. L.; J. D. Tatum, J. A. Scanga, P. L. Chapman, G. C. Smith , and K. E. Belk. 2006. Effects of postmortem aging and USDA quality grade on Warner-Braztler shear force values of seventeen individual muscles. *J. Anim. Sci.* 84:3387-3396.
- Hafs, H. D., R. W. Purchas, and A. M. Pearson. 1971. A review: Relationships of some hormones to growth and carcass quality of ruminants. *J. Anim. Sci.* 33:64-71.
- Hedrick, H.B. 1968. Bovine growth and composition. *Univ. Mo. Agr. Exp. Sta. Bull.* 928. Pp37-96.
- Hedrick, H. B., G. B. Thompson, and G. F. Krause. 1969. Comparison of feedlot performance and carcass characteristics of half-sib bulls, steers and heifers. *J. Anim. Sci.* 29:687-694.
- Highfill, C. M., O. Esquivel-Font, M. E. Dikeman,, and D. H. Kropf. 2011. Tenderness profiles of ten muscles from F1 *Bos indicus* x *Bos taurus* and *Bos taurus* cattle cooked as steaks and roasts. *Meat Sci.* 90:881-886.

- Huerta-Leidenz, N., O. Atencio-Valladares., A. Rodas-Gonzalez., N. Jerez-Timaure, and B. Bracho. 1997. Características de canales de novillos y novillas acebuados producidos a pastoreo y su relación con atributos de la calidad comestible de la carne. Arch. Latinoame. Prod. Anim. 5(Supl.1):565-567.
- Huerta-Leidenz, N., and G. Ríos. 1993. La castración del bovino a diferentes estadios de su crecimiento. II. Las características de la canal. Una revisión. Rev. Fac. Agron. 10:163-187.
- Huff-Lonergan, E., and S. M. Lonergan. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. Meat Sci. 71:194-204.
- Huffman, K. L., M. F. Miller, L. C. Hoover, C. K. Wu, H. C. Brittin, and C.B. Ramsey. 1996. Effect of beef tenderness on consumer satisfaction with steaks consumed in the home and restaurant. J. Anim. Sci. 74:91-97.
- Hunsley, R. E., R. L. Verter, E. A. Kline, and W. Burroughs. 1971. Effects of age and sex on quality, tenderness and collagen content of bovine *Longissimus* muscle. J. Anim. Sci. 33:933-938.
- Ilian, M. A., J. D. Morton, M. P. Kent, C. E. LeCouteur, J. Hickford, R. Cowley, and R. Bickerstaffe. 2001. Intermuscular variation in tenderness: Association with ubiquitous and muscle-specific calpains. J. Anim. Sci. 79:122-132.
- Jacobs, J. A., C. E. Hurst, J. C. Miller, A.D. Howes, and Gregory T.L. 1977a. Bulls versus Steers. I. Carcass composition, wholesale yields and retail values. J. Anim. Sci. 45:695-698.
- Jacobs, J. A., J. C. Miller, E. A. Sauter, A. Howes, A. A. Araji., T. L. Gregory, and Hurst, C.E. 1977b. Bulls versus steers. II. Palatability and retail acceptance. J. Anim. Sci. 45:699-702.
- Jeremiah, L. E., A. K. W. Tong, and L. L. Gibson. 1991. The usefulness of muscle color and pH for segregating beef carcasses in to tenderness groups. Meat Sci. 30:97-114.
- Jerez-Timaure, N., N. Huerta-Leidenz., E. Rincon, and M. Arispe. 1994. Estudio preliminar sobre las características que afectan las propiedades organolépticas de solomos de res en Venezuela. Rev. Fac. Agron. 11:283-295.
- Johnson, M. H., C. R. Calkins, R. D. Huffman, D. D. Johnson, and D. D. Hargrove. 1990a. Differences in cathepsin B + L and calcium dependent protease activities among breed type and their relationship to beef tenderness. J. Anim. Sci. 68:2371-2379.
- Johnson, D. D., R. D. Huffman, S. E. Williams, and D. D. Hargrove. 1990b. Effects of percentage of Brahman and Angus breeding, age, season of feeding and slaughter endpoint on meat palatability and muscle characteristics. J. Anim. Sci. 68:1980-1986.
- Jones, S. J., A. Guru, V. Singh, B. Carpenter, C. R. Calkins, and D. Johnson. 2004. Bovine myology and muscle profiling. <http://bovine.unl.edu>. Accessed March 8, 2012.
- Kay, M., and R. Houseman. 1974. The influence of sex in meat production. In: D.J.A. Cole and R.A. Lawrie (Ed.) Proc. of the 21st Easter School in Agr. Sci. pp 85-108. Butterworth, London.
- Kempster, A. J. 1981. Fat partition and distribution in the carcasses of cattle, sheep and pigs: a review. Meat Sci. 5:83-98.

- King, B. D., R. D. H. Cohen, C. L. Guenther, and E. D. Jansen. 1991. The effect of age and method of castration on plasma cortisol in beef calves. *Can. J. Anim. Sci.* 71:257-263.
- Killinger, K. M., C. R. Calkins, W. J. Umberger, D. M. Feuz, and K. M. Eskridge. 2004. Consumer sensory acceptance and value for beef steaks of similar tenderness, but differing marbling level. *J. Anim. Sci.* 82:3294-3301.
- Klosterman, E. W., L. E. Kunkle, P. Gerlaugh, and V. R. Cahill. 1954. The effect of age of castration upon rate and economy of gain and carcass quality of beef calves. *J. Anim. Sci.* 13:817-825.
- Koch, R. M., M. E. Dikeman, D. M. Allen, M. May, J. D. Crouse, and D. R. Champion. 1976. Characterization of biological types of cattle III. Carcass composition, quality and palatability. *J. Anim. Sci.* 43:48-62.
- Koch, R. M., M. E. Dikeman, and J. D. Crouse. 1982. Characterization of biological types of cattle (Cycle III). III. Carcass composition, quality and palatability. *J. Anim. Sci.* 54:35-45.
- Koch, R. M., M. E. Dikeman, R. J. Lipsey, D. M. Allen, and J. D. Crouse. 1979. Characterization of biological types of cattle – Cycle: II:III. Carcass composition, quality and palatability. *J. Anim. Sci.* 49:448-460.
- Koger, M., F. M. Peacock, W. G. Kirk, and J. R. Crockett. 1975. Heterosis effects on weaning performance of Brahman-Shorthorn calves. *J. Anim. Sci.* 40:826-833.
- Koohmaraie, M. 1988. The role of endogenous proteases in meat tenderness. *Proc. Recip. Meat Conf.* 41:89-100.
- Koohmaraie, M. 1992. Role of the neutral proteinases in postmortem muscle protein degradation and meat tenderness. *Proc. Recip. Meat Conf.* 45:63-74.
- Koohmaraie, M. 1994. Muscle proteinases and meat ageing. *Meat Sci.* 36:93-104.
- Landon, M. E., H. B. Hedrick, and G. B. Thompson. 1978. Live animal performance and carcass characteristics of beef bullocks and steers. *J. Anim. Sci.* 47:151-155.
- Light, N., A. E. Champion, C. Voyle, and A. J. Bayley. 1985. The role of epimysial, perimysial and endomysial collagen in determining texture in six bovine muscles. *Meat Sci.* 13:137-149.
- Lochner, J. V., R. G. Kaufman, and B. B. Marsh. 1980. Early postmortem cooling rate and beef tenderness. *Meat Sci.* 4:227-241.
- Lorenzen, C. L., R. K. Miller, J. F. Taylor, T. R. Neely, J. D. Tatum, J. W. Wise, M. J. Buyck, J.O. Reagan, and J. W. Savell. 2003. Beef consumer satisfaction: Trained sensory panel ratings and Warner Bratzler shear force values. *J. Anim. Sci.* 81:143-149.
- Lunstra, D. D., J. J. Ford, and S. E. Echtenkamp. 1978. Puberty in beef bulls: Hormone concentrations, growth, testicular development, sperm production and sexual aggressiveness in bulls of different breeds. *J. Anim. Sci.* 46:1054-1062.
- Mach, N., C. Realini., M. F. Furnols., A. Velarde, and M. Devant. 2009. Effects of pre-pubertal Burdizzo castration on performance, carcass characteristics and meat quality from young Holstein bulls fed high-concentrate diets. *Meat Sci.* 81:329-334.
- Mancini, R. A., and M. C. Hunt. 2005. Current research in meat color. *Meat Sci.* 71:100-121.
- Marshall, D. M. 1994. Breed differences and genetic parameters for body composition traits in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 72:2745-2755.

- Martin, L. C., J. S. Brinks, R. M. Bourdon, and L. V. Cundiff. 1992. Genetic effects on beef heifer puberty and subsequent reproduction. *J. Anim. Sci.* 70:4006-4017.
- Martin, T. G., T. W. Perry, W. M. Beeson, and M. T. Mohler. 1978. Protein levels for bulls: Comparison of three continuous dietary levels on growth and carcass traits. *J. Anim. Sci.* 47:29-33.
- McCarty, M. S., H. D. Hafs, and E. M. Convey. 1979. Serum hormone patterns associated with growth and sexual development in bulls. *J. Anim. Sci.* 49:1012-1020.
- 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.
- Mitchell, G. E., A. W. Reed, and S. A. Rogers. 1991. Influence of feeding regimen on the sensory qualities and fatty acid content of beef steaks. *J. Food Sci.* 56:1102-103.
- Morgan, J. B., J. W. Savell., D. S. Hale., R. K. Miller., D. B. Griffin., H. R. Cross, and S. D. Shackelford. 1991. National Beef Tenderness Survey. *J. Anim. Sci.* 69:3274-3280.
- Morgan, J. B., T. L. Wheeler, M. Koochmaraie, J. W. Savell, and J. D. Crouse. 1993. Meat tenderness and the calpain proteolytic system in *Longissimus* muscle of young bulls and steers. *J. Anim. Sci.* 71:1471-1476.
- Morón, O., S. Pietrosevoli, and J. Mazza. 2005a. Efecto del tipo de castración sobre las cualidades sensoriales de bovinos en confinamiento II. XIX Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. BIOTAM. Nueva Serie. Pp 521.
- Morón, O., S. Pietrosevoli, and J. Mazza. 2005b. Efecto del tipo de castración sobre la ganancia de peso y el rendimiento en canal de bovinos en confinamiento. XIX Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. BIOTAM. Nueva Serie. Pp 548.
- Mosely, W. M., L. F. Krabill and R. F. Olsen. 1982. Effect of bovine growth hormone administrated in various patterns on nitrogen metabolism in the Holstein steer. *J. Anim. Sci.* 44:1062-1070.
- Muller A., D. Micol., J. R. Peccatte, and D. Dozias. 1991. Choix de l'âge à la castration en production de viande bovine semi-intensive. *INRA Prod. Anim.*, 4:287-295.
- Murillo, O. Personal communication. March 5, 2012.
- O'Connor, S. F., J. D. Tatum, D. M. Wulf, R. D. Green, and G. C. Smith,. 1997. Genetic effects on beef tenderness in *Bos indicus* composite and *Bos taurus* cattle. *J. Anim. Sci.* 75:1822-1830.
- Oddy, V. H., G. S. Harper, P. L. Greenwood, and M. B. McDonagh. 2001. Nutritional and developmental effects on the intrinsic properties of muscles as they relate to the eating quality of beef. *Aust. J. Exp. Agric.* 41:921-942.
- Olson, D. G., and F. C. Parrish. 1977. Relationship of myofibril fragmentation index to measures of beefsteak tenderness. *J. Food Sci.* 42:506-509.
- Otremba, M. M., M. E. Dikeman, G. A. Milliken, S. L. Stroda, J. A. Unruh, and E. Chambers. 1999. Interrelationships among evaluations of beef *Longissimus* and *Semitendinosus* muscle tenderness by Warner Braztler shear force, a descriptive texture profile sensory panel, and descriptive attribute sensory panel. *J. Anim. Sci.* 77:865-873.

- Owens, F. N., P. Dubeski, and C. F. Hanson. 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. *J. Anim. Sci.* 71:3138-3150.
- Perez, E. Personal communication. March 11, 2009.
- Polidori, P., R. Kauffman, and F. Valfre. 1996. The effects of electrical stimulation on meat quality. *Italian J. Food Sci.* 8:183-199.
- Prescott, J. D., and G.E. Lamming, 1964. The effects of castration on meat production in cattle, sheep and pigs. *J. Agric. Sci.* 63:341-357.
- Preston, R. L. 1975. Biological responses to estrogen additives in meat producing cattle and lambs. *J. Anim. Sci.* 44:1414-1430.
- Pringle, T. D., S. E. Williams, B. S. Lamb, D. D. Johnson, and R. L. West. 1997. Carcass characteristics, the calpain proteinase system, and age tenderness of Angus and Brahman crossbreed steers. *J. Anim. Sci.* 75:2955–2961.
- Purchas, R. W. 1990. An assessment of the role of pH differences in determining the relative tenderness of meat from bulls and steers. *Meat Sci.* 27:129-140.
- Purchas, R. W., D. L. Burnham and, and S. T. Morris. 2002. Effects of growth potential and growth path on tenderness of beef *Longissimus* muscle from bulls and steers. *J. Anim. Sci.* 80:3211-3221.
- Purchas, R. W and D. A. Grant. 1995. Liveweight gain and carcass characteristics of bulls and steers farmed on hill country. *J. Agri. Res.* 38: 131-142.
- Ramsey, C. B., J. W. Cole, R. N. Terrell, and R. S. Temple. 1965. Effects of type and breed British, Zebu and dairy cattle on production, palatability and composition. IV. Yield of gastrointestinal tract and other non -carcass components. *J. Anim. Sci.* 24:120-126.
- Ray, D. E., W. H. Hale, and J. A. Marchello. 1969. Influence of season, sex and hormonal growth stimulants on feedlot performance of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 29:490-495.
- Reagan, J. O., Z. L. Carpenter., G. C. Smith, and G. T. King. 1971. Comparison of palatability traits of beef produced by young bulls and steers. *J. Anim. Sci.* 32:641-646.
- Retana, F. Personal communication. March 11, 2012.
- Rhee, M. S., T. L. Wheeler., S. D. Shackelford, and M. Koohmaraie. 2004. Variation in palatability and biochemical traits within and among eleven beef muscles. *J. Anim. Sci.* 82:534-550.
- Riley, D. G., C. C. Chase, Jr., A. C. Hammond, R. L. West, D. D. Johnson, T. A. Olson, and S. W. Coleman. 2003. Estimated genetic parameters for palatability traits of steaks from Brahman cattle. *J. Anim. Sci.* 81:54-60.
- Riley, D. G., D. D. Johnson, C. C. Chase, Jr., R. L. West , S. W. Coleman, T. A. Olson, and A. C. Hammond. 2005. Factors influencing tenderness in steaks from Brahman cattle. *Meat Sci.* 70:347-3356.
- Riley, R. R., J. W. Savell, C. E. Murphey, G. C. Smith, D. M. Stiffler, and H. R. Cross. 1983. Palatability of beef from steers and young bull carcasses as influenced by electrical stimulation, subcutaneous fat thickness and marbling. *J. Anim. Sci.* 56:592–597.
- Robinson, D. L., D. M. Ferguson, V. H. Oddy, D. Perry, and J. M. Thompson. 2001. Genetic and environmental influences on beef tenderness. *Aust. J. Exp. Agric.* 41:997-1004.

- Savell, J. W., F. K. McKeith, C. E. Murphey, G. C. Smith, and Z. L. Carpenter. 1982. Singular and combined effects of electrical stimulation, postmortem ageing, and blade tenderization on the palatability attributes of beef from young bulls. *Meat Sci.* 6:97-109.
- Schanbacher, B. D. 1984. Manipulation of endogenous and exogenous hormones for red meat production. *J. Anim. Sci.* 59:1621-1630.
- Seideman, A. C., H. R. Cross, and J. D. Crouse. 1989. Carcass characteristics, sensory properties and mineral content of meat from bulls and steers. *J. Food. Qual.* 11:497-507.
- Seideman, A. C., H. R. Cross, R. R. Oltjen, and B. D. Schanbacher. 1982. Utilization of the intact male for red meat production: a review. *J. Anim. Sci.* 55:826-840.
- Shackelford, S. D., M. Koohmaraie, M. F. Miller, J. D. Crouse, and J. O. Reagan. 1991. An evaluation of tenderness of the *Longissimus* muscle of Angus by Hereford versus Brahman crossed heifers. *J. Anim. Sci.* 69:171-177.
- Shackelford S. D., M. Koohmaraie, and T. L. Wheeler. 1994. 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 T. L. Wheeler. 1995a. Effects of slaughter age on meat tenderness and USDA Carcass maturity scores of beef females. *J. Anim. Sci.* 73:3304-3309.
- Shackelford, S. D., T. L. Wheeler, and M. Koohmaraie. 1995b. Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *J. Anim. Sci.* 73:3333-3340.
- Shackelford, S. D., T. L. Wheeler, and M. Koohmaraie. 1997a. Tenderness classification of beef: I: Evaluation of beef *Longissimus* shear force at 1 or 2 days postmortem as a predictor of aged beef tenderness. *J. Anim. Sci.* 75:2417-2422.
- Shackelford, S. D., T. L. Wheeler, and M. Koohmaraie. 1997b. Repeatability of tenderness measurements on beef round muscles. *J. Anim. Sci.* 75:2411-2416.
- Shaefer, A. L., P. L. Dubeski, J. L. Aalhus, and A. K. W. Tong. Role of nutrition in reducing antemortem stresses and meat quality aberrations. 2001. *J. Anim. Sci.* 79 (E. Suppl.): E91-E101.
- Sherbeck, J. A., J. D. Tatum, T. G. Field, J. B. Morgan, and G. C. Smith. 1995. Feedlot performance, carcass traits, and palatability traits of Hereford and Hereford x Brahman steers. *J. Anim. Sci.* 73:3613-3620.
- Smith, G. C., G. R. Culp, and Z. L. Carpenter. 1978. Postmortem aging of beef carcasses. *J. Food Sci.* 43:823-826.
- Smith, G. C., J. D. Tatum., K. E. Belk, and J. A. Scanga. 2008. Post-harvest practices for enhancing beef tenderness. Colorado State University. National Cattlemen's Beef Association. Pp .1-19.
- Spanier, A. M., M. Flores, K. W. McMillin, and T. D. Bidner. 1997. The effect of post-mortem aging on meat flavor quality in Brangus beef: Correlation of treatments, sensory, instrumental and chemical descriptors. *Food Chemistry.* 59:531-538.
- Stelzleni, A. M., and D. D. Johnson. 2008. Effect of days on concentrate feed on sensory off-flavor score, off-flavor descriptor and fatty acid profiles for selected muscles from cull beef cows. *Meat Sci.* 79:382-393.

- Stolowski, G. D., B. E. Baird, R. K. Miller, J. W. Savell, A. R. Sams, J. F. Taylor, J. O. Sanders, and S. B. Smith. 2006. Factors influencing the variation in tenderness of seven major muscles from three Angus and Brahman breed crosses. *J. Meat Sci.* 73:475-483.
- Sullivan, G. A., and C. R. Calkins. 2011. Ranking beef muscles for Warner Bratzler shear force and trained sensory panel ratings from published literature. *J. Food Qual.* 34:195-203.
- Tatum, J. D., K. E. Belk., M. H. George, and G. C. Smith. 1999. Identification of quality management practices to reduce the incidence of retail beef tenderness problems: Development and evaluation of a prototype quality system to produce tender beef. *J. Anim. Sci.* 77:2112-2118.
- Taylor, R. G., G. H. Geesink., V. F. Thompson., M. Koohmaraie, and D. E. Goll. 1995. Is Z-disk degradation responsible for post-mortem tenderization. *J. Anim. Sci.* 73:1351-1367.
- Teira, G. 2004. Actualidad y perspectivas de un componente principal de la calidad de carnes bovinas: la terneza. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, mayo, año/vol. XV, número 28:215-244.
- Thomas, M. G., R. M. Enns, D. M. Hallford, D. H. Keisler, B. S. Obeidat, C. D. Morrison, J. A. Hernandez, W. D. Bryant, R. Flores, R. Lopez, and L. Narro. 2002. Relationships of metabolic hormones and serum glucose to growth and reproductive development in performance-tested Angus, Brangus, and Brahman bulls. *J. Anim. Sci.* 80:757-767.
- Unruh, J. A. 1986. Effects of endogenous and exogenous growth-promoting compounds on carcass composition, meat quality and meat nutritional value. *J. Anim. Sci.* 62:1441-1448.
- Unruh, J. A., C. D. Pelton, D. G. Gray, M. E. Dikeman, D. M. Allen, and L. R. Corah. 1987. Effects of Zeranol-implantation periods on palatability of Longissimus steaks from Young bulls and steers. *J. Anim. Sci.* 65:165-172.
- Varela, A., B. Oliete, T. Moreno, C. Portela, J. A. Caballo, L. Sánchez, and L. Monserrat. 2003. Calidad de la carne de machos enteros y castrados de raza Rubia Gallega sacrificados con 24 meses. *Arch. Zootec.* 52:347-358.
- Watanabe, A., C. C. Daly, and C. E. Devine. 1996. The effects of the ultimate pH of meat on tenderness changes during ageing. *Meat Sci.* 42:67-78.
- Watson, M.J. 1969. The effects of castration on the growth and meat quality of grazing cattle. *Australian J. Exp. Agr. and Anim. Hus.* 9:164-171.
- Weniger, J. H., and D. Steinhilber. 1968. Meat quality in respect to carcass evaluation in cattle. *World Review of Anim. Prod.* 4:87-93.
- Wheeler, T. M., J. W. Savell, H. R. Cross, D. M. Lunt, and S. B. Smith. 1990a. Effect of postmortem treatment on the tenderness of meat from Hereford, Brahman-cross beef cattle. *J. Anim. Sci.* 68:3677-3686.
- Wheeler, T. L., J. W. Savell, H. R. Cross, D. K. Lunt, and S. B. Smith. 1990b. Mechanisms associated with the variation in tenderness of meat from Brahman and Hereford cattle. *J. Anim. Sci.* 68:4206-4220.
- Wheeler, T. L., S. D. Shackelford, and M. Koohmaraie. 1999a. Tenderness classification of beef: IV. Effect of USDA quality grade on the palatability of "tender" beef *Longissimus* when cooked well done. *J. Anim. Sci.* 77:882-888.

- Wheeler, T. L., S. D. Shackelford , and M. Koohmaraie. 1999b. Tenderness classification of beef: III. Effect of interaction between endpoint temperature and tenderness on Warner Bratzler shear force on beef *Longissimus*. J. Anim. Sci. 77:400-407.
- Whipple, G. M., M. Koohmaraie, M. E. Dikeman., J. D. Crouse., M. C. Hunt, and R. D. Klemm. 1990. Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. J. Anim. Sci. 68:2716-2728.
- Wierbicki, E., V. R. Carhill, L. E. Kunkle, E. W. Klosterman, and F. E. Deatherage. 1955. Effect of castration on biochemistry and quality of beef. J. Agr. Food Chem. 3:244-249.
- 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.



#### 4. Manuscrito ( “paper”)

##### ***Effect of castration on carcass composition, meat quality, and sensory properties of beef produced in a tropical climate***

###### **ABSTRACT**

Forty-eight (3/4 Brahman × 1/4 Charolais) male calves were used to determine carcass cutability and quality characteristics of steaks from four muscles aged for 2, 7, 14, or 28 d from intact bulls and steers castrated at 3, 7, or 12 mo of age grown under tropical pasture conditions. The experiment was conducted as a randomized complete block design with animal as the experimental unit and harvest group as a blocking factor with aging period as a repeated measure for Warner-Bratzler shear force (WBSF). Male calves were randomly assigned at birth to castration treatments, weaned at 7 mo, and raised together their entire life on pasture in Costa Rica. At 26 mo of age, three cattle from each treatment were harvested in 1 of 4 groups at a commercial harvest facility. Strip loin (*Longissimus lumborum*, LL), tenderloin (*Psoas major*, PM), top sirloin butt (*Gluteus medius*, GM), and eye of round (*Semitendinosus*, ST) steaks were aged for 2, 7, 14, or 28 d for WBSF. A sensory panel was conducted for all four muscles aged for 14 d from intact bulls and steers castrated at 3 mo of age. Live BW, carcass traits, and total subprimal yields were not affected ( $P \geq 0.10$ ) by male sex condition. For PM, GM, and ST steaks, WBSF values were similar ( $P \geq 0.41$ ) for steaks from intact bulls and steers castrated at all ages. For both PM and GM, steaks aged for 28 d had the lowest ( $P < 0.05$ ; most tender) WBSF

values and steaks aged for 2 d had the highest ( $P < 0.05$ , toughest) WBSF values. For the ST, WBSF values were highest ( $P < 0.05$ ) for steaks aged 2 d. A treatment  $\times$  aging interaction ( $P < 0.05$ ) was detected for LL WBSF values. At 14 d of aging, LL WBSF values from steers castrated at 3 mo tended ( $P = 0.07$ ) to be lower than those LL steaks from intact bulls. At 28 d of aging, steaks from steers had lower ( $P < 0.05$ ) WBSF values than steaks from intact bulls and steaks from steers castrated at 3 mo tended ( $P = 0.07$ ) to have lower WBSF values than steaks from steers castrated at 12 mo. For LL steaks from steers castrated at 3 mo, steaks aged for 28 d had lower ( $P < 0.05$ ) WBSF values than steaks aged 2, 7, or 14 d and steaks aged 14 d had lower ( $P < 0.05$ ) WBSF values than those aged 2 d. For LL steaks from steers castrated at 7 mo, steaks aged 28 d had lower ( $P < 0.05$ ) WBSF values than steaks aged 2, 7, or 14 d. For LL steaks from steers castrated at 12 mo and intact bulls, steaks aged 28 d had lower ( $P < 0.05$ ) WBSF values than steaks aged for 2 or 14 d. Although all sensory panel data collected were not statistically different ( $P > 0.05$ ), LL steaks from steers castrated at 3 mo tended ( $P = 0.17$ ) to have higher (more tender) overall tenderness scores than steaks from intact bulls. The GM followed a similar trend with steaks from steers castrated at 3 mo having higher scores for myofibrillar ( $P = 0.14$ ) than steaks from intact bulls. This study indicates that castration at 3 mo would be the recommended production practice as it provided the greatest improvement LL tenderness over intact bulls with no differences in carcass traits or subprimal yields. The degree of improvement in tenderness due to aging appears to be muscle dependant.

Key words: beef, bulls, steers, aging, tenderness

## INTRODUCTION

In Costa Rica, beef cattle production is based primarily on *Bos indicus* genotypes fed pasture/forage-based diets. *Bos indicus* cattle are well adapted to the temperature and nutritional stress prevalent in the tropics and subtropics where they evolved (Forbes *et al.*, 1998). Beef from *Bos indicus* cattle has been generally characterized as less tender (Crouse *et al.*, 1989; Elzo *et al.*, 2012) resulting from increased muscle calpastatin activity and reduced postmortem proteolysis than beef from *Bos taurus* cattle (Johnson *et al.*, 1990; Wheeler *et al.*, 1990; Whipple *et al.*, 1990). In addition, forage finishing cattle has negative consequences on carcass tenderness and organoleptic properties of the meat (Mitchell *et al.*, 1991), and grass finished cattle have decreased ADG, longer finishing periods to reach a target endpoint, reduced dressing percentages, and lower quality grades than cattle fed energy-dense concentrate diets (Bidner *et al.*, 1981, 1986).

In the early fifties, castration was part of the typical annual cattle processing in Costa Rica which included identification, vaccination, and castration of male calves. This practice was eventually eliminated in the seventies driven by the growth of beef exports and the demand of packing plants for lean, large-framed cattle that produced a larger quantity of beef (personal communication, Edwin Pérez, Animal Scientist). It has been generally accepted that intact bulls provided adequate nutrition grow faster and more efficiently, and produce carcasses with less fat than castrated steers (Seideman *et al.*, 1982; Mach *et al.*, 2009). Today bull production is the primary production practice in Costa Rica because there has been a lack of economic incentive for producers to castrate male calves.

The tenderness of beef has been identified as a quality characteristic that is closely related to the overall acceptability of beef (Chambers & Bowers, 1993) and is

often the cause of consumer dissatisfaction with beef. Consumers can segregate differences in beef tenderness and are willing to pay for more tender beef (Miller *et al.*, 2001). In the past ten years the Costa Rican consumer has also shown an increased demand for improved tenderness and their willingness to pay higher prices for more tender subprimals and retail cuts (personal communication, Fernando Retana, Carnes Don Fernando).

Meat from steers and heifers is preferred by consumers over intact males because of its improved sensory traits, particularly tenderness (Seideman *et al.*, 1989; Huerta-Leidenz and Rios, 1993). With renewed interest and the goal of improving beef quality, castration has been reintroduced to Costa Rica as production tool. For some niche markets, late castration (> 12 mo of age) has been incorporated by some producers to increase fatness of subprimals compared to bulls, yet take advantage of the believed superior growth rate and efficiency compared to early castrated steers (personal communication, Olger Murillo, Instituto Tecnológico de Costa Rica). However, early castration is recommended to reduce animal stress, improve animal welfare, and decrease male aggressiveness (Bretschneider, 2005), and may potentially improve meat quality traits (Morón *et al.*, 2005ab).

Aging is a postmortem technology that enhances beef palatability and is among the most popular options for improving tenderness (Dransfield, 1994). This practice is not widely used in Costa Rica and has been used by only a few beef retailers. Individual muscles respond differently in extent of tenderization improvement, to postmortem aging periods because of differences in connective tissue (Rhee *et al.*, 2004), to the rate and extent of pH decline, in activity of calpains (Ilian *et al.*, 2001), and thus in the extent of proteolytic degradation (Taylor *et al.*, 1995; Rhee *et al.*, 2004). Beef Tenderness Surveys (Morgan *et al.*, 1991; Brooks *et*

*al.*, 2000) have revealed substantial variation in the length of postmortem aging time to optimize tenderness of different beef cuts.

Beef cattle production in Costa Rica is facing many challenges, many directed toward the improvement of beef quality. Few research trials have been conducted using antemortem and postmortem technologies to improve beef quality and tenderness. Ardaya & Zapata (1999) found no difference in performance of *Longissimus* Warner Braztler shear force (WBSF) for bulls and late castration steers. Arce & Murillo (2004) found *Longissimus* steaks from steers had lower (more tender) WBSF means than those from bulls and aging improved tenderness for both sex classes. Therefore, the objectives of this study were to determine 1) the effects of castration and time of castration on the carcass composition and beef tenderness and 2) the effects of different lengths of aging on tenderness of four different muscles of beef produced in a tropical climate.

## MATERIALS AND METHODS

### Animals:

Procedures involving male cattle were reviewed and approved by the Kansas State University Institutional Animal Care and Use Committee (Protocol # 3001) and the administration of the Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR)-San Carlos. Forty-eight male cattle (3/4 Brahman × 1/4 Charolais) were randomly selected to represent four treatments of intact bulls and steers castrated at 3, 7, or 12 mo of age. Cattle were pasture fed at the ITCR-San Carlos Cattle Unit. One calf from the 7-mo castration treatment died of unknown causes.

At approximately 26 mo of age, cattle were randomly assigned within treatments to one of four harvest groups of twelve cattle consisting of three cattle per treatment. Harvest was conducted weekly during a 4 wk period. For each harvest

group, individual live weight was recorded on the farm 5 d before transportation to a commercial harvest facility. Cattle were transported 70 km by truck early at night to minimize stress and avoid exposure to high daily temperatures.

#### **Animal History:**

Cattle were born and raised in Costa Rica at the Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR)-San Carlos cattle farm. The area is located 85 m above the sea level, a flat topography, annual rainfall of 3400 mm, average daily temperature of 26 °C and relative humidity of 85%. At birth, male calves from the crossbred herd were assigned randomly to treatments of intact male, castration at 3 mo, castration at 7 mo, or castration at 12 mo for a farm production trial. Castration was surgically performed by an experienced technician. At the time of castration, the 12-mo castration treatment had an average live weight of  $195.2 \pm 28.4$  kg.

Calves were weaned at 7 mo of age and placed on pasture at the ITCR-San Carlos Cattle Unit. All animals were fed as a group in a single pasture paddock and rotated to another paddock every 21 days. Pasture grasses consisted of Ratana (*Ischaemum indicum*), Toledo (*Brachiaria brizantha*) and Tanner (*Brachiaria radicans*). A mineral supplement (Multivex, Dos Pinos, Alajuela, Costa Rica) was available ad libitum and 1kg/hd /per day of Citrocom energy supplement (Dos Pinos, Alajuela, Costa Rica) with 86.5% dry matter, 2,850 kcal/kg digestible energy, and 5.5% crude protein was fed.

#### **Harvest Data:**

Cattle were individually weighed and harvested early in the morning at a commercial harvest facility. Immediately following harvest, beef carcass classification data were collected by a trained Corporacion Ganadera Technician (CORFOGA, 2002; Appendix Table 1) consisting of hot carcass weight ( $225.9$  kg  $\pm$  19.9), dentition ( $0.43 \pm 0.83$  where 0 = no permanent incisors and 1 = first pair of

permanent incisors), muscle score ( $2.96 \pm 0.28$  where 2 = average and 3 = below average muscling), fat cover ( $1.0 \pm 0$  where 1 =  $\leq 0.5$  cm fat thickness over the loin) and fat color ( $1.3 \pm 0.45$  where 1 = white and 2 = light yellow). The average male carcass harvested in Costa Rica in 2011 had heavier carcasses (average weight = 269.4 kg), were older (dentition = 4.0), were slightly heavier muscled (muscle score = 2.8) and had more yellow fat (fat color score = 1.4) (CORFOGA, 2011). In addition, hide and kidney fat weights were recorded. Carcasses were chilled at  $-3$  to  $2^{\circ}\text{C}$ .

#### **Carcass Data:**

At 3- and 24-h postmortem, *Longissimus* pH and temperature were measured from the medial side of the carcass at a location between the 3<sup>rd</sup> and 5<sup>th</sup> lumbar vertebrae. Three pH measurements (Hanna Instruments HI 99163N Meat pH Meter; HANNA Instruments, Woonsocket., RI) with a stainless steel probe inserted 2.54 cm into the *Longissimus lumborum* were averaged for data analysis.

At 24-h postmortem, carcass length, round circumference, hump height, 12<sup>th</sup> rib fat thickness, and ribeye area were measured. Carcass length was measured from the posterior tip of the *Ischium* (aich bone) to the anterior point of the sternum. Round circumference was measured at the maximum circumference of the round. The left side of each carcass was ribbed between the 12<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup> rib to measure fat thickness and ribeye area.

#### **Subprimal Fabrication:**

The tail was removed before the left side was weighed, quartered between the 12<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup> rib, and fabricated in a commercial fabrication facility at approximately 28 h postmortem into boneless subprimals. Closely-trimmed whole-muscle subprimals from the forequarter consisted of the ribeye (*Longissimus thoracis*), ribeye cap (*Spinalis dorsi*), back rib fingers (*Intercostal muscles*), outside skirt (*Diaphragm*), chuck tender (*supraspinatus*), top blade (*Infraspinatus*), underblade (*Serratus*

*ventralis*), clod (*Triceps brachii*), top chuck (*Splenis*, *Complexus*, etc.), hump (*Rhomboidius*), brisket flat (*Deep pectoral*), and foreshank. The closely-trimmed whole-muscle subprimals from the hindquarter consisted of the strip loin (*Longissimus lumborum* and *Gluteus medius* anterior the pelvic bone), tenderloin (*Psoas major* and *minor*), center-cut top sirloin butt (*Gluteus medius*), top sirloin cap (anterior *Biceps femoris*), tri-tip (*Tensor faciae latae*), flank (*Rectus abdominis*), inside skirt (*Transverse abdominis*), knuckle (*Vastus intermedius*, *Vastus lateralis*, *Vastus medialis*, and *Rectus femoris*), top (inside) round (*Adductor*, *Semimembranosus*, *Sartorius*, *Gracilis* and *Pectinius*), bottom (outside) round (*Biceps femoris*), eye of round (*Semitendinosus*), and hindshank. All subprimals, bone and fat trim, and remaining lean trim were weighed for each left side. The strip loin, center-cut top sirloin butt, eye of round and tenderloin from both sides of each animal were collected and vacuum-packaged for shipping (Appendixes Table 2 and 3).

#### **Steak Fabrication:**

Following fabrication, the strip loin, center-cut top sirloin butt, eye of round and tenderloin subprimals from both sides of the carcass were transported in a refrigerated truck to the ITCR Meat Sensory Laboratory. Subprimals were stored in a cooler with an average temperature of 1.2 °C until they were fabricated into 2.54-cm thick steaks. Twelve steaks (six from each subprimal) from the *Longissimus lumborum* (**LL**), *Semitendinosus* (**ST**), and *Psoas major* (**PM**) were cut perpendicular to the long axis and from the center portion of each subprimal. Two steaks from each subprimal were randomly assigned to aging periods of 2, 7, 14, or 28 d for Warner-Bratzler shear force (**WBSF**) determination, or an aging period of 14 d for sensory panel determination. For the *Gluteus medius* (**GM**), six steaks (three from each subprimal) were cut perpendicular to the long axis and from the center portion of each



subprimal. A single steak was assigned to each of the WBSF aging periods and for sensory panel.

After cutting each subprimal from the last 3 harvest groups, steaks were allowed to bloom for 15 min before color was evaluated by a trained visual panelist. Color was evaluated on an eight-point scale to the nearest 0.5 where 1 = pale, 2 = very light red, 3 = light red, 4 = red, 5 = slightly dark red, 6 = moderately dark red, 7 = dark red and 8 = very dark red.

All steaks were individually vacuum-packaged in a Multivac A200/15 (Multivac, Kansas City., MO) and returned to the cooler until their assigned aging period was reached. The WBSF analysis for LL and ST steaks were performed on fresh, never frozen, steaks. However due to cooking limitations, PM and GM steaks were frozen at the end of their aging periods in a freezer with an average temperature of  $-13.5$  °C and remained frozen until analysis. At 14 d postmortem, sensory panel steaks were removed from the cooler and frozen.

#### **Warner-Bratzler Shear Force:**

At 2, 7, 14, and 28 d postmortem, two LL and two ST steaks per treatment were removed from the cooler for analysis. Frozen GM and PM steaks that had been previously aged in a cooler for 2, 7, 14, and 28 d were thawed for 24 h at 4 °C in a McCall refrigerator (Kolpak Industries Inc., Parsons, TN) before analysis. For the last two harvest groups, steaks were weighed in the bag with juices and weighed again out of the bag prior to cooking. Percentage of purge loss was averaged for the two steaks representing each treatment from the LL, ST and PM. For the GM, a single steak representing each treatment was used. Steaks were cooked according to an established protocol consistent with AMSA (1995) guidelines in a Vulcan dual-air-flow convection oven (Vulcan-Hart Co., Louisville, KY) pre-heated at 163 °C.

Temperature was monitored by 30-gauge, type T thermocouples inserted into the geometric center of the steak and attached to a Barnant temperature recorder (692-0000 Benchtop, Barrington, IL). When each steak reached an internal temperature of 50 °C, it was turned over and cooked to a final temperature of 71 °C. Steaks were cooled at least 30 min, reweighed, and percentage of cooking loss was calculated. Percentage of total moisture loss was calculated as the sum of the package purge and cooking loss weights divided by the weight of the initial raw steak. Steaks were stored overnight at 4 °C in a McCall refrigerator (Kolpak Industries Inc., Parsons, TN), before eight 1.27-cm-diameter cores were taken parallel to the muscle fiber orientation. Cores were sheared perpendicular to the muscle fiber orientation as recommended by AMSA (1995) using a Dillon Quantrol testing machine (Dillon/Quality Plus Inc, Kansas City, MO) with a Warner-Bratzler shear force V-shaped blade attachment (G-H Manufacturing CO., Manhattan, KS).

#### **Sensory Panel Evaluation:**

Two 14-d aged steaks from the LL, ST, and PM subprimals, and one 14-d aged steak from the GM subprimals from intact bulls and steers castrated at 3 mo were used for sensory panel evaluation. These treatments were selected to represent treatments that would support discussion of potential differences that may exist in WBSF analysis. The sensory panel protocol was reviewed and approved by the Kansas State University Institutional Review Board of Human Subjects (Protocol # 5796) and the administration of the Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR)-San Carlos. Panelists were trained according to AMSA (1995) guidelines. Steaks were thawed and cooked as described for WBSF to an internal temperature of 71 °C. Each steak was cut into 1.27cm × 1.27cm × thickness of the cooked steak cubes perpendicular to the cut surface. Sensory panel evaluations were conducted in a room

partitioned into booths with a mixture of adjustable red and green light. For each session, duplicate samples from a subprimal representing steaks from a harvest group of three bulls and three steers castrated at 3 mo were served warm and evaluated by a seven-member panel. The order of presentation was randomized for each panelist within each session. Samples were assessed for six sensory attributes using an eight-point numerical scale evaluated to the nearest 0.5. Sensory traits (Appendix Table 4) evaluated were myofibrillar tenderness (1 = extremely tough to 8 = extremely tender), juiciness (1 = extremely dry to 8 = extremely juicy), beef flavor intensity (1 = extremely bland to 8 = extremely intense), connective tissue amount (1 = abundant to 8 = none), overall tenderness (1 = extremely tough to 8 = extremely tender), and off flavor intensity (1 = abundant to 8 = none).

#### **Statistical Design:**

A randomized complete block design with animal as the experimental unit and harvest group as the block was used for all data. A one-way analysis of variance (ANOVA) was performed using the PROC MIXED procedure of SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC). For Warner-Bratzler shear force and moisture losses during cooking, days of aging was used as a repeated measure. This model statement included castration treatment, days of aging and the treatment  $\times$  day interaction (Appendix Table 5). Means were separated ( $P < 0.05$ ) using the Tukey-Kramer procedure when the respective F-test was significant ( $P < 0.05$ ). In addition selected contrasts of steers vs bulls and early steers (castrated at 3 and 7 mo) vs bulls as well as linear and quadratic contrasts (Appendix Tables 6-9) were performed when respective F-test were significant ( $P < 0.05$ ).

## RESULTS

### Harvest and Carcass Traits:

Live, hot carcass and hide weights were not affected ( $P \geq 0.55$ ) by male sex condition resulting in similar ( $P \geq 0.14$ ) percentages of live shrink (farm to harvest), dress (dressing percentage), and hide (Table 1). However, steers castrated at all ages (3, 7, and 12 mo) had ( $P < 0.05$ ) heavier and a higher proportion of kidney and pelvic fat than intact bulls. Carcass measures of carcass length, round circumference, fat thickness, ribeye area, hump height, pH and temperature were not affected ( $P \geq 0.10$ ) by male sex condition (Table 2).

### Subprimal Weights and Proportions:

Subprimal weights and percentages for intact bulls and steers castrated at different ages are presented in Tables 3 and 4, respectively. Intact bulls had ( $P < 0.05$ ) heavier and a higher proportion of bone and fat trim loss than steers castrated at 3 mo. In a contrast comparison of steers vs bulls, bulls had ( $P < 0.05$ ) heavier and a higher proportion of bone and fat trim loss than steers. No differences in subprimal weights ( $P \geq 0.15$ ) were observed among intact bulls and steers castrated at different ages. When expressed as a proportion of chilled side weight, all steer groups had higher ( $P < 0.05$ ) proportion of top (inside) round than intact bulls; and steers castrated at 3 and 7 mo had higher ( $P < 0.05$ ) proportion of center cut top sirloin butt than intact bulls. When the steer vs bull contrast was performed, steers had ( $P < 0.05$ ) a higher proportion of center-cut top sirloin butt and top round.

### Color, Moisture Loss, and Warner-Bratzler Shear Force :

Lean color, proportion of package purge, proportion of cooking loss, and proportion of total moisture loss for LL, PM, GM, and ST steaks were not affected ( $P \geq 0.06$ ) by male sex condition (Table 5). In addition, WBSF values were similar ( $P \geq 0.41$ ) for PM, GM, and ST steaks from intact bulls and steers castrated at different

ages (Table 6). Although not statistically significant ( $P = 0.45$ ), means for GM steaks appeared to be somewhat lower (more tender) for steaks from early castrate groups than intact bulls.

A treatment  $\times$  aging interaction ( $P < 0.05$ ) was detected for LL WBSF values (Table 7). For 2, 7, and 14 d of aging, no differences ( $P > 0.05$ ) were observed for WBSF values among LL steaks from intact bulls and steers castrated at different ages. However, at 14 d of aging LL steaks from steers castrated a 3 mo tended ( $P = 0.07$ ) to be lower (more tender) than LL steaks from intact bulls. At 28 d of aging, steaks from steers castrated at 3 and 7 mo had lower ( $P < 0.05$ ; more tender) WBSF values than steaks from intact bulls; and steaks from steers castrated at 3 mo tended ( $P = 0.07$ ) to have lower WBSF values than steaks from steers castrated at 12 mo. In the contrast comparison of steers vs bulls, steaks aged 28 d from steers had ( $P < 0.05$ ) lower (more tender) WBSF values than steaks aged 28 d from bulls.

For LL steaks from steers castrated at 3 mo, steaks aged for 28 d had lower ( $P < 0.05$ ; more tender) WBSF values than steaks aged 2, 7, and 14 d; and steaks aged 14 d had lower ( $P < 0.05$ ) WBSF values than those aged 2 d. For LL steaks from steers castrated at 7 mo, steaks aged 28 d had lower ( $P < 0.05$ ) WBSF values than steaks aged 2, 7, and 14 d. For LL steaks from steers castrated at 12 mo and intact bulls, steaks aged 28 d had lower ( $P < 0.05$ ) WBSF values than steaks aged for 2 or 14 d. For steers, WBSF linearly ( $P < 0.05$ ) decreased with increased days of aging.

Aging linearly decreased ( $P < 0.05$ ) WBSF values for PM, GM, and ST steaks (Table 7). In addition this decrease was quadratic for PM and GM steaks. For both PM and GM steaks, steaks aged for 28 d had the lowest ( $P < 0.05$ ; most tender) WBSF values and steaks aged for 2 d had the highest ( $P < 0.05$ , toughest) WBSF

values. For ST steaks, WBSF values were highest ( $P < 0.05$ , toughest) for steaks aged 2 d.

The influence of aging on proportion of package purge and proportion of cooking loss of LL, PM, GM, and ST steaks is reported in Table 6. In general, proportion of package purge linearly ( $P < 0.05$ ) increased with days of aging for steaks from all subprimals; however, proportion of cooking and total moisture losses were more variable. For LL steaks, proportion of package purge increased ( $P < 0.05$ ) for each increase in days of aging; and steaks aged for 14 d had a greater ( $P < 0.05$ ) proportion of cooking loss than steaks aged for 7 and 28 d. In addition, LL steaks aged for 14 d had a greater ( $P < 0.05$ ) proportion of total moisture loss than steaks aged for 2 and 7 d.

For PM steaks, a quadratic ( $P < 0.05$ ) relationship was observed with the proportion of package purge greatest ( $P < 0.05$ ) at 28 d of aging and least ( $P < 0.05$ ) at 2 d of aging. The proportion of cooking loss linearly ( $P < 0.05$ ) decreased with aging and was lowest ( $P < 0.05$ ) at 28 d of aging resulting in no differences ( $P = 0.69$ ) in total moisture loss all aging periods.

For GM steaks, proportion of package purge was linearly ( $P < 0.05$ ) increased with aging and greatest ( $P < 0.05$ ) at 28 d of aging and least ( $P < 0.05$ ) at 2 d of aging. The proportion of cooking loss linearly ( $P < 0.05$ ) decreased with aging and was greatest ( $P < 0.05$ ) at 2 and 7 d of aging and least ( $P < 0.05$ ) at 28 d of aging. As a result, total moisture loss for GM steaks was similar ( $P = 0.50$ ) among all aging periods.

For ST steaks, the proportion of purge linearly ( $P < 0.05$ ) increased with aging and was greatest ( $P < 0.05$ ) at 14 and 28 d of aging and least ( $P < 0.05$ ) at 2 d of aging. A quadratic ( $P < 0.05$ ) relationship was observed for cooking loss of ST steaks

with the lowest ( $P < 0.05$ ) proportion of cooking loss at 2 days of aging and steaks aged for 28 d had a lower ( $P < 0.05$ ) proportion of cooking loss than steaks aged for 14 d. As a result, the proportion of total moisture loss increased linearly ( $P < 0.05$ ) with aging and steaks aged 14 d had more ( $P < 0.05$ ) total losses than steaks aged for 2 and 7 d; and steaks aged for 28 d had more ( $P < 0.05$ ) losses than steaks aged for 2 d.

#### **Sensory Panel:**

Sensory panel data for LL, PM, GM, and ST steaks aged for 14 d from intact bulls and steers castrated at 3 mo of age are reported in Tables 8, 9, 10, and 11, respectively. Although all sensory panel data collected were not statistically different ( $P > 0.05$ ), LL steaks from steers castrated at 3 mo had higher (more tender) scores for myofibrillar ( $P = 0.20$ ) and overall tenderness ( $P = 0.17$ ) compared to steaks from intact bulls. The GM steaks followed a similar trend with steaks from steers castrated at 3 mo of age having higher (more tender) scores for myofibrillar ( $P = 0.14$ ) and overall tenderness ( $P = 0.24$ ) compared to steaks from intact bulls.

## **DISCUSSION**

In the present study, few differences were observed for harvest, carcass, and subprimal yield traits. The exception was that intact bulls had less kidney and pelvic fat than steers. Most studies (Arthaud *et al.*, 1969; Jacobs *et al.*, 1977; Purchas and Grant, 1995; Purchas *et al.*, 2002) indicate that bulls fed adequate nutrition are heavier and have higher cutability carcasses than steers. Bulls are expected to have greater ADG, weigh more, and produce higher cutability carcasses since androgens promote muscular development by an increase of nitrogen retention (Galbraith *et al.*, 1978). Most studies involving bulls and steers are conducted under favorable nutritional and

environmental growing conditions resulting in bulls growing 10-20% faster than steers (Field 1971; Sideman *et al.*, 1982). However, when nutritional conditions are more marginal, bulls and steers grow at the same rate (Martin *et al.*, 1978), possibly because of the higher maintenance requirements for bulls (Webster *et al.* 1977; Griffiths 1980). The ARC feed requirement indicate a 15% higher maintenance requirement for a bull than for a steer of the same weight (ARC, 1980). In addition, the efficiency of utilization of low quality roughages by ruminants is influenced by the thermal environment which determines the requirements for substrate oxidation for maintenance of body temperature and alters the balance of nutrients available for anabolic functions (Leng, 1990). Heat stress affects the maintenance energy because greater metabolic action is needed to increase heat dissipation (Morrison, 1983). As a partial result, no differences were observed in this study for final weight and carcass cutability for bulls and steers fed on pasture under tropical climate conditions.

The four subprimal cuts in the present study appear to have different inherent properties and are influenced differently by castration and days of aging. Steers were more tender (lower WBSF) than bulls at 28 d of aging. The influence of castration on tenderness was more pronounced with earlier castration. Steers castrated at 3 mo tended ( $P = 0.07$ ) to have lower WBSF at 14 d of aging; and although not statistically significant, this difference was supported by sensory panel data of steaks aged 14 d.

Many researchers have reported that meat from bulls is less tender and less palatable than meat from steers (Field, 1971; Seideman *et al.*, 1982; Dikeman *et al.*, 1986). Serum testosterone has been shown to linearly increase in bulls from 7 to 13 mo of age (Lunstra *et al.*, 1978). The increased testosterone for a bull is believed to stimulate collagen synthesis (Cross *et al.*, 1984) resulting in greater amounts of intramuscular collagen than for castrated steers (Gerrad *et al.*, 1987). In addition,



Judge and Aberle (1982) determined that intact males have collagen with a higher thermal shrinkage temperature than steers which increases from 12 to 18 mo of age. Gerrard *et al.* (1987) also found that the thermal stability of collagen from bulls increases more rapidly than collagen from steers indicating that testosterone may play a role in the maturation of collagen by decreasing the collagen degradation rate.

The Myofibril Fragmentation Index (MFI) indicates the amount of myofibrillar proteolysis that has occurred (Morgan *et al.*, 1993) and *Longissimus* muscle (LM) tenderness is highly and positively correlated with MFI (Parrish *et al.*, 1979). Morgan *et al.* (1993) determined that LM steaks from bulls had higher shear force and lower MFI values than LM steaks from steers. Morgan *et al.* (1993) found calpastatin activity (endogenous calpain activity inhibitor) was 81% greater in the LM from bulls than steers. The greater calpastatin activity in bull LM likely decreases the amount of myofibrillar protein proteolysis by u-calpain through 7d postmortem resulting in less tender meat (Morgan *et al.*, 1993). Koohmaraie (1988) stated that the calpain proteolytic system plays a major role in postmortem tenderization.

Previous research (Shackelford *et al.*, 1995; Rhee *et al.*, 2004) concluded that the LM muscle is one of the the most variable muscles in WBSF. Martin *et al.* (1971) reported a 14 % reduction in *Longissimus* shear force from 3 to 6 d and an 11% reduction between 6 and 13 d. Gruber *et al.* (2006) showed continued improvement in WBSF for Select LM muscle aged up to 28 d. In the present study LL steaks from steers castrated a 3 mo had a 40% improvement in WBSF from 2 to 28 d, but LL steaks from bulls only displayed an 18% improvement in WBSF from 2 to 28 d. Koohmaraie *et al.* (1988) found the PM was more tender than the LM at 1 d postmortem; however, after 14 d of postmortem storage, they were similar. This greater capacity to increase tenderness during aging was partially attributed to greater

initial Calcium dependent inhibitor activity and later increased calcium dependent protease activities in LM compared to the PM muscle. This difference in calpastatin/calpain can partially explain the 40% and 37% improvement in WBSF from 2 to 28 d postmortem for LD steaks from steers castrated at 3 and 7 mo, respectively, and only a 18% improvement across all treatments in WBSF for PM steaks.

As expected, steaks from the PM were inherently more tender than steaks from the other subprimals. At 2 d postmortem, PM WBSF values averaged 4.4 kg in the present study. In agreement, Rhee *et al.* (2004) reported WBSF values at 2 d postmortem of 4.5 kg. Tenderness of PM steaks measured by WBSF was similar for all castration treatments; however, increased days of aging improved tenderness. The greatest improvement in WBSF occurred between 2 and 7 d postmortem with a smaller improvement to 28 d postmortem. Gruber *et al.*, (2006) also showed an improvement in WBSF for up to 28 d for Select PM steaks. The tenderloin is known as a very tender muscle as it has the least collagen content and longest sarcomeres compared to other muscles studied by Rhee *et al.* (2004). However, Rhee *et al.* (2004) also found less desmin degradation for the PM which relates to less improvement in tenderness due to aging. In addition, Koohmaraie *et al.* (1990) reported that muscles with higher proportions of red fibers such as the Psoas major have higher concentrations of  $Zn^{++}$ , which inhibits calpain activity and desmin degradation. As a partial result, castration treatment in this study did not affect PM tenderness and aging improved tenderness, but not to the extent observed for the LL and GM.

Although not statistically significant, tenderness of GM steaks appeared to be somewhat impacted by castration treatment. Early castrated steers had lower means

for WBSF and improved sensory panel tenderness scores compared to intact bulls. Therefore the tendency for lower WBSF values for early castration groups and improved sensory panel tenderness for steers castrated at 3 mo compared to bulls is consistent with the reduced levels of serum testosterone and calpastatin activity. For GM steaks, increased days of aging improved tenderness. These steaks aged 28 d had 31% lower WBSF values than steaks aged 2 d. Rhee *et al.* (2004) determined that the GM is intermediate in collagen concentration and variable in tenderness partially attributing this variability to connective tissue. George-Evins *et al.* (2004) found aging the GM steaks for 21 d improved tenderness and Gruber *et al.* (2006) determined that the GM muscle continued to improve in tenderness through 28 d.

The GM is generally characterized as muscle that is variable in tenderness (Morgan *et al.*, 1991) and is often blade tenderized to improve consistency (George-Evins *et al.*, 2004). Rhee *et al.* (2004) characterized the GM as having similar properties to the LL except for slightly greater collagen content as well as more connective tissue and lower overall tenderness as evaluated by a sensory panel. In contrast, WBSF values of GM steaks in the present study were generally more favorable than those from LL steaks. A partial explanation could be related to the chill rate of the two different muscle locations. The carcasses in this study had minimal fat cover and could have been susceptible to cold shortening. Considering the mass of the GM and surrounding round muscles, we would expect a slower chilling rate for the GM than the LL. According to King *et al.* (2003) there is an interaction between muscle and chilling temperature for sarcomere length. Then, postmortem proteolysis and sarcomere length are both implicated in myofibrillar tenderness of meat (Wheeler and Koohmaraie. 1994). Locker (1982) suggested that cold shortened meat does not improve tenderness to the same degree because of

increased overlapping of the thick and thin filaments and possibly limited access of calpain enzymes to degradable proteins.

Tenderness of ST steaks was not impacted by castration treatment and responded to 7 d of aging with minimal improvement due to increased days of aging thereafter. At 2 d postmortem ST WBSF values averaged 6.6 kg in the present study. In agreement, Rhee *et al.*, (2004) reported WBSF values at 2 d postmortem of 6.4 kg. Gruber *et al.*, (2006) showed no improvement in Warner Bratzler shear force for Select ST muscle beyond 21 d. According to Rhee *et al.* (2004) the ST was the most variable in sarcomere length and higher in collagen content (8.7 mg/g) compared with other muscles including the GM (4.3 mg/g), PM (2.7 mg/g), and LM (4.5 mg/g). Cross *et al.* (1973) found less soluble collagen in ST compared to LM muscles and concluded that the proportion of soluble collagen was significantly related to the contribution of connective tissue to toughness. Nishimura *et al.* (1996) stated that the arrangement of collagen fibrils and fibers in the intramuscular connective tissue becomes more regular during development of bovine ST muscle. These changes in collagen and collagen fibrils could be related to decreased ST heat solubility of collagen during increased chronological age of cattle and toughening of meat during growth (Nishimura *et al.*, 1999). Both the greater amount and decreased solubility of connective tissue found in the ST muscle has been proposed to predominate the evaluation of tenderness and mask the potential improvement in myofibrillar tenderness due to proteolysis.

In general purge loss increased with days of aging for all muscles studied. Studies conducted by Hodges *et al.* (1974), Bentley *et al.* (1989) and Fandino *et al.* (1989) concluded that purge loss increased with storage. In addition, Hodges *et al.* (1974) reported that cuts from low grading (leaner) carcasses had greater purge than

those for high grading (fatter carcasses). The aging process may cause a change in the protein structure and functionality resulting in a modification in the ability of meat to retain moisture (Huff-Lonergan and Lonergan, 2005). For PM and GM steaks cooking losses decreased with days of aging compensating for increased purge losses and resulted in similar total moisture losses across aging periods. However cooking losses were more variable across aging periods for LL and ST steaks resulting in inconsistent results for total moisture losses.

## CONCLUSIONS

In conclusion, castration should be performed as early as possible since all weights (live, carcass and subprimal) and cutability were similar to bulls, and there is the potential benefit of enhanced tenderness for some muscles such as the LL and GM. In addition, early castration promotes animal welfare and ease of handling, especially for *Bos indicus* cattle. Further management practices to consider that could potentially improve performance and beef quality (especially tenderness) of cattle raised in tropical climates could include use higher energy diets, harvest at younger ages, genetic selection within *Bos indicus* breeds and crossbreeding with *Bos taurus* breeds.

Aging improved beef tenderness of LL, PM, GM and ST steaks, however these muscles reacted differently to aging. These differences can be attributed to differences in proteolysis of myofibrillar proteins and connective tissue properties. Castration and aging for 28 d provided the greatest benefit in improving the tenderness of LL steaks. This tendency was also observed for GM steaks with means favoring early castration and aging improving tenderness. Aging of tenderloin steaks for 7 d provided the greatest improvement in tenderness with aging to 28 d providing

only a slight improvement in of an already tender PM. Aging the ST for 7 d provided improvement in tenderness with no benefit of extended aging.

## TABLES

**Table 1. Harvest traits of intact bulls and steers castrated at different ages.**

Trait	Age of Castration			Intact Bulls	SE
	3 mo	7 mo	12 mo		
Age, d	787	782	789	791	7.1
Farm wt, kg	427.5	439.1	424.3	437	11.78
Harvest plant wt, kg	391.6	407	391.7	403.3	12.84
Live shrink, %	6.6	5.7	5.9	6.0	1.1
Carcass wt, kg	214.2	223.6	213.4	217.3	7.9
Dressing percentage, %	55.1	55.2	54.8	54.3	0.4
Kidney and pelvic fat, kg <sup>1</sup>	2.4 <sup>a</sup>	2.8 <sup>a</sup>	2.5 <sup>a</sup>	1.6 <sup>b</sup>	0.3
Kidney and pelvic fat, % <sup>1</sup>	1.2 <sup>a</sup>	1.3 <sup>a</sup>	1.2 <sup>a</sup>	0.8 <sup>b</sup>	0.1
Hide wt, kg	33.9	31.5	33.8	32.7	1.3
Hide, % <sup>2</sup>	8.6	7.8	8.6	8.1	0.35

<sup>1</sup>Contrast: steer vs bull ( $P < 0.05$ ).

<sup>2</sup>Expressed as a percentage of harvest plant wt.

<sup>a-b</sup> Within a row, means without a common superscript letter differ ( $P < 0.05$ ).

**Table 2. Carcass traits of intact bulls and steers castrated at different ages.**

Trait	Age of Castration			Intact Bulls	SE
	3 mo	7 mo	12 mo		
Carcass length, cm	157.4	162.8	157.3	157.9	1.8
Round circumference, cm	104	104.1	105.1	104.3	1.1
Fat thickness, cm	0.23	0.23	0.23	0.23	0.024
Ribeye area, cm <sup>2</sup>	61.0	62.3	60.2	62.4	1.8
Hump height, cm	9.7	9.1	9.2	10.5	0.7
3 h pH <sup>1</sup>	6.3	6.3	6.3	6.4	0.1
3 h temperature, °C <sup>1</sup>	10.6	11.5	13.8	10.8	2.4
24 h pH <sup>1</sup>	5.6	5.7	5.6	5.7	0.0
24 h temperature, °C <sup>1</sup>	4.4	4.6	4.4	3.7	0.41

<sup>1</sup>*Longissimus lumborum* pH and temperature were measured between the 3<sup>rd</sup> and 5<sup>th</sup> lumbar vertebrae.

**Table 3. Closely-trimmed subprimal and lean trim weights per carcass side of intact bulls and steers castrated at different ages.**

Trait	Age of Castration			Intact Bulls	SE
	3 mo	7 mo	12 mo		
Chilled side wt, kg	107.7	112.5	107.4	110.3	3.8
Bone and fat trim, kg <sup>1</sup>	23.7 <sup>a</sup>	24.2 <sup>ab</sup>	24.6 <sup>ab</sup>	26.5 <sup>b</sup>	0.58
Forequarter subprimals, kg	33.6	35.0	32.6	34.4	1.37
Ribeye, kg	2.3	2.5	2.2	2.3	0.13
Ribeye cap, kg	1.3	1.3	1.3	1.4	0.08
Back rib fingers, kg	5.4	6.0	5.2	5.2	0.32
Outside skirt, kg	0.7	0.7	0.7	0.7	0.07
Chuck tender, kg	1.4	1.3	1.3	1.3	0.06
Top blade, kg	1.9	2.0	1.9	1.9	0.11
Under blade, kg	1.6	1.6	1.6	1.9	0.23
Clod, kg	2.4	2.5	2.4	2.6	0.19
Chuck, kg	4.8	4.9	4.7	5.3	0.23
Hump, kg	0.9	1.2	0.6	1.1	0.27
Brisket, kg	3.4	3.4	3.1	3.4	0.14
Foreshank, kg	6.0	6.2	6.3	6.0	0.24
Hindquarter subprimals, kg	32.0	33.0	32.0	31.4	1.02
Strip loin, kg	2.4	2.7	2.5	2.5	0.11
Tenderloin, kg	1.7	1.8	1.6	1.6	0.06
Center cut top sirloin butt, kg	3.1	3.2	3.0	3.0	0.15
Top sirloin cap, kg	1.4	1.4	1.3	1.4	0.05
Tri tip, kg	1.1	1.1	1.1	1.0	0.08
Flank, kg	0.6	0.7	0.6	0.6	0.06
Inside skirt, kg	1.0	1.0	1.5	0.9	0.29
Knuckle (Tip), kg	4.8	4.7	4.8	4.8	0.21
Top (inside) round, kg	7.4	7.6	7.4	7.1	0.24
Bottom (outside) round, kg	4.1	4.3	4.0	4.1	0.14
Eye of round, kg	2.1	2.1	2.0	2.0	0.07
Hindshank, BNLS, kg	1.7	1.9	1.8	1.8	0.1
Total subprimals, kg	65.0	67.6	64.2	65.3	2.3
Lean trim, kg	18.1	19.5	17.8	18.2	1.09
Total salable meat, kg <sup>2</sup>	82.4	86.3	81.2	82.7	3.49

<sup>1</sup>Contrast: steer vs bull ( $P < 0.05$ ).

<sup>2</sup>Total salable meat = total subprimals + lean trim.

<sup>a-b</sup> Within a row, means without a common superscript letter differ ( $P < 0.05$ ).



**Table 4. Closely-trimmed subprimals and lean trim as a percentage of chilled side weight of intact bulls and steers castrated at different ages.**

Trait	Age of Castration			Intact Bulls	SE
	3 mo	7 mo	12 mo		
Bone and fat trim, % <sup>1</sup>	22.2 <sup>a</sup>	21.9 <sup>a</sup>	23.2 <sup>ab</sup>	24.2 <sup>b</sup>	0.68
Forequarter subprimals, %	30.1	30.1	29.3	30.2	0.71
Ribeye, %	2.1	2.2	1.9	2.0	0.1
Ribeye cap, %	1.3	1.2	1.3	1.3	0.04
Back rib fingers, %	4.9	5.2	4.7	4.7	0.31
Outside skirt, %	0.8	0.8	0.7	0.7	0.04
Chuck tender, %	1.3	1.2	1.2	1.2	0.04
Top blade, %	1.8	1.8	1.8	1.7	0.07
Under blade, %	1.5	1.4	1.5	1.8	0.17
Clod, %	2.3	2.3	2.3	2.3	0.12
Chuck, %	4.5	4.5	4.5	4.9	0.23
Hump, %	0.8	1.0	0.6	1.0	0.19
Brisket, %	3.2	3.2	2.9	3.2	0.15
Fores Shank, %	5.5	5.4	5.7	5.3	0.20
Hindquarter subprimals, %	28.8	28.5	28.9	27.6	0.38
Strip loin, %	2.4	2.5	2.4	2.4	0.11
Tenderloin, %	1.5	1.5	1.4	1.5	0.03
Center cut top sirloin butt, kg <sup>1</sup>	2.9 <sup>a</sup>	2.9 <sup>a</sup>	2.8 <sup>ab</sup>	2.7 <sup>b</sup>	0.05
Top sirloin cap, %	1.3	1.2	1.1	1.2	0.04
Tri tip, %	1.0	1.0	1.0	1.0	0.06
Flank, %	0.6	0.6	0.6	0.6	0.04
Inside skirt, %	0.9	0.8	1.2	0.8	0.21
Knuckle (Tip), %	4.4	4.1	4.4	4.3	0.11
Top (inside) round, % <sup>1</sup>	6.7 <sup>a</sup>	6.6 <sup>a</sup>	6.7 <sup>a</sup>	6.2 <sup>b</sup>	0.12
Bottom (outside) round, %	3.8	3.8	3.9	3.7	0.11
Eye of round, %	1.9	1.9	1.8	1.8	0.06
Hindshank, BNLS, %	1.6	1.7	1.7	1.6	0.05
Total subprimals, %	58.9	58.8	58.2	57.9	0.61
Lean trim, %	17.3	17.6	16.9	16.9	0.69
Total salable meat, % <sup>2</sup>	76.8	76.9	75.8	75.3	0.73

<sup>1</sup>Contrast: steer vs bull ( $P < 0.05$ ).

<sup>2</sup>Total salable meat = total subprimals + lean trim.

<sup>a-b</sup> Within a row, means without a common superscript letter differ ( $P < 0.05$ ).

**Table 5. Color, package purge, cooking moisture loss and Warner-Braztler shear force (WBSF) of four muscles from intact bulls and steers castrated at different ages.**

Trait	Age of Castration			Intact Bulls	SE
	3 mo	7 mo	12 mo		
<i>Longissimus lumborum</i>					
Color <sup>1</sup>	5.3	5.6	4.9	5.1	0.42
Package purge, %	4.0	3.7	4.8	3.6	0.61
Cooking loss, %	26.6	27.7	27.2	28.3	0.72
Total moisture loss, % <sup>2</sup>	29.6	29.9	30.6	30.4	1.19
<i>Psoas major</i>					
Color <sup>1</sup>	4.8	4.5	4.2	4.0	0.3
Package purge, %	4.6	4.1	5.1	4.4	0.77
Cooking loss, %	31.9	32.7	31.8	32.9	0.73
Total moisture loss, % <sup>2</sup>	36.1	33.7	35.5	35.8	0.96
WBSF, kg	4.0	3.9	3.7	3.9	0.41
<i>Gluteus medius</i>					
Color <sup>1</sup>	4.9	4.4	4.5	4.4	0.26
Package purge, %	4.1	3.9	4.6	4.0	0.61
Cooking loss, %	33.9	34.1	34.0	34.8	1.17
Total moisture loss, % <sup>2</sup>	37.6	34.7	37.1	36.9	1.17
WBSF, kg	6.4	6.6	7.0	7.3	0.45
<i>Semitendinosus</i>					
Color <sup>1</sup>	3.9	3.8	3.3	2.9	0.3
Package purge, %	4.2	3.1	3.2	2.9	0.78
Cooking loss, %	31.8	33.2	32.9	32.9	0.8
Total moisture loss, % <sup>2</sup>	37.0	35.8	35.4	37.4	3.13
WBSF, kg	6.1	6.3	6.1	6.1	0.67

<sup>1</sup>Color was evaluated on a scale of 1 to 8 (1 = pale, 8 = very dark red).

<sup>2</sup>Percentage of moisture loss was a combination of the package purge and cooking loss divided by the initial raw weight.

**Table 6. Package purge, cooking moisture loss and Warner-Bratzler shear force (WBSF) of steaks aged for 2, 7, 14 and 28 d.**

Trait	Aging time				SE
	2 d	7 d	14 d	28 d	
<i>Longissimus lumborum</i>					
Package purge,% <sup>1</sup>	1.6 <sup>a</sup>	3.1 <sup>b</sup>	4.4 <sup>c</sup>	6.6 <sup>d</sup>	0.54
Cooking loss, %	27.5 <sup>ab</sup>	26.7 <sup>a</sup>	29.1 <sup>b</sup>	26.7 <sup>a</sup>	0.75
Total moisture loss, %	28.6 <sup>a</sup>	30.0 <sup>a</sup>	32.1 <sup>b</sup>	30.2 <sup>ab</sup>	1.07
<i>Psoas major</i>					
Package purge,% <sup>12</sup>	2.1 <sup>a</sup>	3.5 <sup>b</sup>	4.2 <sup>b</sup>	8.5 <sup>c</sup>	0.73
Cooking loss, % <sup>1</sup>	33.4 <sup>a</sup>	32.4 <sup>a</sup>	32.9 <sup>a</sup>	30.6 <sup>b</sup>	0.71
Total moisture loss, %	35.6	35.7	35.5	34.3	0.92
WBSF, kg <sup>12</sup>	4.4 <sup>a</sup>	3.8 <sup>b</sup>	3.8 <sup>b</sup>	3.6 <sup>c</sup>	0.11
<i>Gluteus medius</i>					
Package purge,% <sup>1</sup>	2.3 <sup>a</sup>	3.5 <sup>b</sup>	4.4 <sup>b</sup>	6.4 <sup>c</sup>	0.41
Cooking loss, % <sup>1</sup>	35.5 <sup>a</sup>	35.4 <sup>a</sup>	33.8 <sup>b</sup>	31.9 <sup>c</sup>	1.00
Total moisture loss, %	37.6	36.4	36.4	35.9	0.89
WBSF, kg <sup>12</sup>	8.3 <sup>a</sup>	6.8 <sup>b</sup>	6.4 <sup>b</sup>	5.7 <sup>c</sup>	0.46
<i>Semitendinosus</i>					
Package purge,% <sup>1</sup>	0.9 <sup>a</sup>	2.4 <sup>b</sup>	4.4 <sup>c</sup>	5.7 <sup>c</sup>	0.59
Cooking loss, % <sup>12</sup>	30.4 <sup>a</sup>	33.5 <sup>bc</sup>	34.4 <sup>c</sup>	32.5 <sup>b</sup>	0.69
Total moisture loss, % <sup>1</sup>	33.5 <sup>a</sup>	35.4 <sup>ab</sup>	38.9 <sup>c</sup>	37.7 <sup>bc</sup>	1.77
WBSF, kg <sup>1</sup>	6.6 <sup>a</sup>	6.1 <sup>b</sup>	6.2 <sup>b</sup>	6.0 <sup>b</sup>	0.10

<sup>1</sup>Linear ( $P < 0.05$ ).

<sup>2</sup>Quadratic ( $P < 0.05$ ).

<sup>a-c</sup>Within a row, means without a common superscript letter differ ( $P < 0.05$ ).

**Table 7. Male sex condition × aging interaction means for Warner-Bratzler shear force values of Longissimus lumborum steaks (SE=1.03).**

Aging Period	Age of Castration			Bulls
	3 mo <sup>1</sup>	7 mo <sup>1</sup>	12 mo <sup>1</sup>	
2 d, kg	10.1 <sup>x</sup>	10.8 <sup>x</sup>	9.5 <sup>x</sup>	10.5 <sup>x</sup>
7 d, kg	9.3 <sup>xy</sup>	9.7 <sup>x</sup>	9.2 <sup>xy</sup>	10.1 <sup>xy</sup>
14 d, kg	8.7 <sup>y</sup>	10.0 <sup>x</sup>	9.4 <sup>x</sup>	10.5 <sup>x</sup>
28 d, kg <sup>2</sup>	6.4 <sup>az</sup>	6.8 <sup>ay</sup>	8.2 <sup>aby</sup>	9.0 <sup>by</sup>

<sup>1</sup>Linear ( $P < 0.05$ ) decrease in Warner Bratzler shear force values with increased days of aging.

<sup>2</sup>Contrast: steers vs bulls ( $P < 0.05$ ).

<sup>a-b</sup>Within a row, means without a common superscript letter differ ( $P < 0.05$ ).

<sup>x-z</sup>Within a column, means without a common superscript letter differ ( $P < 0.05$ ).

**Table 8. Sensory panel characteristics of Longissimus lumborum steaks aged for 14 d from intact bulls and steers castrated at 3 mo.**

Trait <sup>1</sup>	Steer	Bull	SE
Myofibrillar tenderness	4.7	4.1	0.33
Connective tissue amount	5.8	5.6	0.16
Overall tenderness	4.7	4.0	0.31
Juiciness	4.8	4.5	0.17
Beef Flavor	3.6	3.5	0.20
Off flavor intensity	6.5	6.4	0.15

<sup>1</sup>Sensory traits were evaluated on a scale of 1 to 8 for myofibrillar tenderness (1 = extremely tough, 8 = extremely tender), connective tissue amount (1 = abundant, 8 = none), overall tenderness (1 = extremely tender, 8 = extremely tough), juiciness (1 = extremely dry, 8 = extremely juicy), beef flavor (1 = extremely bland, 8 = extremely intense) and off flavor intensity (1 = extremely intense, 8 = none).

**Table 9. Sensory panel characteristics of Psoas major steaks aged for 14 d from intact bulls and steers castrated at 3 mo.**

Trait <sup>1</sup>	Steer	Bull	SE
Myofibrillar tenderness	6.7	6.6	0.21
Connective tissue amount	6.4	6.3	0.15
Overall tenderness	6.7	6.7	0.19
Juiciness	5.5	5.5	0.12
Beef Flavor	4.9	4.8	0.21
Off flavor intensity	6.4	6.4	2.42

<sup>1</sup>Sensory traits were evaluated on a scale of 1 to 8 for myofibrillar tenderness (1 = extremely tough, 8 = extremely tender), connective tissue amount (1 = abundant, 8 = none), overall tenderness (1 = extremely tender, 8 = extremely tough), juiciness (1 = extremely dry, 8 = extremely juicy), beef flavor (1 = extremely bland, 8 = extremely intense) and off flavor intensity (1 = extremely intense, 8 = none).

**Table 10. Sensory panel characteristics of Gluteus medius steaks aged for 14 d from intact bulls and steers castrated at 3 mo.**

Trait <sup>1</sup>	Steer	Bull	SE
Myofibrillar tenderness	4.9	4.4	0.20
Connective tissue amount	5.7	5.5	0.13
Overall tenderness	4.8	4.5	0.18
Juiciness	4.3	4.3	0.23
Beef Flavor	4.2	4.0	0.09
Off flavor intensity	6.2	6.1	0.11

<sup>1</sup>Sensory traits were evaluated on a scale of 1 to 8 for myofibrillar tenderness (1 = extremely tough, 8 = extremely tender), connective tissue amount (1 = abundant, 8 = none), overall tenderness (1 = extremely tender, 8 = extremely tough), juiciness (1 = extremely dry, 8 = extremely juicy), beef flavor (1 = extremely bland, 8 = extremely intense) and off flavor intensity (1 = extremely intense, 8 = none).

**Table 11. Sensory panel characteristics of Semitendinosus steaks aged for 14 d from intact bulls and steers castrated at 3 mo.**

Trait <sup>1</sup>	Steer	Bull	SE
Myofibrillar tenderness	4.8	5.1	0.15
Connective tissue amount	5.6	5.5	0.24
Overall tenderness	4.9	5.0	0.17
Juiciness	3.9	3.8	0.23
Beef Flavor	3.9	3.8	0.11
Off flavor intensity	6.0	6.1	0.14

<sup>1</sup>Sensory traits were evaluated on a scale of 1 to 8 for myofibrillar tenderness (1 = extremely tough, 8 = extremely tender), connective tissue amount (1 = abundant, 8 = none), overall tenderness (1 = extremely tender, 8 = extremely tough), juiciness (1 = extremely dry, 8 = extremely juicy), beef flavor (1 = extremely bland, 8 = extremely intense) and off flavor intensity (1 = extremely intense, 8 = none).

## LITERATURE CITED

- ARC. 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. Slough, United Kingdom, Commonwealth Agricultural Bureau.
- Arthaud, V. H., C. H. Adams, D. R. Jacobs, and R. M. Koch. 1969. Comparison of carcass traits of bulls and steers. *J. Anim. Sci.* 28:742-745.
- Bentley, D. S., J. O. Reagan, and M. P. Miller. 1989. Effects of gas atmosphere, storage temperature and storage time on the shelf life and sensory attributes of vacuum packaged ground beef patties. *J. Food Sci.* 54:284-286.
- Cross, H. R., Z. L. Carpenter, and C. G. Smith. 1973. Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. *J. Food Sci.* 38:998-1003.
- Cross, H. R., B. D. Schanbacher, and J. D. Crouse. 1984. Sex, age and breed related changes in bovine testosterone and intramuscular collagen. *Meat Sci.* 10:187-195.
- Dikeman, M. E., G. B. Reddy, V. H. Arthaud, H. J. Tuma, R. M. Koch, R. W. Mandigo, and J. B. Axe. 1986. Longissimus muscle quality, palatability and connective tissue histological characteristics of bulls and steers fed different energy levels and slaughtered at four ages. *J. Anim. Sci.* 63:92-101.
- Fandino, G., G. C. Skelley and, D. L. Handlin 1989. Acceptability, shrinkage and microbial growth of vacuum packaged pork comparing intact packages, leaking packages and roast sprayed with sodium hypochlorite. *J. Food Protection.* 52:35-40.
- Field, R.A. 1971. Effect of castration on meat quality and quantity. *J. Anim. Sci.* 1971. 32:849-858.
- Galbraith, H., D. G. Dempster, and T. B. Miller, 1978. A note of the effect of castration on the growth performance and concentrations of some blood metabolites and hormones in British Friesian male cattle. *Anim. Prod.* 26:339-342.
- George-Evins, C. D., J. A. Unruh, A. T. Waylan, and J. L. Marsden . 2004. Influence of quality classification, aging period, blade tenderization, and endpoint cooking temperature on cooking characteristics and tenderness of beef *Gluteus medius* steaks. *J. Anim. Sci.* 82:1863-1867.
- Gerrard, D. E., S. J. Jones, E. D. Aberle, R. P. Lemenager, M. A. Diekman, and M. D. Judge. 1987. Collagen stability, testosterone secretion and tenderness in growing bulls and steers. *J. Anim. Sci.* 65:1236-1242.

- Griffits, T. W. 1980. The relative efficiency of food utilization of British Friesian entire male and castrate male cattle at two levels of feeding. *Anim. Prod.* 30: 53-59.
- Gruber, S. L., J. D. Tatum, J. A. Scanga, P. L. Chapman, G. C. Smith, and K. E. Belk. 2006. Effects of postmortem aging and USDA quality grade on Warner – Braztler shear force values of seventeen individual muscles. *J. Anim. Sci.* 84:3387-3396.
- Huff-Lonergan, E., and S. M. Lonergan. 2005. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Sci.* 71:194-204.
- Hodges, J. H., V. R. Cahill, and H. W. Ockerman. 1974. Effect of vacuum-packaging on weight loss, microbial growth and palatability of fresh beef wholesale cuts. *J. Food Sci.* 39:143-146.
- Jacobs, J. A., C. E. Hurst, J. C. Miller, A. D. Howes, and Gregory T. L. 1977. Bulls versus Steers. I. Carcass composition, Wholesale Yields and Retail Values. *J. Anim. Sci.* 45:695-698.
- King, D. A., M. E. Dikeman, T. L. Wheeler, C. L. Kastner, and M. Koohmaraie. 2003. Chilling and cooking rate effects on some myofibrillar determinants of tenderness of beef. *J. Anim. Sci.* 81:1473-1481.
- Koohmaraie, M. 1988. The role of endogenous proteases in meat tenderness. *Proc. Recip. Meat Conf.* 41:89-100.
- Koohmaraie, M. 1990. Inhibition of postmortem tenderization in ovine carcasses through infusion of zinc. *J. Anim. Sci.* 68:1476-1483.
- Leng, R. A. Factors affecting the utilization of poor quality forages by ruminants particularly under tropical conditions. 1990. *Nutrition Research Reviews.* 3:277-303.
- Light, N., A. E. Champion, C. Voyle, and A. J. Bayley. 1985. The role of epimysial, perimysial and endomysial collagen in determining texture in six bovine muscles. *Meat Sci.* 13:137-149.
- Locker, R. H. 1960. Degree of muscular contraction as a factor in tenderness of beef. *J. Food Sci.* 25:304-307.
- Lunstra, D. D., J. J. Ford, and S. E. Echtenkamp. 1978. Puberty in beef bulls: Hormone concentrations, growth, testicular development, sperm production and sexual aggressiveness in bulls of different breeds. *J. Anim. Sci.* 46:1054-1062.
- Martin, A. H., H. T. Fredeen, and G. M. Weiss. 1971. Tenderness of beef *Longissimus dorsi* muscle from steers, heifers and bulls as influenced by source, post mortem aging and carcass characteristics. *J. Food Sci.* 36:619-623.

- Martin, T. G., T. W. Perry, W. M. Beeson, and M. T. Mohler. 1978. Protein levels for bulls: Comparison of three continuous dietary levels on growth and carcass traits. *J. Anim. Sci.* 47:29-33.
- Morgan, J. B., J. W. Savell, D. S. Hale, R. K. Miller, D. B. Griffin, H. R. Cross and S.D. Shackelford. 1991. National Beef Tenderness Survey. *J. Anim. Sci.* 69:3274-3280.
- Morgan, J. B., T. L. Wheeler, M. Koohmaraie, J. W. Savell, and J. D. Crouse. 1993. Meat tenderness and the calpain proteolytic system in *longissimus* muscle of young bulls and steers. *J. Anim. Sci.* 71:1471-1476.
- Morrison, S. R. 1983. Ruminant heat stress: Effect on production and means of alleviation. *J. Anim. Sci.* 57:1594-1600.
- Nishimura, T., A. Hattori, and K. Takahashi. 1999. Structural changes in intramuscular connective tissue during the fattening of Japanese black cattle: effect of marbling on beef tenderization. *J. Anim. Sci.* 77:93-104.
- Parrish, F. C., Jr., C. J. Vandell, and R. D. Culler. 1979. Effect of maturity and marbling on the myofibril fragmentation index of bovine *Longissimus* muscle. *J. Food Sci.* 44:1668-1671.
- Purchas, R. W., D. L. Burnham and, and S. T. Morris. 2002. Effects of growth potential and growth path on tenderness of beef *Longissimus* muscle from bulls and steers. *J. Anim. Sci.* 80:3211-3221.
- Purchas, R. W., and D. A. Grant. 1995. Liveweight gain and carcass characteristics of bulls and steers farmed on hill country. *J. Agri. Res.* 38:131-142.
- Rhee, M. S., T. L. Wheeler, S. D. Shackelford, and M. Koohmaraie. 2004. Variation in palatability and biochemical traits within and among eleven beef muscles. *J. Anim. Sci.* 82:534-550.
- Shackelford, S. D., T. L. Wheeler, and M. Koohmaraie. 1995. Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *J. Anim. Sci.* 73:3333-3340.
- Seideman, A. C., H. R. Cross, R. R. Oltjen, and B. D. Schanbacher. 1982. Utilization of the intact male for red meat production: a review. *J. Anim. Sci.* 55:826-840.
- Webster, A. J. F., J. S. Smith, and G. S. Mollison. 1977. Prediction of the energy requirements for growth in beef cattle. 3. Body weight and heat production in Hereford x Friesian bulls and steers. *Anim. Prod.* 24:237-244.
- Wheeler, T. L., and M. Koohmaraie. 1994. Prerigor and postrigor changes in tenderness of ovine *Longissimus* muscle. *J. Anim. Sci.* 72:1232-1238.



## APPENDIX TABLES

*Appendix Table 1. Beef carcass classification descriptors used by CORFOGA to classify carcasses.*







ITEM	VALUE	DESCRIPTION
DENTITION	0	No permanent incisors.
	2	First and second permanent incisors.
	4	Third and fourth permanent incisors.
	6	Five and six permanent incisors.
	8	Seven and eight permanent incisors.
MUSCLE	1	Slightly convex round profile, wide round and clod.
	2	Linear profile, ribs are slightly visible.
	3	Concave round, round and clod narrow and ribs are visible.
	4	Ultra-concave profiles, ribs easily visible, narrow carcasses.
FAT COVER	1	$\leq 0.5$ cm fat thickness over the loin.
	2	$0.5 \leq 2$ cm fat thickness over the loin.
	3	$>2$ cm fat thickness over the loin.
FAT COLOR	1	White to slightly pink
	2	Light yellow
	3	Extremely yellow









<sup>1</sup>CORFOGA, 2002.








**Appendix Table 2. Subprimals list with Spanish (Costa Rican) name and muscles.**

SUBPRIMAL CUT	SPANISH NAME	MUSCLES
Tenderloin	Lomito	<i>Psoas major</i> and <i>Psoas minor</i>
Strip loin	Lomo ancho	<i>Longissimus lumbarum</i>
Ribeye	Cola de lomo	<i>Longissimus thoracis</i>
Knuckle (Tip)	Bolita	<i>Vastus lateralis</i> , <i>Vastus medialis</i> , <i>Vastus intermedius</i> , and <i>Rectus femoris</i>
Top sirloin butt, center-cut	Vuelta de lomo	<i>Gluteus medius</i>
Top (Inside) round	Posta de cuarto	<i>Adductor</i> , <i>Gracilus</i> , <i>Pectineus</i> <i>Sratorious</i> , and <i>Semimenbranosus</i>
Bottom (Outside) round	Solomo	<i>Biceps femoris</i>
Sirloin cap	Punta de solomo	<i>Biceps femoris</i>
Tri tip	Cacho de vuelta de lomo	<i>Tensor fasciae latae</i>
Eye of round	Mano de piedra	<i>Semitendinosus</i>
Ribeye cap	Lomo de aguja	<i>Spinalis dorsii</i>
Clod	Posta de paleta	<i>Triceps brachii</i>
Top blade	Lomo de paleta	<i>Infraespinatus</i>
Chuck tender	Cacho de paleta	<i>Supraspinatus</i>
Under blade	Quititeña	<i>Serratus ventralis</i>
Flank	Cecina	<i>Rectus abdominus</i>
Back rib, rib fingers	Costilla	<i>Intercostal</i>
Brisket, flat	Pecho	<i>Deep pectoral</i>
Hump	Giba	<i>Rhomboideus</i>
Outside skirt	Arrachera	<i>Diaphragm</i>
Inside skirt	Lomo de entraña	<i>Traversus abdominis</i>
Shank	Ossobuco	

**Appendix Table 3. Boneless subprimal cuts, pictures and descriptions.**

CUT	PICTURE	DESCRIPTION
Tenderloin		<p>Consists of the psoas major and minor muscles. The principal membranosus tissue over the main body of the tenderloin remains intact.</p>
Strip loin		<p>Consists of the Longissimus lumborum, gluteus medius on the sirloin end and a rib mark on the rib end.</p>
Ribeye		<p>Consists of the Longissimus muscle only from the 12<sup>th</sup> rib to the anterior end of the Longissimus.</p>
Knuckle (Tip)		<p>Consists of the full knuckle comprised of the <i>Vastus lateralis</i>, <i>Vastus medialis</i>, <i>Vastus intermedius</i> and <i>Rectus femoris</i>.</p>
Top sirloin butt, center-cut		<p>Consists of the <i>Gluteus medius</i> anterior the pelvic bone and excludes the anterior <i>Gluteus medius</i> in the Strip loin.</p>
Inside (Top) round		<p>Consists of the <i>Semimembranosus</i>, <i>Sartorius</i>, <i>Adductor</i>, <i>Gracilis</i> and <i>Pectinius</i>.</p>

<p>Outside (Bottom) round</p>		<p>Consists of the entire <i>Biceps femoris</i> excluding the <i>Biceps femoris</i> of the sirloin cap.</p>
<p>Sirloin cap</p>		<p>Consists of the <i>Biceps femoris</i> muscle above the <i>Gluteus medius</i> of the sirloin.</p>
<p>Tri tip</p>		<p>Consists of the <i>Tensor fasciae latae</i> muscle from the bottom sirloin butt.</p>
<p>Eye of round</p>		<p>Consists of the <i>semitendinosus</i> muscle removed at the natural seams.</p>
<p>Ribeye cap</p>		<p>Consists of the <i>spinalis dorsi</i> muscle from the ribeye roll.</p>
<p>Clod</p>		<p>Consists of the muscle system of the thick end of the clod (<i>Triceps brachii</i>).</p>
<p>Top blade</p>		<p>Consists of the <i>infraespinatus</i> muscle lying ventral the medial ridge of the scapula.</p>
<p>Chuck tender (Mock tender)</p>		<p>Consists of the <i>supraespinatus</i> muscle that lies dorsal to the medial ridge of the scapula.</p>

Under blade		Consists of <i>serratis ventralis</i> muscle adjacent to the scapula
Flank		Consists of the <i>rectus abdominis</i> muscle from the flank region of the carcass.
Back rib, rib fingers		Consists of the <i>intercostal</i> muscles of thoracic vertebrae.
Brisket, flat		Consists of the <i>deep pectoral</i> muscle from the brisket.
Hump		Consists of the <i>rhomboideus</i> muscle.
Outside skirt		Consists of the <i>diaphragm</i> from the plate.
Hind shank		Consists of shank muscles surrounding tibia bone.



*Appendix Table 4. Sensory attributes and descriptors used for sensory panel evaluation.*

Score	Myofibrillar Tenderness	Juiciness	Beef Flavor Intensity	Connective Tissue Amount	Overall Tenderness	Off Flavor Intensity
1	Extremely tough	Extremely dry	Extremely bland	Abundant	Extremely tough	Abundant
2	Very tough	Very tough	Very bland	Moderately abundant	Very tough	Moderate ly abundant
3	Moderately tough	Moderately dry	Moderatel y bland	Slightly abundant	Moderately tough	Slightly abundant
4	Slightly tough	Slightly dry	Slightly bland	Moderate	Slightly tough	Moderate
5	Slightly tender	Slightly juicy	Slightly intense	Slight	Slightly tender	Slight
6	Moderately tender	Moderately juicy	Moderatel y intense	Traces	Moderately tender	Traces
7	Very tender	Very juicy	Very intense	Practically none	Very tender	Practicall y none
8	Extremely tender	Extremely juicy	Extremely intense	None	Extremely tender	None

**Appendix Table 5. Interaction means for vacuum package purge, cooking loss, total moisture loss, and Warner-Bratzler shear force (WBSF) of Longissimus lumborum (LL), Psoas major (PM), Gluteus medius (GM) and Semitendinosus (ST) aged for 2, 7, 14, and 28 d from bulls and steers castrated at different ages.**

Days of Aging	Age of castration												Intact Bull				SE
	3 mo				7 mo				12 mo								
	2 d	7d	14 d	28 d	2 d	7 d	14 d	28 d	2 d	7d	14 d	28 d	2 d	7 d	14 d	28 d	
<b>Subprimal Steak and Trait</b>																	
<b>LL</b>																	
Package purge, %	1.2	3.3	4.0	7.4	1.2	2.8	4.9	6.0	2.8	3.6	5.0	7.8	1.1	2.7	3.8	6.7	0.87
Cooking loss, %	27.7	26.1	27.6	24.9	27.8	26.9	29.4	27.0	27.1	26.3	29.0	26.4	27.5	27.0	30.4	28.4	1.29
Total moisture loss, %	28.8	29.6	30.8	29.4	28.6	30.2	31.2	29.4	28.4	28.7	33.8	31.3	28.7	29.5	32.7	30.5	1.88
WBSF, kg	10.1	9.3	8.7	6.4	10.8	9.7	10.0	6.8	9.5	9.2	9.4	8.2	10.5	10.1	10.5	9.0	1.03
<b>PM</b>																	
Package purge, %	2.2	2.9	4.0	9.1	2.0	3.3	3.7	7.2	2.4	4.1	4.2	9.7	1.6	3.5	4.6	7.9	0.94
Cooking loss, %	33.0	32.3	32.3	29.8	35.0	31.5	32.9	31.3	32.2	33.6	32.7	28.9	33.3	32.4	33.6	32.3	1.25
Total moisture loss, %	39.2	35.5	35.1	34.5	33.7	34.0	34.1	33.1	35.3	36.3	35.8	34.8	34.2	36.9	37.1	35.0	1.86
WBSF, kg	4.4	4.0	4.0	3.6	4.5	3.8	3.8	3.6	4.1	3.8	3.5	3.5	4.4	3.7	4.0	3.6	0.19
<b>GM</b>																	
Package purge, %	2.4	3.1	4.6	6.3	1.8	3.6	3.3	6.9	2.7	4.2	4.9	6.7	2.3	3.2	4.9	5.6	0.82
Cooking loss, %	35.1	34.3	34.0	31.8	36.3	34.7	33.6	31.8	35.2	36.1	32.9	31.6	35.6	36.6	34.7	32.3	1.51
Total moisture loss, %	37.5	37.6	38.5	36.6	36.5	34.0	33.3	35.1	39.7	37.1	36.1	35.4	36.5	37.1	37.4	36.6	1.79
WBSF, kg	7.9	6.7	5.8	5.5	8.3	6.8	6.1	5.4	8.4	6.9	6.5	6.1	8.8	7.1	7.3	6.1	0.62
<b>ST</b>																	
Package purge, %	0.9	2.9	6.4	6.6	0.8	2.2	4.0	5.5	1.1	1.8	4.0	5.8	0.7	2.7	3.1	4.9	1.19
Cooking loss, %	29.2	32.5	32.5	32.9	30.5	34.2	35.4	32.9	31.1	33.0	35.1	32.3	30.7	34.4	34.5	32.0	1.23
Total moisture loss, %	33.0	36.7	41.6	36.6	33.1	34.5	37.8	37.8	32.6	34.3	37.5	37.3	35.4	36.1	38.7	39.3	3.57
WBSF, kg	6.4	6.1	6.1	5.9	6.5	6.2	6.6	5.9	6.8	5.9	6.3	6.3	6.6	6.2	5.9	5.8	0.21

**Appendix Table 6. P-values for linear, quadratic and selected contrasts for bulls and steers castrated at 3, 7, and 12 mo of age<sup>a</sup>.**

Trait	Linear	Quadratic	Steers vs Bulls	Early Steers vs Bulls <sup>b</sup>
KPH, kg	0.0138	0.0134	0.0027	0.0050
KPH, %	0.0115	0.0149	0.0021	0.0050
Bone and fat, kg	0.0067	0.2384	0.0058	0.0024
Bone and fat, %	0.0088	0.1773	0.0101	0.0050
Centre cut top sirloin, %	0.0114	0.4353	0.0199	0.0107
Top inside round, %	0.0455	0.1044	0.0052	0.0279

<sup>a</sup>P-values for linear and quadratic contrasts: 3 mo, 7 mo, 12 mo and bulls.

<sup>b</sup>Early steers = steers castrated at 3 and 7 mo.

**Appendix Table 7. P-values for linear and quadratic contrasts for traits aged for 2, 7, 14 and 28 d.**

Trait	Linear	Quadratic
<i>Longissimus lumborum</i>		
Package purge, %	<0.0001	0.1117
Cooking loss, %	0.9796	0.2355
Total moisture loss, %	0.0563	0.0940
<i>Psoas major</i>		
Package purge, %	<0.0001	<0.0001
Cooking loss, %	0.0024	0.2415
WBSF, kg	<0.0001	0.0494
<i>Gluteus medius</i>		
Package purge, %	<0.0001	0.2500
Cooking loss, %	<0.0001	0.0931
WBSF, kg	<0.0001	0.0092
<i>Semitendinosus</i>		
Package purge, %	<0.0001	0.8248
Cooking loss, %	0.0025	<0.0001
Total moisture loss, %	0.0003	0.1222
WBSF, kg	<0.0001	0.1455



**Appendix Table 8. P-values for linear, quadratic and selected contrasts for LL steaks from bulls and steers castrated at 3, 7, and 12 mo of age<sup>a</sup>.**

Days of aging	Linear	Quadratic	Steers vs Bulls	Early Steers vs Bulls <sup>b</sup>
2d	0.9688	0.7645	0.5288	0.9312
7d	0.4103	0.5781	0.2285	0.3556
14d	0.0397	0.8709	0.0632	0.0619
28d	0.0002	0.6977	0.0022	0.0005

<sup>a</sup>P-values for linear and quadratic contrasts: 3 mo, 7 mo, 12 mo and bulls.

<sup>b</sup>Early steers = steers castrated at 3 and 7 mo.

**Appendix Table 9. P-values for linear and quadratic contrasts of LL steaks aged for 2, 7, 14 and 28 d.**

Castration	Linear	Quadratic
3 mo	<0.0001	0.2026
7 mo	<0.0001	0.0561
12 mo	0.0491	0.2101
Bull	0.0771	0.2589

## 5. Alcances de la investigación

Este trabajo hace un significativo aporte a la ganadería nacional y es quizás el único en su género a nivel centroamericano, por el nivel de detalle, profundidad y solides metodológica.

El estudio vuelve a traer a discusión el tema de la castración de bovinos, esta vez con un énfasis diferente a otros abordajes en el pasado. En esta ocasión se presenta evidencia científica de los efectos de la castración y edades a las que se efectua esta práctica sobre una de las características de calidad de la carne, la suavidad específicamente.

Por otra parte, se presenta información científica de gran utilidad para ganaderos, industriales, carniceros, procesadores y expendedores de carne bovina sobre los efectos de la edad de maduración sobre la suavidad.

Los resultados de terneza o suavidad, medida mediante el parámetro "*Warner Bratzler shear force*" o fuerza de corte, se complementa con información obtenida en pánels sensoriales.

Los hallazgos y conclusiones obtenidos en este trabajo, constituyen un aporte para mejorar la competitividad de la actividad ganadera en el país, para ofrecer un producto de mejor calidad al mercado nacional y para cambiar algunas prácticas de manejo a nivel de finca al igual que en el manejo de la carne *postmortem*.

De igual forma, la amplia revisión de literatura, aporta información adicional sobre diferentes aspectos teóricos y prácticos que afectan la calidad de la carne. Este informe puede ser una importante referencia para investigadores, estudiantes, productores e industriales interesados en el tema de calidad de la carne bovina.