



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA.
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA
PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

Caracterización fisicoquímica de músculos del cuarto
delantero en tres grupos genéticos diferentes (*Bos indicus*,
Bos taurus y Cruzas comerciales) de bovinos mexicanos.

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS

P R E S E N T A:

ADRIÁN CHÁVEZ GÓMEZ

TUTORES:

MARÍA DE LA SALUD RUBIO LOZANO

ANDRÉS DUCOING WATTY

PEDRO GARCÉS YÉPEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

*A mi Madre, porque el mejor de mis esfuerzos no basta para ser el mejor hijo que mereces,
gracias.*

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la valiosa colaboración de las siguientes personas e instituciones y formaron parte importante de todo el proceso para concluir este proyecto:

Programa de Becas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT). Por brindarme el apoyo económico para alcanzar esta meta.

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Por abrirme de nuevo sus puertas.

Comité tutorial: Dra. María Salud Rubio Lozano, Dr. Andrés Ducoing Watty y Dr. Pedro Garcés Yépez, por su constante apoyo, guía y sus acertados consejos.

H. Jurado: Dr. José Manuel Berruecos Villalobos, Dra. Ofelia Mora Izaguirre, Dr. José Armando Partida, Dr. Nelson Huerta Leidenz, por su crítica constructiva.

Rastro Municipal de Querétaro, TIF 412, en especial al Ing. Fernando Ortega Pacheco, MVZ Héctor Ortiz Gudiño y MVZ José Luis Rangel Medina. Frigorífico de la Cuenca del Papaloapan, U.S.P.R. de R.L., TIF 101, en especial al Ing. Fernando Morteo Báez del Rancho Dos Matas, en especial al MVZ Fernando Alejandro Bojorquez. Chamar Alimentos, S.A. de C.V., TIF 356, en especial al Sr. Américo Chapa, MVZ José Ángel Gómez Guerra, MVZ Gabriel Espinosa Meza. A todo el personal de Comercializadora e Industrializadora Agropecuaria S.A. de C.V., TIF 353. A todos ellos, un sincero agradecimiento por habernos recibido con su hospitalidad, cordialidad, disponibilidad y entusiasmo.

Personal del Laboratorio de Bromatología del Departamento de Nutrición FMVZ-UNAM, en especial al MC Ángeles Campos, QA. Águeda García Pérez, Sra. Fermina Palma Atilxqueño, por abrirnos sus puertas y compartir sus conocimientos.

Mi familia y amigos por contar con su respaldo e impulsarme a ser mejor persona.

A todas las personas que de alguna manera, directa o indirectamente, contribuyeron para que este trabajo se haya concluido, mi más sincero agradecimiento.

RESUMEN

En México, la diversidad de sistemas de producción a lo largo del territorio lleva a una utilización diversa en grupos genéticos, *Bos taurus* (Bt), *Bos indicus* (Bi) y cruza comerciales (CC) provenientes de mezclas de ambos grupos. El objetivo de esta investigación fue conocer las características físico-químicas de músculos del cuarto delantero del bovino y relacionarlas con su origen genético. Se utilizaron 30 bovinos, 10 de cada procedencia genética, todos machos enteros de 18 a 24 meses. Por razones comerciales, los grupos Bt y Bi recibieron estimulación eléctrica, por lo que en la evaluación estadística de los resultados de fuerza de corte el grupo CC se analizó separadamente. Los músculos bajo estudio fueron: bíceps braquial, braquial, complejo, esplenio, infraespinoso, redondo mayor, romboides, subescapular, supraespinoso, tríceps braquial cabeza larga, tríceps braquial cabeza lateral. Se evaluó la fuerza de corte, pérdida por cocinado, porcentaje de humedad y de grasa en cada uno de los músculos. Los resultados mostraron que los músculos de Bi son menos suaves que los de Bt. El Infraespinoso es el más suave ($P < 0.05$) de todos los músculos, tanto en Bt como Bi ($3,39 \pm 0.15$ y $4,20 \pm 0.13$ kg, respectivamente). Dentro del grupo de CC, el infraespinoso resultó ser también el más suave. Por otro lado, el romboides de los animales Bt es más duro que el de los Bi ($P < 0.05$), 5.92 ± 0.17 kg vs 5.05 ± 0.13 kg, respectivamente. Este resultado puede explicarse debido al porcentaje de grasa tan elevado que el romboides de Bi (8.18%) tiene en relación al del Bt, lo cual pudo haber disminuido la fuerza de corte de manera significativa. El infraespinoso y romboides al sobresalir por su suavidad y porcentaje de grasa intramuscular respectivamente pueden ser considerados en un futuro como productos de valor agregado. El estudio de los músculos del cuarto delantero en animales *Bos taurus* ha mostrado que varios de ellos cuentan con calidad suprema y por lo tanto se ha considerado que hoy en día están depreciados.

ABSTRACT

Mexico has a great variety of production systems which leads to the use of different genetic groups, *Bos taurus* (Bt), *Bos indicus* (Bi) and commercial cross (CC). The objective of this research was to determine compositional and quality characteristics of muscles of the forequarter of beef carcasses and relate them to their genetic origin. Thirty animals were used, 10 from each genetic origin, all intact male 18 to 24 months. For commercial reasons, Bt and Bi groups received electrical stimulation, so in the statistical evaluation of the results of shear force the CC group was analyzed separately. The muscles under study were: biceps brachii, brachialis, complexus, splenius, infraspinatus, teres major, rhomboids, subscapularis, supraspinatus, triceps brachii long head, triceps lateral head. It was evaluated the shear force, cooking loss, moisture and fat percentage of each muscle. The results showed that Bi muscles are less tender than those of Bt. Infraspinatus was the most tender ($P < 0.05$) of all muscles in both Bt and Bi (3.39 ± 0.15 and 4.20 ± 0.13 kg, respectively). Within the group of CC, infraspinatus also proved to be the most tender. Moreover, rhomboids muscle from Bt was harder than that of the Bi ones ($P < 0.05$), 5.92 ± 0.17 kg vs 5.05 ± 0.13 kg, respectively. This result can be explained by the high percentage of fat that the rhomboids of Bi had (8.18%) in relation to the Bt, which may have reduced the shear force significantly. The infraspinatus and rhomboids were found to be the most tender and with the highest fat content, respectively, therefore they can be considered in the future as value-added products. The study of the forequarter muscles in *Bos taurus* animals has shown that several of them have supreme quality and are therefore considered as underpriced.

LISTA DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Precios de cortes de bovino. Pesos/kilo.....	7
Cuadro 2. Precios de Bovinos: Cortes emparadoras y distribuidoras. Registros a octubre de 2009.....	7
Cuadro 3. Precios al consumidor de diferentes cortes de res en las principales ciudades del país. Registros a octubre de 2009.....	8
Cuadro 4. Medias y error estándar de Fuerza de corte Warner Bratzler (WB), porcentaje de humedad y grasa de los tres grupos genéticos: <i>Bos indicus</i> , <i>Bos taurus</i> y Cruza comercial.....	44
Cuadro 5. Medias y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo bíceps braquial.....	48
Cuadro 6. Medias y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo braquial.....	49
Cuadro 7. Medias y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo complejo.....	51
Cuadro 8. Medias de mínimos cuadrados y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo esplenio.....	52
Cuadro 9. Medias y error estándar para la Fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo infraespinoso.....	53
Cuadro 10. Medias y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo redondo mayor.....	54
Cuadro 11. Medias de mínimos cuadrados y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo romboides.....	56
Cuadro 12. Medias y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo subescapular.....	57
Cuadro 13. Medias y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo supraespinoso.....	58
Cuadro 14. Medias y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo tríceps braquial cabeza larga.....	58
Cuadro 15. Medias de mínimos cuadrados y error estándar para la Fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo tríceps braquial cabeza lateral.....	59

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Medias de fuerza de corte en 11 músculos del cuarto delantero del bovino (<i>Bos indicus</i> y <i>Bos taurus</i>).....	40
Figura 2. Medias de pérdidas por cocinado de músculos en general.....	41
Figura 3. Medias de porcentaje de humedad de músculos en general.....	42
Figura 4. Medias de mínimos cuadrados de porcentaje de grasa en músculos en general.....	43
Figura 5. Medias de fuerza de corte de Cruza Comercial.....	45

ÍNDICE

	Página
INTRODUCCIÓN	1
1. REVISIÓN BIBILOGRÁFICA	4
1.1 Antecedentes	4
1.2. Marco económico de músculos del cuarto delantero del bovino en México	6
1.3. Ganadería bovina de carne en México	8
1.3.1. Zonas ganaderas de México.....	8
1.3.1.1 Región Árida y Semiárida.....	9
1.3.1.2. Región Templada.....	10
1.3.1.3. Región Tropical Seca.....	11
1.3.1.4. Región Tropical Húmeda.....	11
1.3.2. Sistemas de producción de carne en México.....	13
1.3.3.1. Sistema de venta de becerros al destete.....	13
1.3.3.2. Sistema de ciclo completo (cría y engorda de ganado).....	13
1.3.3.3. Sistema de finalización en corrales.....	14
1.3.3.4. Sistema de pastoreo rotacional intensivo.....	15
1.3.3. Razas de ganado bovino en México.....	16
1.4. Músculos del cuarto delantero del bovino	19
1.4.1. Bíceps braquial (<i>biceps brachii</i>).....	19
1.4.2. Braquial (<i>brachialis</i>).....	20
1.4.3. Complejo (<i>complexus</i>).....	20
1.4.4. Esplenio (<i>splenius</i>).....	21
1.4.5. Infraespinoso (<i>infraspinatus</i>).....	21
1.4.6. Redondo mayor (<i>teres major</i>).....	22
1.4.7. Romboides o Romboideo (<i>rhomboideus</i>).....	23
1.4.8. Subescapular (<i>subscapularis</i>).....	24
1.4.9. Supraespinoso (<i>supraspinatus</i>).....	24
1.4.10. Tríceps braquial (<i>triceps brachii</i>).....	25

1.5. Calidad de carne	26
1.5.1. Factores que afectan la calidad de la carne.....	26
1.5.2. Estimulación eléctrica.....	29
1.5.3. Efectos de β -agonistas adrenérgicos sobre la suavidad de los músculos.....	29
1.5.4. Diferencias en calidad de carne entre <i>Bos indicus</i> , <i>Bos taurus</i> y Cruzas comerciales.....	31
1.5.5. Determinación de los índices de calidad.....	33
1.5.5.1. Composición química.....	33
1.5.5.2. Suavidad o Terneza (Fuerza de Corte Warner-Bratzler).....	33
1.5.5.3. Pérdidas por cocinado.....	34
2. HIPÓTESIS	35
3. OBJETIVO	35
2. MATERIAL Y MÉTODOS	36
4.1. Obtención de Muestras.....	36
4.2. Caracterización físico-química.....	37
4.3. Análisis Estadístico.....	38
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
5.1. Fuerza de corte, pérdida por cocinado, porcentaje de humedad y grasa intramuscular de los músculos del cuarto delantero de bovino de todos los grupos genéticos combinados	39
5.2. Fuerza de corte, pérdida por cocinado, porcentaje de humedad y grasa intramuscular de todos los músculos del cuarto delantero de bovino combinados por grupo genético	43
5.3. Fuerza de corte, pérdida por cocinado, porcentaje de humedad y grasa intramuscular de cada músculo en cada grupo genético.....	47
6. CONCLUSIONES	62
7. REFERENCIAS	63

INTRODUCCIÓN

En México, la carne de bovino es un producto que goza de gran demanda, sin embargo, no se cuenta con la información suficiente para comprender el verdadero potencial y las limitaciones con respecto a su calidad.

El consumo de carne de res en México si bien no ha mostrado un incremento en los últimos años, si se ha mantenido estable (SE, 2008), ubicando a este tipo de carne en el segundo lugar de consumo (17.1 kg *per capita*), justo detrás de la carne de ave (26.2 kg *per capita*). Según el Consejo Mexicano de la Carne (2008), el gasto destinado al consumo de carnes en los hogares mexicanos es del 25.8% y de este, la carne de res ocupa el mayor porcentaje del gasto con el 52%. Esto explica que si bien la carne de ave es más accesible económicamente, el gusto por el consumo de la carne de res sigue siendo importante entre los mexicanos.

Tradicionalmente, la carne de res se ha comercializado en México en distintas presentaciones, por ejemplo: fileteada, para asar, para cocer y carne molida. Generalmente, cada corte tiene un valor diferente, los cortes que poseen un valor económico más elevado provienen del área del lomo y de la pierna, siendo los músculos del cuarto delantero los de menor precio; dicha parte de la canal posee varios músculos, los cuales se cree que están subvalorados, esto es, que las características que le confieren calidad son semejantes o mejores que algunos músculos del cuarto trasero y el lomo y sin embargo su precio es comparativamente mas bajo.

Von Seggern *et al.* (2005) mencionan que la investigación sobre caracterización de músculos pueden permitir renovar el interés en las oportunidades de mejorar el valor de cortes de res subutilizados; si bien el aumento en el valor de la carne no es totalmente adjudicado a la investigación, sí se puede otorgar cierto crédito a ella. El caso más destacado del aumento en el valor de músculos del cuarto delantero puede ser el músculo infraespinoso, el cual posee una suavidad sobresaliente y que ha podido ser comercializado como músculo individual, llamado comercialmente en EUA como “flat iron” (Von Seggern

et al., 2005), y cuyo costo en plato en restaurantes de este país puede llegar a ser comparativo con el Ribeye o New York. McKeith *et al.* (1985) publicaron resultados acerca de la suavidad del infraespinoso, este tipo de estudios llevo a tener más conocimiento sobre este músculo, lo cual llevo a un éxito comercial. En 2006, más de 92 millones de libras de flat iron se vendieron en los EE.UU. indicando que hay un gran interés en saber qué músculos producen cortes tiernos. Otro músculo del cuarto delantero con potencial para ser comercializado individualmente es el redondo mayor o *teres major*, conocido como “petit tender”, de igual manera, el tríceps braquial también participa en el mercado de cortes de carne de res con el nombre de “ranch cut”. Durante el 2004 y 2005, estos músculos fueron promovidos por la industria cárnica de Estados Unidos como nuevos cortes de alto valor en cadenas hoteleras.

La necesidad de generar nuevos cortes como los que han descrito anteriormente, puede ser un indicador del grado de competencia del mercado de la carne res, por lo cual los productores y las empresas han creado nuevas formas de comercializar su producto, mostrando una clara tendencia de ofrecer productos con valor agregado. Para conocer el potencial que tiene un producto para ofrecerlo en el mercado, se debe contar con la información suficiente sobre sus características de calidad, de esta manera se puede diferenciar de otros productos. La investigación orientada a conocer dicha calidad puede contribuir significativamente a identificar productos que puedan ser susceptibles de otorgarles un valor agregado.

Por otro lado, en estudios anteriores se ha descrito la carne mexicana que se expende en el mercado formal del país (Delgado *et al.*, 2005 y Rubio *et al.*, 2008) y las canales que se sacrifican en los rastros de México (Méndez *et al.*, 2009). Aunque el ganado *Bos taurus* tiene una presencia importante en nuestro país, estos estudios mencionan que alrededor del 90% de los animales que se sacrifican en México tienen un componente genético importante de *Bos indicus*. Sin embargo, ninguno de estos estudios ha considerado los músculos del cuarto delantero y tampoco se ha investigado las diferencias de calidad entre las

genéticas encontradas en México. Por tal motivo, es indispensable conocer la calidad de la carne que se oferta en los distintos tipos de mercados del país con el fin de obtener un panorama más amplio de su calidad y en este caso en particular, conocer las bases del posible potencial con el que pueda contar la carne mexicana para promover la creación de nuevos productos.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 Antecedentes

En los últimos años algunos autores como Von Seggern *et al.* (2005) y Hildrum *et al.* (2009) han realizado estudios sobre la calidad de músculos individuales, con el objetivo de conocer las características de calidad de cada uno de ellos, las cuales se emplean con un enfoque comercial para tratar de reconocer músculos que estén depreciados y de esta manera poder ofrecer información para la promoción de productos con valor agregado.

En un estudio realizado en conjunto por las Universidades de Florida y Nebraska, se obtuvieron resultados que indican que el valor comercial de músculos del cuarto delantero, tiene la posibilidad de incrementarse. El estudio tenía como objetivo caracterizar 37 músculos de los cuartos delantero y trasero de la canal del bovino con relación al tamaño, forma, sabor y composición. Un gran número de estos músculos, al retirarlos por separado y cortarlos a través de las vetas, fueron aceptables en los resultados del panel sensorial. Se llegó a la conclusión de que hay numerosos músculos que podrían mejorar su valor de corte en filetes en lugar de venderlos como asados o carne molida (Bratcher *et al.*, 2005)

Von Seggern y colaboradores (2005), mencionan que en un estudio realizado con 39 músculos del cuarto delantero y de la pierna, se encontraron músculos (dentro de rangos de diferente suavidad) que obtuvieron valores que los colocaban dentro de músculos suaves, sugiriendo que existen músculos subutilizados y que su caracterización puede contribuir a proporcionarles un valor agregado. Esto podría contribuir a aumentar el valor de la canal; de acuerdo con Von Seggern y colaboradores (2005), en los Estados Unidos, el cuarto delantero ha aumentado su valor, aproximadamente de 50 a 70 dólares por canal. Otros autores (Hildrum *et al.*, 2009) hallaron que músculos del cuarto delantero fueron más suaves que músculos del cuarto trasero, como el infraespinoso y tríceps braquial, los cuales han revelado un alto potencial para ser productos con valor

agregado. Así mismo, Molina *et al.* (2005) mencionan que a través de una mejor comprensión de los músculos de regiones del cuarto delantero, se podría estar en condiciones de utilizar cada uno de ellos más apropiadamente y tal vez aumentar el valor del cuarto delantero.

Se han documentado características de palatabilidad de músculos grandes del cuarto delantero con el uso de paneles sensoriales entrenados y mediciones objetivas sobre suavidad. Estos estudios demostraron que algunos de los músculos más grandes del cuarto delantero son adecuados para su uso filetados y no como corte para asado. En una evaluación sobre la preferencia del consumidor, Kukowski y colaboradores (2004) describen que los músculos infraespinoso, tríceps braquial, supraespinoso y serrato ventral, fueron catalogados por los consumidores como aceptables en presentación de filetes. Por otro lado, Kukowski *et al.* (2005) señalan que los músculos tríceps braquial e infraespinoso fueron aceptados por los consumidores como filetes, sin embargo, estarían dispuestos a pagar solamente a un precio menor que por el lomo.

Belew *et al.* (2003) llevaron a cabo un estudio en donde se realizó la prueba de fuerza de corte de Warner–Bratzler (WB) a varios músculos, clasificándolos de acuerdo con su suavidad como muy suaves (WB <3.2 kg), suaves (3.2 kg <WB <3.9 kg), intermedios (3.9 kg < WB <4.6 kg) y duros (WB > 4.6 kg); en la primera categoría se encontraba el bíceps braquial e infraespinoso, este último es señalado por Calkins y Sullivan (2007) como el músculo más suave de la canal después del *psoas major* (conocido en México como “filete”); por otro lado, se hallaron músculos suaves como el complejo, esplenio, redondo mayor, romboides, subescapular y tríceps braquial; el supraespinoso se clasificó como intermedio y el braquial como duro. Otros autores como Torrescano *et al.* (2003), informan que encontraron valores de fuerza de corte (WB) del músculo infraespinoso, menores que el cuádriceps femoral y semitendinoso. En otro estudio (Rhee *et al.*, 2004) el infraespinoso resultó con valores menores en la prueba de WB y mayores en el análisis de suavidad por el panel sensorial que el

lomo, recto femoral y glúteo medio, así mismo, el tríceps braquial fue superior que los dos últimos en suavidad.

Algunos músculos del cuarto anterior han mostrado mayor suavidad comparados con los músculos de la pierna (Stolowski *et al.*, 2006; Simões *et al.*, 2005). También se reporta que el tríceps braquial puede ser tan suave como el cuadriceps femoral y en jugosidad puede compararse con el lomo (Nelson *et al.*, 2004).

Todos los estudios mencionados arriba, fueron llevados a cabo con animales *Bos taurus* o cruza de estos, mientras que ningún reporte fue hallado para los músculos de *Bos indicus* ni cruza comerciales. Además, no se han reportado estudios sobre calidad de carne con cruza comerciales como las que se producen en México.

1.2. Marco económico de músculos del cuarto delantero del bovino en México

Entre los cortes de carne de bovino que gozan de mayor demanda en el mercado, están los de la región del lomo y de la pierna, quedando en cierta desventaja comercial los que son generados del cuarto delantero (AMEG, 2008; SNIIM, 2009). Según fuentes oficiales (SNIIM), el precio del cuarto delantero en el 2007 se encontraba alrededor de \$29.00/kg, mientras que el cuarto trasero estaba cotizado en \$37.00/kg; actualmente el precio de estas piezas de la canal han subido, ubicándose en \$32/kg para el cuarto delantero y en \$40.00/kg para el cuarto trasero; en estos números se observa que la diferencia de precios es aproximadamente del 25%.

En los Cuadros 1 y 2, se muestran los rangos de precios de las diferentes piezas que se derivan de la canal; en dichos cuadros se puede observar que las piezas con menor valor comercial son las que provienen del cuarto delantero. De acuerdo con la información proporcionada el SIAP (2008), los precios para los diferentes cortes de carne de bovinos, varía dependiendo de las ciudades donde se comercialice cada producto. En el cuadro 3 se observan los precios de

diferentes cortes que se ofrecen al consumidor final en la tres principales ciudades del país. Según cifras la PROFECO (2009), el bistec de piezas del cuarto delantero como lo es el de espaldilla y del 7, alcanzan un precio máximo \$87.00/kg, mientras que cortes del cuarto trasero como la chuleta llega a costar casi \$100.00/kg y el filete llega a hasta \$300.00/kg en el caso del D.F.; cabe señalar que el filete lo conforma el músculo *posas*, el cual es considerado el más suave de la canal, sin embargo, Calkins y Sullivan (2007) mencionan que el infraespinoso es el segundo más suave, por lo cual se ha aprovechado esta cualidad para comercializarlo con un valor económico más alto. Por lo anterior, es probable que varios músculos del cuarto delantero se encuentren actualmente depreciados.

Cuadro 1. Precios de cortes de bovino. Pesos/kilo.

Corte	Precio	Fecha
Rib / Chuleton	48.00	
Round / Pierna	31.55	
Brisket / Pecho	21.60	
Flank / Falda	19.70	2008-01-07
Chuck / Espaldilla	26.78	
Loin / Lomo	45.32	
Plate / Aguja	21.66	

Fuente: AMEG, A.C. (2008)

Cuadro 2. Precios de Bovinos: Cortes empacadoras y distribuidoras. Registros a octubre de 2009. Pesos/kilo.

Origen	Corte	Precio
Carnes selectas Nuevo León	Arrachera	88.00
	Costillar	34.50
	Chuletón	65.00
	Paleta o espaldilla	48.50
	Pecho	32.50
	Pescuezo o Cuello	36.00
	Pulpa Blanca	48.50
	Pulpa Bola	64.00
	Pulpa Negra	65.00
	Sirloin o Aguayón	53.00

Fuente: Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM, 2009)

Cuadro 3. Precios al consumidor de diferentes cortes de res en las principales ciudades del país. Registros a octubre de 2009. Pesos/kilo.

Corte	DF		Guadalajara		Monterrey	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Bistec de diezmillo	63.00	78.90	59.90	93.90	55.00	85.90
Bistec de espaldilla	59.00	78.00	57.50	87.00	----	---
Bistec del 7	70.90	75.50	60.90	73.00	56.90	75.00
Carne molida	39.90	70.00	39.90	62.20	24.00	54.65
Chuleta	67.00	99.90	72.00	99.90	72.25	99.90
Falda	56.50	92.50	58.00	79.90	65.00	91.90
Filete	80.00	300.00	94.90	199.90	165.00	199.90

Fuente: PROFECO (2009).

La información que se presenta en estos cuadros revela que hay diferencias en cuanto al costo de la carne proveniente de los diferentes cuartos de la canal, así mismo como de la región del país donde se venda esa carne. Según la región donde son finalizados los animales, llega a ser diferente el sistema de producción así como las razas que se eligen para dichos sistemas, esto puede conllevar a producir carne con distinta calidad, y por ende, de precio.

1.3 Ganadería bovina de carne en México

1.3.1. Zonas Ganaderas de México

El inventario ganadero nacional en el 2007 fue de 31,395,916 cabezas, de las cuales, 29,091,311 (SIAP, 2009) fueron destinadas al sistema de producción de carne. La producción de carne de res en México durante el 2007 arrojó un total de 1,635,040 toneladas (SIAP, 2009), dicha cantidad provino de animales producidos en distintas regiones del país, las cuales poseen ciertas características que las distinguen entre sí, y dan pauta al sistema de producción predominante en cada una de ellas.

Las zonas ganaderas de México se generan principalmente de la ecología de los lugares, ya que el país posee una gran diversidad de suelos, topografías y climas, extendiéndose desde las zonas áridas y semiáridas del norte, hasta las regiones tropicales del Golfo y la Península de Yucatán. De acuerdo con Suárez y

López (1996) por las características climáticas y la relación suelo-planta-animal, la geografía mexicana ha sido dividida en las regiones árida y semiárida, templada, tropical seca y tropical húmeda. Los diferentes sistemas de producción en cada una de ellas se realizan de acuerdo con las condiciones ecológicas, así como con las características peculiares de tecnología, mercados de la producción y niveles de integración (Villegas *et al.*, 2001). Por las características particulares de cada zona ganadera y el tipo de mercado que toma lugar en ellas, es posible encontrar diferencias en cuanto a calidad de carne se refiere, por lo tanto, es recomendable conocer cómo se conforman dichas regiones.

1.3.1.1. Región Árida y Semiárida

Esta región comprende los estados del norte y noroeste del país, desde la Península de Baja California hasta los estados de Tamaulipas, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas y parte de Jalisco y aporta el 27% de la producción de carne en el país (Suárez y López, 1996, Villegas *et al.*, 2001). El sistema más común es el de vaca-becerro, con la venta de las crías, al momento del destete, con fines de exportación. En las explotaciones con manejo tradicional, por cada 100 vientres en el hato sólo son obtenidos entre 55 y 65 becerros destetados con un peso entre 160 y 170 kg; en tanto que las unidades más tecnificadas destetan hasta 75 crías, por cada 100 vacas, con un peso que varía entre 180 y 200 kg. En promedio, cada vaca en el hato desteta entre 67 y 85 kg de becerro (Lara *et al.*, 1994; citado por Suárez y López, 1996).

Predominan los genotipos Angus, Charolais y Hereford, en múltiples cruzamientos con ganado cebuino, Beefmaster y Brangus. Los agostaderos se encuentran deteriorados y están constituidos principalmente por pastizales nativos. En explotaciones más tecnificadas, recientemente han sido introducidas especies forrajeras mejoradas con la finalidad de criar a los becerros que serán exportados; además, se realizan engordas intensivas (Pérez y Ordaz, 1996; citado por Suárez y López, 1996), principalmente para el abasto regional. Algunos autores (Villegas *et al.*, 2001; Sánchez *et al.*, 1999) mencionan que en estas zonas

se presentan las condiciones propicias para la engorda en corral y/o finalización de animales que se destinan al abasto nacional. La limitante principal es la dependencia de insumos de alta calidad, especialmente granos y concentrados, cuya poca disponibilidad, acceso y altos precios aumenta los costos de producción, disminuyendo su nivel competitivo y de rentabilidad. En esta región predominan las grandes empresas integradas en finalización, sacrificio en rastros propios o exclusivos por o que predominan en el mercado de las plazas más importantes.

1.3.1.2. Región Templada

Esta región está comprendida por parte de los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Oaxaca, Querétaro, Puebla y Tlaxcala. El hato consta de 7.25 millones de cabezas y contribuye con cerca de 229 mil ton de carne, lo cual representa alrededor del 17% de la producción nacional.

La explotación está orientada al sistema vaca-becerro, para el envío de crías al mercado nacional o internacional, dependiendo de su clasificación (Suárez y López, 1996). Gran parte de las explotaciones de esta región son extensivas, sustentadas en el pastoreo durante la época de lluvias, complementándose el resto del año con dietas basadas en esquilmos agrícolas; aunque se han ido estableciendo explotaciones con instalaciones tecnificadas, aun predominan las explotaciones de baja escala en esta región, inclusive de tipo familiar, que utilizan sistemas de alimentación en los que se emplean productos de baja calidad nutricional y que por consecuencia tienen un mayor período de finalización (Gallardo *et al.*, 2002). Suárez y López (1996) mencionan que las ganancias de peso promedio son de 700-800 g y los parámetros técnicos de la producción similares a los de la zona Árida y Semiárida. También se realizan engordas intensivas con granos y alimentos balanceados, en donde la genética del hato está compuesta por animales criollos cruzados con ganado cebú, sintéticas como Beefmaster y razas europeas, de las cuales sobresalen: Pardo Suizo y Angus

(Suárez y López, 1996, Gallardo *et al.*, 2002). El mercado para los productos de esta región son el consumo local y algunas entidades como Aguascalientes, Jalisco, Querétaro y el estado de México contribuyen al abasto del Distrito Federal y la zona Metropolitana (Gallardo *et al.*, 2002).

1.3.1.3. Región Tropical Seca

Esta región comprende parte de los estados de Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, el sur de Tamaulipas y la Huasteca Potosina. El pastoreo se realiza en agostaderos constituidos por gramas nativas y en praderas inducidas. Debido a que la estación de lluvias es corta, la escasez de forraje durante la sequía repercute negativamente, al igual que en las dos regiones anteriores, en los parámetros reproductivos, dando lugar a una carga animal de 12 ha/UA/año para agostaderos con vegetación nativa, de 8 ha/UA/año para pastos nativos, y 1 a 3 ha/UA/año en praderas inducidas.

El sistema vaca-becerro con ordeña estacional en la época de lluvias, constituye un sistema de doble propósito que busca una mayor liquidez para las explotaciones. La composición genética es dominada por animales cebuínos cruzados con Pardo Suizo, Simmental y Holstein, con parámetros reproductivos regulares (55-60 becerros destetados por cada 100 vacas en el hato y 180-190 kg como peso promedio al destete). Esta región contribuye con 23% de la producción nacional de carne (alrededor de 310 mil ton anualmente), con un hato que representa 20% del total nacional (Suárez y López, 1996).

1.3.1.4. Región Tropical Húmeda

Comprende los estados de Campeche, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz, Yucatán y parte de Chiapas, con una superficie aproximada a 22.8 millones de ha. El hato está constituido aproximadamente por 11 millones de cabezas, predominantemente de genotipo cebuino cruzado con Pardo Suizo, Holstein, Charolais y Simmental, aportando 33% de la producción nacional de carne. Los parámetros reproductivos son bajos, con carga media de 1 UA/ha/año, y 55-60

becerros destetados con un peso de 180-200 kg por cada 100 vacas en el hato, y 380-400 kg como peso al sacrificio. En esta región se combina de manera importante el doble propósito, con ordeño estacional y la engorda de las crías en praderas con zacates introducidos y agostaderos con gramas nativas (Suárez y López, 1996). Las características ecológicas de las zonas tropicales propician una producción abundante de forraje, sin embargo, las lluvias generan una marcada estacionalidad en la producción de carne (Villegas *et al.*, 2001); sin embargo, Gallardo *et al.* (2002) mencionan que la calidad nutricional de estos forrajes es inferior a la que se observa en zonas templadas. Por otro lado, el periodo de sequía es corto, la fase de engorda requiere de 16 a 32 meses para que el ganado alcance 400 kg de peso (Suárez y López, 1996). Sin embargo, actualmente existen empresas grandes en esta región que llevan a cabo la finalización en corral de animales criados en pastoreo. Las principales limitantes de la producción son los bajos índices de tecnificación y las prácticas zoonosanitarias no se aplican con la frecuencia requerida (Gallardo *et al.*, 2002).

Esta zona ganadera es considerada la más dinámica y de mayor expansión. Fundamentalmente la del sureste del país ha evolucionado en forma importante, ya que en ella se ubica la mayor parte del inventario nacional. En cuanto a la especialización productiva, se ha convertido en la zona natural proveedora de becerros para engorda y finalización en corrales nacionales y de carne en canal para el abasto del Distrito Federal y Área Metropolitana (Gallardo *et al.*, 2002).

Al ser la zona ganadera que aporta la mayor parte de la producción nacional, resulta imprescindible evaluar la calidad de carne que se produce ahí mismo, la cual forma parte de la dieta de un gran porcentaje de la población nacional.

Como se ha observado, las distintas regiones ecológico-ganaderas ofrecen características muy particulares de las cuales se pueden derivar diferentes tipos de mercados, en donde es muy factible hallar diferencias en calidad de carne en todo el país. En el presente estudio se incluye carne de animales provenientes de las distintas zonas ganaderas del país.

1.3.2. Sistemas de producción de carne en México

1.3.2.1. Sistema de venta de becerros al destete

Este es un sistema típico de la región árida y semiárida; se adapta a un periodo corto de alimentación que normalmente es de 90 a 120 días, lo cual permite el crecimiento del becerro. El manejo del ganado se ve favorecido por la extracción total de los becerros machos ante la escasez de forraje (Gasque y Blanco, 2001). Cuyo mercado tradicional ha sido la exportación a los Estados Unidos. Sin embargo, se requiere de grandes extensiones de terreno para el mantenimiento del ganado, debido a la baja producción de forraje por hectárea de los agostaderos, lo cual es resultado de las bajas precipitaciones y periodos muy prolongados de sequía (Sánchez *et al.*, 1999).

Características principales:

- El ganado depende exclusivamente de los forrajes que producen los pastizales naturales.
- Los coeficientes naturales de agostadero oscilan de 10 a 50 ha/U.A.
- Las inversiones de capital y mano de obra son reducidas por unidad de superficie o cabeza de ganado.
- La estacionalidad es muy marcada en partos y destete de los becerros.
- La fuente de ingresos es originada por la venta de los becerros al destete.
- Mercado fácil de becerros destetados a precios iguales o mejores que los del ganado gordo.
- El sistema es poco elástico y muy vulnerable a los trastornos económicos cuando falta el mercado de becerros al destete (Gasque y Blanco, 2001).

1.3.2.2. Sistema de ciclo completo (cría y engorda de ganado)

Este se practica tanto en el trópico húmedo como en el trópico seco y está adaptado a un periodo de 180 a 270 días de buena alimentación, la cual permite producir un novillo terminado de más de 350 kg en un año de pastoreo, con posibilidades de que las vacas conciban nuevamente.

Características distintivas:

- El ganado depende exclusivamente de los forrajes que se producen en las praderas de tipo tropical.
- Retención de crías hembras y machos por uno o dos años después del destete (rápida salida).
- Los coeficientes de agostadero oscilan de 0.5 a 1 ha/U.A. en praderas permanentes y de 2 a 3 ha en tierra de pastoreo en monte.
- Mayor inversión de capital y mano de obra por unidad de superficie o cabezas de ganado.
- Estacionalidad más flexible en la monta, partos y venta de novillos.
- Compras anuales o bianuales de novillos para engorda.
- Varían las ventas al año de novillos o vacas horras, según su estado de gordura y precio del mercado.
- Sistema más elástico y menos vulnerable a trastornos económicos (Gasque y Blanco, 2001).

1.3.2.3. Sistema de finalización en corrales

En los países industrializados la mayor parte de los animales destinados para abasto se engordan o finalizan en corrales. Dada la escasez y alto costo de los alimentos (granos, pastas oleaginosas y forrajes de corte), este sistema no es tan popular en países en desarrollo en donde el empleo de sistemas de confinamiento total, sobre todo al ser combinados con alimentación en agostaderos y/o praderas son una alternativa atractiva a sus sistemas extensivos tradicionales de explotación de ganado bovino. Según Sánchez et al. (1999) esta actividad es importante en Nuevo León, Sonora, Sinaloa y Baja California, donde están dadas las condiciones de mercado de carne de calidad, el clima seco es favorable para el manejo del ganado en confinamiento.

Características:

- Se realiza por periodos cortos de 90 a 120 días
- Se emplean esquilmos agrícolas (pajas, rastrojos), subproductos agroindustriales (pulpas, bagazos, melazas), desechos pecuarios (estiércol, gallinaza), nitrógeno no proteico (urea, sales de amonio, etc.) y granos como base de la alimentación.
- Empleo de hormonas exógenas como estimulantes del crecimiento (Gasque y Blanco, 2001).

1.3.2.4. Sistema de pastoreo rotacional intensivo

Esta actividad es importante en el trópico húmedo y en algunas partes del trópico seco, donde existen buenas condiciones de clima y disponibilidad de riego (Villegas *et al.*, 2001). Es una forma de explotación del ganado usando praderas irrigadas donde, ya sean los reproductores, o los animales para abasto, se explotan en forma tal que obtienen el alimento del potrero directamente, considerándose cantidades variables de complemento alimenticio (Gasque y Blanco, 2001).

En este sistema que en ocasiones se combina con agostadero y/o corrales, los animales se mantienen en superficies relativamente pequeñas, teniendo las siguientes características:

- Elevada densidad de pastoreo.
- Rotación frecuente.
- Gran número de divisiones empleándose cerco eléctrico.
- Prácticas agronómicas intensivas (forrajes introducidos, control de malezas, fertilización y riego).
- Prácticas adecuadas de manejo (prevención de enfermedades, control de endo y ectoparásitos).
- Complementación alimenticia dependiendo de la composición de la pradera
- Aplicación de implantes (Gasque y Blanco, 2001).

1.3.3. Razas de ganado bovino en México

El concepto raza se define como aquel grupo de animales con características comunes que se transmiten sin variación de una generación a otra. Las razas de ganado bovino se clasifican en dos grupos:

1. Grupo Europeo o *Bos taurus*.
2. Grupo Indopakistaniano o *Bos indicus*.

Las razas de origen europeo son numerosas y se distinguen tres grupos, la de orientación cárnica, la de orientación lechera y la de doble propósito; además, son las más productivas del mundo, resultado esto de la mayor aplicación de ciencia y técnica en su crianza aunado al clima favorable en que se desarrollan y desde luego a una mejor alimentación y manejo (Gasque y Blanco, 2001).

Los animales *Bos taurus* pueden ser clasificados en dos sub-categorías: razas Británicas y razas Continentales. Las razas Británicas también son conocidas como razas inglesas, algunas de ellas son: Aberdeen Angus, Hereford y Shorthorn; son más pequeñas que las continentales pero tienen mayor habilidad de marmoleo; son precoces en su madurez, es decir, que pueden de acuerdo a su alimentación depositar grasa a cualquier edad y ser finalizados. Las Continentales son originarias del continente europeo y son conocidas por sus altas ganancias de peso y rendimiento; generalmente son de talla grande, musculosos, producen carne magra y varían en adaptabilidad a climas calurosos. Dentro de este grupo de razas se encuentran: Charolais, Limousin y Simmental, por mencionar algunas (Texas A&M University, 2001).

Dentro del Grupo *Bos indicus* las razas más comunes son: Guzerat, Gyr y Nellore; existen otras raza dentro de este grupo cebuino conocidas como razas “compuestas” o “sintéticas” que se han desarrollado a través del cruzamiento de dos o más razas, sin embargo, aun siguen siendo clasificadas como *Bos indicus*, por ejemplo: Brahman, Bradford, Brangus, Beefmaster, Indobrasil, Santa Gertrudis, Simbrah, Bradford (Texas A&M University, 2001) y Tropicarne. Cada una tiene mayor o menor presencia en el país de acuerdo al sistema de producción (Gasque y Blanco, 2001). En las vastas regiones tropicales de

América Latina, el *Bos Indicus* o Cebú es el ganado predominante, ya que el trópico es su ambiente natural y su adaptación ha sido fácil. Según Gasque y Blanco (2001), en general son razas que se comportan de manera eficiente, sin compararse en rendimiento carnicero con las europeas, además, estos autores mencionan que con el avance tecnológico estas razas han mejorado su productividad. En México el ganado que predomina son cruza de razas Cebú como la Brahman, Indobrasil, Guzerat, Gyr, Nelore, así como las razas Red Sindi, Sardo negro y cruza con ganado europeo, principalmente con Pardo suizo; este tipo de ganado es común en las regiones tropicales. En México existen varias razas del grupo *Bos taurus*: Aberdeen Angus, Belga Azul, Charolais, Hereford, Limousin, Marchigiana, Pardo Suizo, Piamontesa, Romagnola, Salers, Simmental (Villegas *et al.*, 2001). Las razas europeas productoras de carne que se encuentran en el país predominan en las zonas áridas y semiáridas, algunas de ellas son: Aberdeen Angus, Belga Azul, Charolais, Hereford, Limousin, Marchigiana, Pardo Suizo, Piamontesa, Romagnola, Salers, Simmental y entre otras (Villegas *et al.*, 2001; SRA, 2009).

Según Hernández y colaboradores (2004) la forma más apropiada para aumentar la producción de carne en los trópicos es utilizando animales que posean la mejor composición genética aditiva, resultante de la aportación tanto de razas nativas como no nativas. Se trata de organizar programas de cruzamiento que permitan el mayor aprovechamiento de las fuentes de variación genética, tanto aditiva, por medio de diferencias promedio entre razas, como no aditiva, por medio de la heterosis. Sánchez *et al.* (1999) mencionan que las razas cebuínas toleran bien las adversidades ambientales de los trópicos, pero tienen un pobre desempeño reproductivo y características de crecimiento y cárnicas desventajosas. El vigor híbrido de las cruza de cebuínos mejoran sustancialmente la precocidad, fertilidad y la tasa de ganancia de peso en pastoreo y corral, pero las características de la carne no mejoran, por lo que los becerros o novillos para engorda que tienen características cebuínas tienen menores precios que los de *Bos taurus*.

Las ventajas obtenidas a partir del cruzamiento son: la producción de heterosis, la incorporación de genes deseables en una población a una tasa mayor a la obtenida mediante selección y la combinación de características deseables en una población, también llamada complementariedad. Resultados del cruzamiento entre razas *Bos taurus* x *Bos indicus* indican que el peso del becerro al destete por vaca empadrada puede aumentar significativamente como consecuencia de la heterosis sobre el crecimiento (Hernández *et al.*, 2004). Esto podría explicar el porque en el país se producen básicamente cruza comerciales para el abasto de carne.

Existen varios métodos de cruzamiento de ganado, sin embargo, el que se emplea generalmente para obtener crías destinadas al abasto se conocen como “cruza terminales”. En este método se emplean hembras F1 obtenidas de hatos de pie de cría de razas puras, que se cruzan con toros de otra raza. Se obtiene el vigor híbrido a plenitud en el hato, pero se depende siempre de la adquisición de reemplazos. Las hembras provendrían de dos razas que combinen buenas características maternas y reproductivas y la raza paterna proporcionaría rapidez de crecimiento y rendimiento y calidad de la canal. Un ejemplo sería una crua de Brahman X Angus para las F1, que se cruzarían con una raza terminal como Limousin u otra raza “paterna” (Sánchez *et al.*, 1999).

Sánchez y colaboradores (1999) explican que en las razas de bovinos existen características que son económicamente importantes porque determinan la adaptabilidad del animal a ambientes hostiles, su capacidad reproductiva, rapidez de aumento de peso o la calidad de la carne; al producir cruza comerciales se trata de generar animales que cumplan con las necesidades de acuerdo a los requerimientos del mercado y a su disponibilidad de recursos, los productores eligen cuáles características desean mejorar, por lo tanto, cada empresa criadora de bovinos debe tener un plan de manejo genético; aunque los aspectos que se deben atender son distintos en cada caso, existen generalidades aplicables a muchas de las empresas; por ejemplo, el desempeño de los animales

en los corrales de engorda y la calificación de la canal son aspectos determinantes para la competitividad de las empresas en el mercado actual.

Como se ha mencionado, la carne que se produce en México proviene de cruza comerciales, en la cuales se pretende obtener las mejores características de las raza empleadas para poder satisfacer los requerimientos del mercado; sin embargo, esta misma variabilidad de razas genera diferencias en la calidad de carne que se oferta en el país y es necesario identificar estas diferencias para tener un panorama más amplio del tipo de producto que consume la población.

1.4 MÚSCULOS DEL CUARTO DELANTERO DEL BOVINO

1.4.1. Bíceps braquial (*biceps brachii*)

Este músculo flexiona la articulación del codo, fija al hombro y al codo en el animal parado y tensa la fascia antebraquial (Jones *et al.*, 2004).

El bíceps braquial es un músculo fuerte que se asienta en la superficie craneal del húmero. Su origen es el tubérculo supraglenoideo de la escápula. La inserción se encuentra en la tuberosidad radial, ligamento colateral medial de la articulación del codo, un pequeño tendón que pasa medialmente para articularse con el pronador *teres* y la fascia antebraquial. Existen tres tendones de inserción: dos inserciones profundas grandes y una superficie más pequeña. Las inserciones profundas son: 1) un tendón plano y largo, que cursa medialmente para insertarse en la extremidad media del radio y, por tanto, en el ligamento colateral medial de la articulación del codo, y 2) un tendón prominente largo que se inserta en la superficie craneal del radio, inmediatamente distal a la tuberosidad radial y proximal a la inserción del braquial. La inserción superficial es más pequeña en la fascia del antebrazo, sobre el pronador *teres* para insertarse inmediatamente proximal a la inserción del braquial, distal a la tuberosidad radial sobre la superficie caudal, también la apófisis coracoides medial del cubito (Getty, 1982).

Su estructura tiene un origen tendinoso plano y está unido al surco intertuberal (bicipital) por una banda fibrosa. Existe una bolsa intertuberal. Las

fibras tendinosas pasan a través del músculo y se dividen en dos porciones. Una de estas bandas esta unida al ligamento colateral medial del codo y otra más gruesa se inserta en la tuberosidad radial. Un tercer tendón (*lacertus fibrosus*) es más delgado y se confunde con la fascia profunda del antebrazo. Se une al tendón del extensor carporradial y, por tanto, continúa con el metacarpo. El origen está cubierto, en parte, por la porción del supraespinoso. Lateralmente, el braquiocefálico y el braquial; medialmente, el pectoral; cranealmente, el subclavio; profundamente, la articulación del hombro y el surco intertuberal (Getty, 1982)

1.4.2. Braquial (*brachialis*)

El braquial flexiona la articulación del codo (Getty, 1982) y ocupa el surco del lado lateral del húmero. Tiene su origen en el tercio proximal de la superficie caudal del húmero y su inserción se encuentra inmediatamente distal a la tuberosidad radial y sobre el borde medial del radio.

El braquial es un músculo grueso y carnoso. Surge a partir de la superficie del húmero, inmediatamente caudal a su cabeza, y se extiende por un surco que va a la superficie flexora de la articulación del codo, cruza el bíceps braquial y el extensor carporradial, para terminar en el lado medial del antebrazo. Sus relaciones son: superficialmente, las cabezas grande y lateral del tríceps braquial; profundamente, el surco, la superficie craneal de la articulación del codo y las porciones proximal y medial del radio.

1.4.3. Complejo (*complexus*)

El complejo se encarga de posibilitar la extensión de la cabeza y el cuello (Jones *et al.*, 2004) del animal. Pertenece al grupo de músculos del hombro. El origen de este músculo se divide en tres partes; la primera se encuentra de la tercera a la quinta espina torácica por medio del ligamento escapular dorsal; la segunda involucra el proceso transversal de las primeras seis o siete vértebras torácicas y la tercera en los procesos articulares de las vértebras cervicales. Su inserción esta definida en una zona rugosa en el hueso occipital justo en ventral de la cresta de la nuca.

1.4.4. Esplenio (*splenius*)

El esplenio se encarga de elevar la cabeza y el cuello (Getty, 1982). Es un músculo triangular, relativamente delgado, aunque largo y plano que asienta sobre la superficie lateral del cuello y dorsal a las vértebras cervicales. Nace directamente de las apófisis espinosas torácicas, así como desde una vaina aponeurótica al ligamento de la nuca, que está situada tan cranealmente como es la vértebra tercera cervical (CIII). Su inserción termina sobre el ala del atlas y la apófisis transversa del axis, así como en la apófisis transversa de la vértebra CIII (esplenio cervical).

El esplenio es casi totalmente carnoso y tiene forma triangular. Caudalmente, está insertado, en parte, sobre la capa profunda de la fascia toracolumbar. Se confunde con el braquicefálico, largo de la cabeza y del atlas y omotransverso. Las fibras musculares se dirigen craneal y ventralmente, pero cuando se hacen craneales tienen una dirección un poco más horizontal. La inserción en la protuberancia occipital externa es aponeurótica. Se relaciona superficialmente con el cleidooccipital, porción cervical del trapecio, romboideo cervical y serrato ventral del cuello; profundamente con el espinal, semiespinal y la porción funicular del ligamento de la nuca, largo de la cabeza y atlas, semiespinal de la cabeza y oblicuo caudal de la cabeza.

1.4.5. Infraespinoso (*infraspinatus*)

Es un músculo potente, extraordinariamente infiltrado de tendones, que llena en su totalidad la fosa infraespinosa. Sirve como ligamento colateral lateral del hombro (de acuerdo con Gunther (Sissons, 1921) puede contribuir a la flexión o extensión, según la posición de la cabeza del húmero relativa a la cavidad glenoidea). Sirve también para abducir el brazo (Getty, 1982).

Su origen está en la fosa infraespinosa, apófisis espinosa de la escápula y cartílago escapular y su inserción dividida es sobre la superficie media y porción caudal del tubérculo mayor del húmero. El tendón cartilaginoso superficial, plano y grande se inserta sobre la porción craneal del tubérculo mayor, mientras el más

pequeño presenta una inserción carnosa sobre la porción caudal del tubérculo mayor.

Anteriormente se ha mencionado que el infraespinoso tiene una estructura tendinosa, esta comienza en su quinta porción distal, continua por un tendón plano y largo, que pasa sobre el tubérculo mayor del húmero. Está unido por una lámina fibrosa y una bolsa sinovial, interpuesta entre el tendón y el hueso. La porción del tendón, que cruza al tubérculo mayor es, en parte, cartilaginosa.

Superficialmente el infraespinoso tiene encima la piel, fascia y el músculo omobraquial cutáneo, trapecio y deltoides; profundamente, la escápula, y su cartílago, la articulación del hombro y cápsula, la cabeza mayor del tríceps braquial y el *teres minor*, así como las ramas de la arteria escapular circunfleja. (Getty, 1982)

1.4.6. Redondo mayor (*teres major*)

Conocido en el mercado de la producción de carne estadounidense como petit tender (Calkins y Sullivan, 2007), en el animal cumple la función de flexionar la articulación del hombro. Es aplanado, y se extiende desde el borde caudal de la escápula a la tuberosidad mayor del húmero y asienta, fundamentalmente, sobre la superficie medial del tríceps braquial. Su origen está en el borde caudal y ángulo caudal adyacente de la escápula, así como el subescapular. La inserción es en la tuberosidad *teres* del húmero donde está conectado con el tendón terminal del *Latissimus dorsi*. Su estructura tiene las fibras en forma de espiga y en mayor grado a nivel de la articulación del hombro. La aponeurosis de este músculo se confunde con la de la fascia tensora antebraquial, caudal al tendón de inserción. Está relacionado lateralmente, el tríceps braquial y el *Latissimus dorsi*; medialmente, el serrato ventral torácico. Los vasos subescapulares asientan un surco, parcialmente, entre el borde craneal de este músculo y el caudal del subescapular. Los vasos braquiales y las ramas torácicas del plexo braquial asientan en la cara medial de este músculo (Getty, 1982).

1.4.7. Romboides o Romboideo (*rhomboideus*)

Es un músculo que contribuye de manera destacada a la formación de la joroba característica del cebú y de los animales resultantes del cruce con esta especie, aunque esta estructura anatómica varía considerablemente en tamaño, en posición (cervicotorácica o torácica) e, incluso, en estructura en los animales de distintas razas y variedades; en algunos, la joroba está formada esencialmente por tejido muscular resultante del gran desarrollo carnoso del músculo romboideo, pero en otros está formada mayoritariamente por una gran masa de tejido adiposo (Dyce, 1997).

Las funciones del romboideo involucran a su porción torácica que lleva la escápula dorsal y medialmente y contribuye a sostener el miembro cuando este está en movimiento. La parte cervical contribuye a dirigir la escápula dorsal y cranealmente cuando el cuello está fijo; cuando actúa solo un músculo inclina el cuello lateralmente; se eleva el cuello cuando actúa con el músculo contra lateral (Getty, 1982).

Está situado profundamente al trapecio y al extremo proximal de la escápula (Dyce, 1997). Nace del ligamento de la nuca, a partir de la vértebra CII hasta la TV. Está unido a la superficie profunda del cartílago escapular y se extiende craneal y dorsalmente hasta el nivel del axis, bajo la porción cervical del trapecio. No existe una división definida en músculos cervical y torácico, aunque por conveniencia se reconozcan frecuentemente dos partes (Getty, 1982). Su origen se encuentra en el romboideo torácico a partir de la segunda a la quinta apófisis espinosa torácica. El romboideo cervical se extiende desde la vértebra TII hasta la CII. Su inserción está en la superficie craneomedial del cartílago escapular para la porción cervical; caudomedial para la porción torácica. En cuanto a relaciones, superficialmente tiene al cartílago escapular, subescapular, trapecio, y serrato ventral cervical; profundamente, esplenio, fascia, tendones, y ligamento de la nuca (Getty, 1982).

1.4.8. Subescapular (*subscapularis*)

Su principal función es la aducción (algunos autores consideran que este músculo puede servir también como un extensor de la articulación del hombro y, a veces, como flexor, cuando la articulación está contraída). Está formado por tres porciones con un tendón común de inserción. Es plano y sigue la demarcación de la superficie costal de la escápula. En algunos rumiantes, los tendones no se distinguen hasta inmediatamente antes de su inserción, pero convergen para insertarse, sin embargo, en el bovino la fusión es más distinta; en todos los puntos parece como un tendón (Getty, 1982).

Su origen se halla en el cartílago escapular y toda la fosa subescapular localizada sobre la superficie costal de la escápula. La inserción se genera en el tubérculo menor del húmero. Dentro de su estructura, la porción muscular, particularmente la central, está infiltrada de fibras tendinosas. El subescapular está relacionado superficialmente con la escápula y la articulación del hombro, el supraespinoso, tríceps braquial y *teres major*; profundamente, el serrato ventral, así como los vasos axilares y las ramas principales del plexo braquial del nervio (Getty, 1982).

1.4.9. Supraespinoso (*supraspinatus*)

Según Getty (1982) este músculo extiende la articulación del hombro y lo describe como “muy poderoso en el bovino”; forma una masa cónica, aplanada ligeramente, que se extiende desde el borde craneal de la escápula hasta la porción proximal del húmero. Su origen se presenta en la fosa supraespinosa, apófisis espinosa y porción ventral del cartílago de la escápula. La inserción se encuentra en la porción craneal de ambos tubérculos proximales del húmero (Getty, 1982). Su inserción tendinosa se divide en dos para fijarse en las porciones craneales de los tubérculos mayor y menor del húmero; bajo esa división tendinosa, pasa el tendón de origen del músculo bíceps (Dyce, 1997). En su estructura, el músculo es delgado en su origen, pero se hace mucho más grueso centralmente. En el cuello de la escápula se divide en dos ramas carnosas

superficialmente y tendinosas profundamente. Una pequeña bolsa puede estar presente bajo el músculo en el tubérculo supraglenoideo de la escápula. Este músculo se relaciona superficialmente con la piel, fascia, músculo omobraquial cutáneo, trapecio (porción cervical) y omotransverso; profundamente, escápula y su cartílago, subescapular (Getty, 1982).

1.4.10. Tríceps braquial (*triceps brachii*)

Es un músculo grande conformado por tres cabezas: mayor, lateral y medial. La cabeza grande o mayor tiene una doble función, ya que flexiona la articulación del hombro y extiende el codo. Las otras cabezas juntas sirven como extensoras del brazo (Getty, 1982). Llena totalmente el ángulo que existe entre el borde caudal de la escápula y el húmero y es el mayor extensor del codo. Puede que exista una cabeza accesoria aislada, separada de la cabeza media.

La cabeza mayor es la principal de las tres, surge del borde caudal de la escápula. La cabeza lateral asienta sobre la superficie lateral del brazo y tiene su origen en la tuberosidad deltoides y línea rugosa curvada, que se extiende desde el cuello al húmero. La cabeza medial surge de la superficie medial del cuerpo del húmero caudal y distal a la tuberosidad mayor, pero proximal al cuello del húmero.

La inserción de la cabeza mayor se observa sobre las partes lateral y caudal del olécranon. La cabeza lateral sobre la superficie lateral del olécranon y el tendón de la cabeza mayor. La cabeza medial sobre las porciones medial y craneal del olécranon.

La cabeza mayor es la principal de las tres inserciones del tríceps braquial y ocupa el ángulo flexor de la articulación del hombro. Pasa sobre el vértice del olécranon, para insertarse por medio de un fuerte tendón. Existe una pequeña bolsa bajo el tendón de inserción. La cabeza lateral es plana, ancha y está separada de la mayor por la arteria humeral circunfleja caudal y nervio axilar, que pasan entre las dos cabezas cerca de la articulación del hombro. La cabeza medial está cubierta, en alguna extensión, por la cabeza mayor y pasa por medio de un tendón pequeño y distinto a la superficie medial del olécranon.

El tríceps braquial se relaciona superficialmente con la piel, fascia y deltoides; medialmente con el *teres major* y el *latissimus dorsi*; cranealmente con la escápula del húmero; caudalmente con el tensor de la fascia del antebrazo (Getty, 1982).

Véase en el Anexo 1 ilustraciones de los músculos del cuarto delantero.

1.5. Calidad de carne

La calidad de carne es un tema muy amplio y por tanto complejo, pero al mismo tiempo muy generalizado entre productores, industriales, comerciantes y consumidores de carnes (Téllez, 2004). Según Maltin *et al.* (2003) es un término genérico utilizado para describir las propiedades de la carne e incluye aspectos nutricionales, sensoriales, tecnológicos, sanitarios, de inocuidad y éticos como el bienestar animal e impacto ambiental entre otros. Estos factores se combinan para dar una evaluación global de la carne.

Por otra parte, los atributos de calidad son el resultado de la acción conjunta de diferentes factores de producción (edad, sexo, raza, alimentación, promotores de crecimiento, manejo *ante mortem*, condiciones de maduración, entre otros) que influyen sobre las propiedades y características de la carne (Delgado, 2004).

1.5.1. Factores que afectan la calidad de la carne

Los factores que determinan la palatabilidad de la carne son: suavidad o ternura, jugosidad y sabor. De estos tres, la suavidad es el factor más importante en términos económicos y el más estudiado en la ciencia de la carne (McKenna, 2002; Belew *et al.*, 2003; Destefanis *et al.*; 2008).

La suavidad de la carne disminuye al aumentar la edad del animal, es decir que animales viejos poseen carne más dura. Esto es explicado en parte por una menor solubilidad del colágeno, que es una proteína que forma parte del tejido conjuntivo que envuelve las fibras musculares. Existen muy pocas evidencias de que el colágeno sea afectado por el proceso de maduración (Peluffo, 2002).

El sexo es otro factor que influye en la calidad de la carne. De acuerdo con Judge *et al.* (1988) los machos enteros (toretos) crecen más rápido, maduran más tarde y producen canales con más músculo y menos grasa que las hembras; los machos castrados depositan más grasa y menos músculo que los machos enteros y las hembras engrasan más rápido que los machos castrados. La raza también influye significativamente en la calidad de la carne, este punto se discute más adelante, así como la acción de los β -agonistas.

En cuanto a la alimentación, el tipo de dieta puede generar cambios en el contenido de grasa intramuscular, así como en la solubilidad de colágeno. Cuando animales adultos consumen altos niveles de energía, después de un periodo de restricción alimenticia pueden producir carne similar a la de animales jóvenes. La restricción alimenticia promueve el crecimiento compensatorio, el cual genera una mayor eficiencia alimenticia, esto genera un rápido crecimiento, lo cual a su vez provoca un alto índice de síntesis de colágeno. El nuevo colágeno sintetizado diluye al antiguo colágeno estable al calor, haciéndolo en promedio más inestable, resultando de esta forma que la carne sea más suave. (Miller *et al.*, 1983; Boleman *et al.*, 1996; Peluffo, 2002). Autores como (Knoblich *et al.*, 1997; Block *et al.*, 2001) mencionan que se puede manipular la alimentación del ganado para satisfacer las necesidades del mercado, por ejemplo, combinando un sistema de pastoreo al inicio del crecimiento y de concentrados en las últimas fases, se puede obtener carne de buena calidad.

El manejo *ante mortem* también produce efectos en la calidad de la canal. El estrés previo a la matanza de los animales provoca una dramática caída de las reservas del glucógeno muscular. Esto induce que la acidificación del músculo sea insuficiente por un pH final elevado. De esta manera, los animales transportados a través de largas distancias previo a la matanza, con temperaturas extremas, la mezcla con otros animales, ruidos extraños, etc., aumentan la probabilidad de que se estresen y que la carne proveniente de dichos animales presenten valores de pH altos (superiores a 5.8) dando como resultado el denominada carne oscura, firme y seca "DFD" (por sus siglas en inglés) (Tarrant y

Granding 1993; Gregory y Granding, 1998; Peluffo, 2002). Según Tarrant y Granding (1993) este tipo de carne es susceptible a la invasión microbiana dado su pH elevado y su mayor contenido de humedad.

El manejo de la temperatura es de vital importancia para mantener una buena calidad de carne. Después del desangrado, la temperatura del animal desciende rápidamente, sin embargo, la exposición de las canales inmediatamente luego de la desangrado (calientes) a bajas temperaturas, tiene como ventaja retardar el desarrollo microbiano, pero genera el fenómeno conocido como “acortamiento por frío”. Si la canal se refrigera a menos de 14 °C antes del *rigor mortis*, se produce este fenómeno, el cual obedece a la liberación masiva de Ca²⁺ por parte del retículo sarcoplásmico y mitocondrias de las células musculares. A temperaturas por debajo de 14 °C, la bomba que regula la salida del Ca²⁺ del retículo endoplasmático y de las mitocondrias no funciona, y la liberación masiva y no controlada de Ca²⁺ produce una contracción muy intensa de las fibras musculares dando como resultado carne muy dura. Para evitar este efecto negativo se recomienda no bajar la temperatura a menos de 14 °C antes de la instauración del rigor mortis, suspender la canal por el tendón de Aquiles y realizar estimulación eléctrica (López y Casp, 2004).

Algunos autores (McKenna, 2002; Calkins y Sullivan, 2007) mencionan que la cantidad y distribución de la grasa en el músculo también influye en la ternura. Este efecto lo produce al funcionar como lubricante de los dientes y así disminuir la fuerza de fricción y de esta manera aumentar la percepción de la ternura; también indican que la grasa contenida entre las células de un músculo o en el tejido conjuntivo, podría adelgazar del tejido conectivo en la medida suficiente para reducir la cantidad de fuerza necesaria para cortar la carne.

1.5.2. Estimulación eléctrica

El uso de la Estimulación Eléctrica (EE) para incrementar la suavidad de la carne no es una idea nueva. Benjamin Franklin señaló que en 1749, "Matar pavos eléctricamente, con el agradable efecto secundario que se los hace extraordinariamente suaves, fue la primera aplicación práctica que había encontrado para la electricidad." En 1951, más de dos siglos después del descubrimiento de Franklin, las patentes fueron obtenidos por Harsham y Deatherage (patente de EE.UU. N ° 2544681) y Rentschler (patente de EE.UU. N ° 2544724) para sus procesos de suavizar canales por EE. Sin embargo, la EE no fue utilizada por la industria de la carne hasta que se hicieron los últimos avances en su tecnología y las nuevas investigaciones fundamentaron su utilidad (Stiffler *et al.*, 1982).

La mayoría de las investigaciones sobre la EE han sido reportadas desde 1976. Los experimentos realizados por investigadores en Nueva Zelanda, Australia, Gran Bretaña y los Estados Unidos han demostrado que la EE mejora notablemente la suavidad de la carne. Además, los investigadores de Texas Agricultural Experiment Station observaron que este proceso mejoró ciertas características de calidad, tales como color, firmeza y la visibilidad de marmoleo (Stiffler *et al.*, 1982). Davis *et al.* (1981) mencionan que en general, la EE aumenta la suavidad sin la creación de características indeseables. López y Casp (2004) mencionan que la EE tiene efecto sobre el acortamiento por el frío, así como en las características sensoriales de la carne, en particular la textura, el color y la jugosidad.

1.5.3. Efectos de β -agonistas adrenérgicos sobre la suavidad de los músculos

Los β -agonistas adrenérgicos son compuestos de acción hormonal que se emplean como promotores de crecimiento en animales de abasto (Martin *et al.*, 1992). Su nombre se debe a que poseen una estructura similar a las catecolaminas adrenalina y nor-adrenalina (Mersman, 1998). Estas sustancias

interactúan con los receptores β de varios tejidos, entre ellos, el muscular y el adiposo. Una característica de estos compuestos, es que se pueden administrar por vía oral, mezclados con el alimento, debido a que son de fácil absorción por el tracto digestivo (Smith, 1998). Estos compuestos funcionan como agentes repartidores, lo cual significa que desvían la repartición de nutrimentos de la síntesis de grasa a la síntesis de proteína (Ávila *et al.*, 1990). Este efecto lo ejecutan a través de la estimulación de síntesis de proteína e inhibiendo la tasa de degradación, mientras que disminuye el depósito de grasa por estimulación de la lipólisis (Judge *et al.*, 1988; Hocquette *et al.*, 1998; Hilton *et al.*, 2009). Los animales que reciben tales agentes repartidores producen canales con incremento de músculo y disminuye la cantidad de grasa (Judge *et al.*, 1988).

Existen varios β -agonistas, tales como: clenbuterol, L-644,969 cimaterol y clorhidrato de Zilpaterol (CZ); este último se encuentra disponible en México, la República de Sudáfrica y los Estados Unidos (Montgomery *et al.*, 2009). Dikeman (2007) menciona que tiene efectos positivos en la tasa de crecimiento, mejora la eficiencia alimenticia e incrementa el rendimiento cárnico de las canales. Los compuestos β -agonistas, además de promover la producción de carne con menor porcentaje de tejido adiposo, tienen otro efecto sobre la calidad de la carne. De acuerdo con algunos autores (Dunshea, 2005; Dikeman, 2007; Hilton *et al.*, 2009; Leheska *et al.*, 2009) el CZ presenta un efecto negativo en la suavidad de la carne. Sin embargo, Dikeman (2007), menciona que empleando tratamientos como la EE y periodos de maduración, es posible disminuir significativamente dicho efecto. De acuerdo con lo anterior, Hilton *et al.* (2009) señalan que no se presentó un efecto negativo por parte de los consumidores en la aceptación de la carne madurada por un periodo de 14 días.

El CZ muestra varios efectos en la calidad de la carne, sobresaliendo la disminución de la suavidad, sin embargo, como se ha visto anteriormente, es posible disminuir este efecto utilizando la EE y periodos de maduración; no obstante, en México solo se llega a emplear la EE.

1.5.4. Diferencias en calidad de carne entre *Bos indicus*, *Bos taurus* y Cruzas comerciales

Desde hace algunas décadas, varios investigadores han reportado diferencias en la calidad de la carne entre *Bos indicus* y *Bos taurus*; algunos han mencionado que cuanto mayor es el porcentaje de *Bos indicus*, mayor es la dureza de la carne y/o la variabilidad en la suavidad (Carpenter *et al.*, 1955; Damon *et al.*, 1960; Palmer, 1963; Peacock *et al.*, 1982; Williams *et al.*, 1987; citados por Wheeler, 1990). Autores como McCormick y Southwell (1957) reportaban la dureza de la carne de *Bos indicus* y su capacidad de adaptación a climas calurosos y altos en humedad, características que deseaban incluir los ganaderos de aquellos años en el ganado del sur de Estados Unidos. Los ganaderos comenzaron a utilizar programas de cruzamiento para tomar ventaja del vigor híbrido. Las razas de *Bos indicus* continuaron siendo empleadas frecuentemente para maximizar la heterosis, especialmente en climas tropicales y semitropicales donde aportaban ventajas adicionales para la resistencia al calor y enfermedades (Cole *et al.*, 1963; Crockett *et al.*, 1979 citado por Whipple, 1990; Jerez y Huerta, 2009). Sin embargo, la carne de razas *Bos indicus* es frecuentemente más dura que la carne de ganado *Bos taurus* (Koch *et al.*, 1982; McKeith *et al.*, 1985; Crouse *et al.*, 1987, 1989; citado por Wheeler, 1990). Cabe destacar que cuando la carne proviene de ganado con algún porcentaje de *Bos indicus* (mayor de $\frac{1}{4}$) y es comparada con carne de otras razas, la suavidad es mucho menor y más variable (Ramsey *et al.*, 1963; Dinius *et al.*, 1976; Winer *et al.*, 1981; Koch *et al.*, 1982; Norman, 1982; citado por Wheeler, 1990). Otro dato relevante reportado indica que cuando hay influencia de *Bos indicus*, el porcentaje de su influencia es el factor más importante en la variación de la suavidad (Palmer, 1963; citado por Wheeler, 1990).

El hecho de que autores como Crouse *et al.* (1989) coincidan al definir que la carne proveniente de *Bos indicus* sea menos suave que la carne de *Bos taurus*, está relacionado con el proceso de proteólisis del músculo. En este proceso enzimático se ha atribuido a las calpaínas, unas proteasas dependientes del

calcio, la mayor responsabilidad por el ablandamiento de la carne postmortem (Koochmaraie, 1991; Koochmaraie, 1992). Estudios como el de Wheeler *et al.* (1990) sobre la actividad del sistema proteolítico postmortem contribuyeron a generar una posible respuesta a las diferencias entre ambas especies. En dicho estudio muestran que las calpaínas son más activas en la proteólisis postmortem y poseen mayor actividad en animales *Bos taurus*, por lo tanto, puede resultar en una mayor degradación del músculo. Por otro lado, existe un inhibidor enzimático de las calpaínas denominado calpastatina, el cual participa de manera muy activa en el proceso de proteólisis (Koochmaraie, 1992). Ciertos estudios sugieren que las diferencias en suavidad manifiesta entre distintos tipos raciales se relacionan con la variación en la actividad de la calpastatina (Shackelford *et al.*, 1995; Wulf *et al.*, 1996). La suavidad y actividad de la calpastatina son características de heredabilidad moderada a alta (Shackelford *et al.*, 1994). La actividad del inhibidor es mayor en el ganado *Bos indicus*, lo cual indica un aumento en la inhibición de las proteasas, de esta manera, la degradación del músculo sería menor (Wheeler, 1990). Según esta investigación, se puede hallar una explicación plausible al hecho de que la carne proveniente de animales *Bos indicus* sea más dura que la del ganado de *Bos taurus*. La suavidad en animales Cebú y cruza de estos podría ser modificada seleccionando el temperamento. Se ha mencionado que los animales con alto encaste de cebú nerviosos tienen un ritmo de crecimiento menor (Voisinet *et al.*, 1997a) y están predispuestos a producir carne más dura y oscura (Voisinet *et al.*, 1997b).

Es importante considerar que en México la carne que se consume no proviene de animales con una genética homogénea, es decir, existe más encaste con ganado europeo (*Bos taurus*) o cebú (*Bos indicus*), dependiendo de la zona geográfica donde se produce el ganado. Por otro lado, Bidner *et al.* (2002) mencionan que razas con encaste cebuino como Beefmaster, Brangus y Simbrah pueden ser utilizadas como razas puras o en programas de cruzamiento sin sacrificar la calidad de la carne. En realidad, en México no se han estudiado las características de calidad de la carne en ganado cebú; esto reviste gran

importancia debido a que gran parte del ganado producido en México pertenece a esta especie y no existen datos suficientes sobre sus características fisicoquímicas y sensoriales.

1.5.5. Determinación de los índices de calidad

1.5.5.1. Composición química

La composición química de la carne incluye: proteínas, grasas, carbohidratos, minerales y agua (humedad). En la determinación de la composición química resulta esencial asegurar que la muestra sea homogénea. Esto se logra cortando, moliendo y macerando la carne, cuidando que la misma no se sobrecaliente (Warris, 2000). Los métodos oficiales para la determinación de la composición química proximal de la carne están descritos en la AOAC (1990).

1.5.5.2. Suavidad o Terneza (Fuerza de Corte)

La textura es la sensación que percibe el consumidor frente a la carne y que involucra un conjunto de impresiones tanto visuales como táctiles. Está relacionada con una serie de parámetros como firmeza, terneza, capacidad de retención de agua, color, entre otros. Como se ha descrito anteriormente, la suavidad juega un rol principal en la calidad de la carne, la cual ha tenido que ser evaluada por métodos objetivos y subjetivos. En cuanto a los primeros, intentan predecir un valor de terneza en forma cuantitativa. El método objetivo mundialmente más usado y aceptado es la prueba de fuerza de corte o prueba de Warner-Bratzler. Esta herramienta fue diseñada para evaluar la fuerza de corte requerida para partir a la mitad un trozo de media pulgada de una muestra de carne, los valores obtenidos se expresan generalmente en kilogramos o libras. Este método sirve también para correlacionar la fuerza de corte con la percepción de suavidad de los consumidores (McKenna, 2000).

1.5.5.3. Pérdidas por cocinado

En el proceso de cocción se producen pérdidas por evaporación y por escurrimiento de líquidos de la carne. El método para medir esta variable se basa en la diferencia de peso de las muestras antes y después de cocidas (AMSA, 1995). En las "pérdidas por cocinado" son responsables la rotura de la membrana celular. La magnitud de las pérdidas puede variar según el contenido de humedad y grasa de la carne. Las cantidades abundantes de grasa presentes en el músculo pueden aumentar las pérdidas, sobre todo si se cuece la carne a la parrilla (Sheard *et al.*, 1998).

2. HIPÓTESIS

En general, los músculos de los animales *B. indicus* serán más duros que los de *B. taurus* y CC. Por otro lado, las características de calidad determinadas en los músculos del cuarto delantero mostrarán que hay músculos de alta palatabilidad que podrán ser comercializados como productos de valor agregado, entre ellos el músculo infraespinoso, que según la literatura, es de los más suaves del cuarto delantero.

3. OBJETIVO

Evaluar las características fisicoquímicas de once músculos del cuarto delantero del bovino en animales *Bos taurus* (Bt), *Bos indicus* (Bi) y Cruzas comerciales (CC), para ofrecer información acerca de la calidad que ofrecen dichos músculos de ganado mexicano, que sirva como base para futuras investigaciones sobre productos con valor agregado.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Obtención de muestras

4.1.1. Animales

Se utilizaron 30 bovinos, machos enteros en el mismo rango de edad, de 18 a 24 meses. Se obtuvieron (seleccionados al azar, fenotípicamente) 10 animales *Bos taurus* (Bt) (de razas tipo Charolais, Limousin y Simmental) procedentes del Estado de Nuevo León, 10 animales *Bos indicus* (Bi) (de razas tipo Brahman, Nelore y Gyr) procedentes del Estado de Veracruz y 10 animales “Cruza comerciales” (CC) los cuales se obtuvieron en el Estado de Querétaro. Para efectos de este estudio, se consideró Cruza comercial a todo animal que no presentaba morfológicamente características fenotípicas que pudieran ubicarlos en cualquiera de los otros dos grupos. Todos los animales recibieron similar alimentación en similares periodos de engorda (80 a 110 días), con adición de Clorhidrato de Zilpaterol en la dieta. Antes del sacrificio los animales cumplieron con un periodo de descanso menor a 12 horas. Los animales Bt y Bi recibieron estimulación eléctrica (EE) después del degüello, con las siguientes especificaciones: voltaje de 110, mili amperaje de 300 a 500 (0.3 A 0.5 Amperes) con un tiempo de estimulación de 10 a 15 segundos; debido a que los mercados son diferentes en cada región del país donde algunas empresas emplean la EE y otras no, el grupo de cruza comerciales no recibió EE, por lo cual, los resultados de fuerza de corte obtenidos de dichos animales solo son descritos y no se integraron al análisis de varianza con los otros dos grupos genéticos, puesto que la EE está demostrado que afecta la suavidad del músculo. Para los otros parámetros medidos (grasa y humedad) donde no hay influencia de la EE, los tres grupos genéticos se analizaron conjuntamente.

4.1.2. Obtención de los músculos del cuarto delantero

Los músculos se obtuvieron mediante la disección de los cuartos delanteros, después de haber permanecido las canales al menos 24 horas en refrigeración; cada músculo fue identificado con una etiqueta y empacado al vacío; inmediatamente después de la disección de cuartos delanteros, las muestras fueron trasladadas al laboratorio de ciencia de la carne de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. Se transportaron por vía terrestre o aérea en envases isotérmicos con geles refrigerantes. Al arribar al laboratorio se almacenaron en congelación (-30 °C). Antes de realizar los análisis, las muestras se descongelaron durante 24 a 30 horas a 2 – 4 °C, por lo que las muestras no se sometieron a ningún tipo de maduración. Los músculos que comprenden este estudio son los siguientes: braquial, bíceps braquial, complejo, esplenio, infraespinoso, redondo mayor, romboides, subescapular, supraespinoso, tríceps braquial cabeza larga y tríceps braquial cabeza lateral. La selección de dichos músculos se realizó de acuerdo a la forma y dimensiones que presuman una manipulación sencilla y una presentación comercial aceptable.

4.2. Caracterización físico-química

Se obtuvieron dos cortes de 2.5 cm, uno para realizar el análisis de la fuerza de corte y otro para los análisis químicos: grasa y humedad, siguiendo la metodología descrita por la AOAC (1990).

Fuerza de corte y pérdidas por cocción

La prueba de fuerza de corte y pérdida por cocinado se realizó de acuerdo con la AMSA Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation and Instrumental Tenderness Measurements of Fresh Meat (AMSA, 1995). Los cortes fueron cocinados a una temperatura interna de 70 °C utilizando una parrilla eléctrica. La temperatura fue monitoreada con termopares hierro-constantas (Omega Engineering Inc., Stamford, USA) y un termómetro portátil de registro.

Una vez que se alcanzó la temperatura interna deseada (70 °C), los cortes fueron retirados de los asadores y se dejaron enfriar a temperatura ambiente (20 – 25 °C). Posteriormente, utilizando un sacabocados automático se obtuvieron varios cilindros (diámetro: 1.27cm) paralelos a la orientación longitudinal de las fibras musculares, a los cuales se les sometió al corte de la cuchilla de la maquina de Warner-Bratzler. Para calcular la perdida por el cocinado, cada muestra se pesó antes y después del mismo.

Análisis de la composición físico-química

Previo a los análisis químicos, se recortó la grasa subcutánea y el epimysio de las piezas y se molió finamente la carne magra en un procesador de alimentos. Se determinaron los contenidos de humedad y grasa siguiendo la metodología descrita por la AOAC (1990).

4.3. Análisis Estadístico

El programa estadístico SAS (Sistemas de Análisis Estadístico) fue la herramienta a utilizar para el análisis de los datos, los cuales, se sometieron a un análisis de varianza con la prueba de Lsmeans (Least square means), siendo las variables independientes el grupo genético y el músculo; las dependientes fueron la fuerza de corte, humedad y grasa intramuscular. El modelo que se uso fue $Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$, siendo Y= variable dependiente en cada caso (fuerza de corte, grasa y humedad), μ = media general, T= grupo genético, E=error. Solamente el grupo genético CC no entró en el análisis de varianza de la fuerza de corte. Solamente el grupo genético CC no entró en el análisis de varianza de la fuerza de corte.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Fuerza de corte, pérdida por cocinado, porcentaje de humedad y grasa intramuscular de los músculos del cuarto delantero de bovino de todos los grupos genéticos combinados

En la Figura 1 se muestran las medias (mínimos cuadrados \pm error estándar) de fuerza de corte de cada uno de los músculos de todos los grupos genéticos combinados. Se destacó el músculo infraespinoso, como el más suave de todos con un valor de 3.8 ± 0.09 kg, seguido por el subescapular y redondo mayor con 4.75 ± 0.13 , 4.97 ± 0.14 respectivamente. Los demás músculos que obtuvieron valores mayores a 5 kg, los cuales fueron los siguientes: bíceps braquial (5.15 ± 0.13), supraespinoso (5.20 ± 0.1), esplenio (5.26 ± 0.1), tríceps cabeza larga (5.33 ± 0.08), romboides (5.48 ± 0.1), complejo (5.61 ± 0.1) y braquial (5.86 ± 13). El tríceps cabeza lateral fue el que presentó el valor más alto con 6.05 ± 0.14 . La National Cattlemen's Beef Association ha realizado una clasificación de suavidad de varios músculos de la canal (Calkins y Sullivan, 2007), en la cual se ubica el infraespinoso como suave con un valor de 3.2 kg, lo cual coincide con lo reportado por otros autores (Belew *et al.*, 2003; Jones *et al.*, 2004; Von Segern *et al.*, 2005); dentro de esta categoría también mencionan que se encuentra el subescapular y redondo mayor, Von Seggern *et al.* (2005) reportan valores menores de 3.8 kg para los músculos anteriores. De acuerdo con la clasificación de Calkins y Sullivan (2007) el bíceps braquial es considerado de suavidad intermedia con 3.98 kg; sin embargo, Belew *et al.* (2003) y Jones *et al.* (2004) hallaron que este músculo presenta valores menores cercanos a 3.2 kg, siendo considerado de suave a muy suave al igual que el infraespinoso. El complejo, esplenio, romboides y tríceps braquial son considerados como "suaves" con valores dentro de un rango de 3.2 a 3.9 kg (Belew *et al.*, 2003); sin embargo, Calkins y Sullivan (2007) catalogan como de suavidad intermedia al complejo y tríceps braquial con 3.99 y 4.38 kg respectivamente; sin embargo, Jones *et al.* (2004) mencionan que los valores del complejo llega a ser de 4.71 kg. Según la clasificación de Belew *et al.* (2003) y

Calkins y Sullivan (2007) sólo el infraespinoso (de este estudio) entraría en la categoría de suave (3.2 - 3.9 kg), todos los demás entran a la categoría de “duros” con valores mayores a 4.6 kg. Sin embargo, los autores citados arriba reportan valores con 14 días de maduración de la carne, lo cual puede explicar la mayor suavidad de sus muestras con relación a las analizadas en este estudio. No obstante, a pesar de que en este estudio no se llevo a cabo un periodo de maduración, el orden ascendente en fuerza de corte de los 11 músculos fue prácticamente idéntico al reportado por los autores citados.

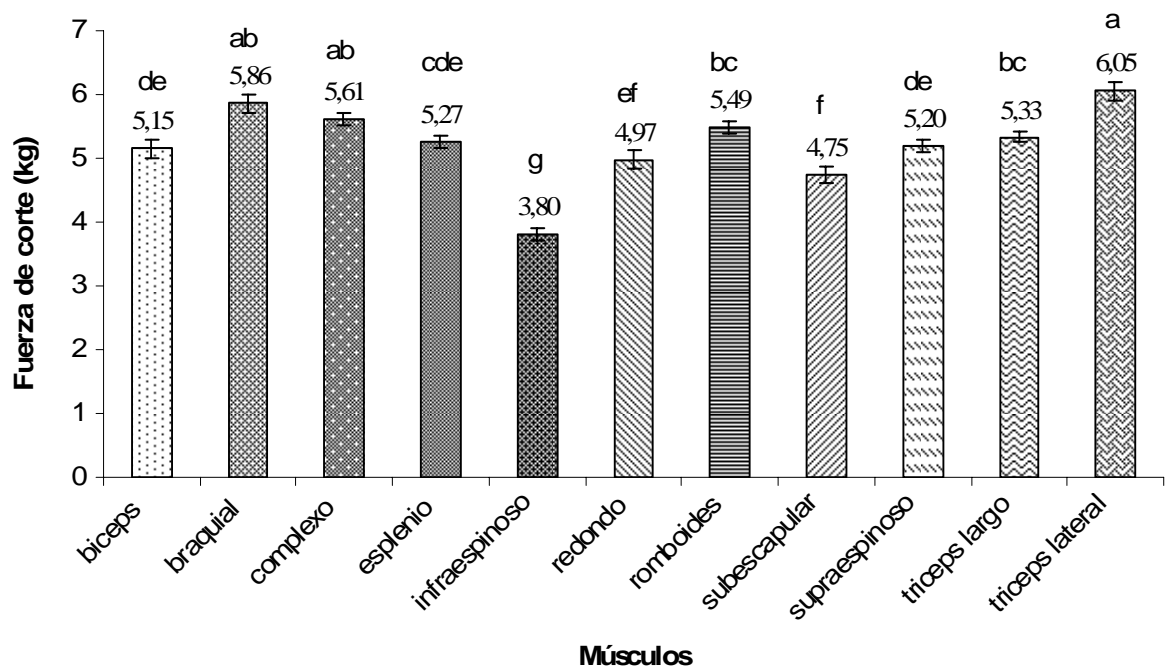


Figura 1. Medias de fuerza de corte en 11 músculos del cuarto delantero del bovino (*Bos indicus* y *Bos taurus*). Columnas con letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

En la Figura 2 se observan las medias de pérdida por cocción de los once músculos estudiados de todos los grupos genéticos combinados. Se puede observar que el supraespinoso fue el que mayor pérdidas obtuvo con 38.69%, los demás músculos mostraron valores en un rango de 34 a 36%. Los resultados obtenidos en el presente estudio fueron mayores a los reportados por Jeremiah *et al.* (2003), sin embargo, el supraespinoso fue uno de los tres músculos con mayor

pérdida por cocinado de un grupo de 33, lo anterior indica que este músculo es en realidad uno de los que mayor pérdidas registra y dicha proporción es evidente en la Figura 2. El caso del bíceps se puede explicar por el gran contenido de tejido conectivo que predomina en su estructura.

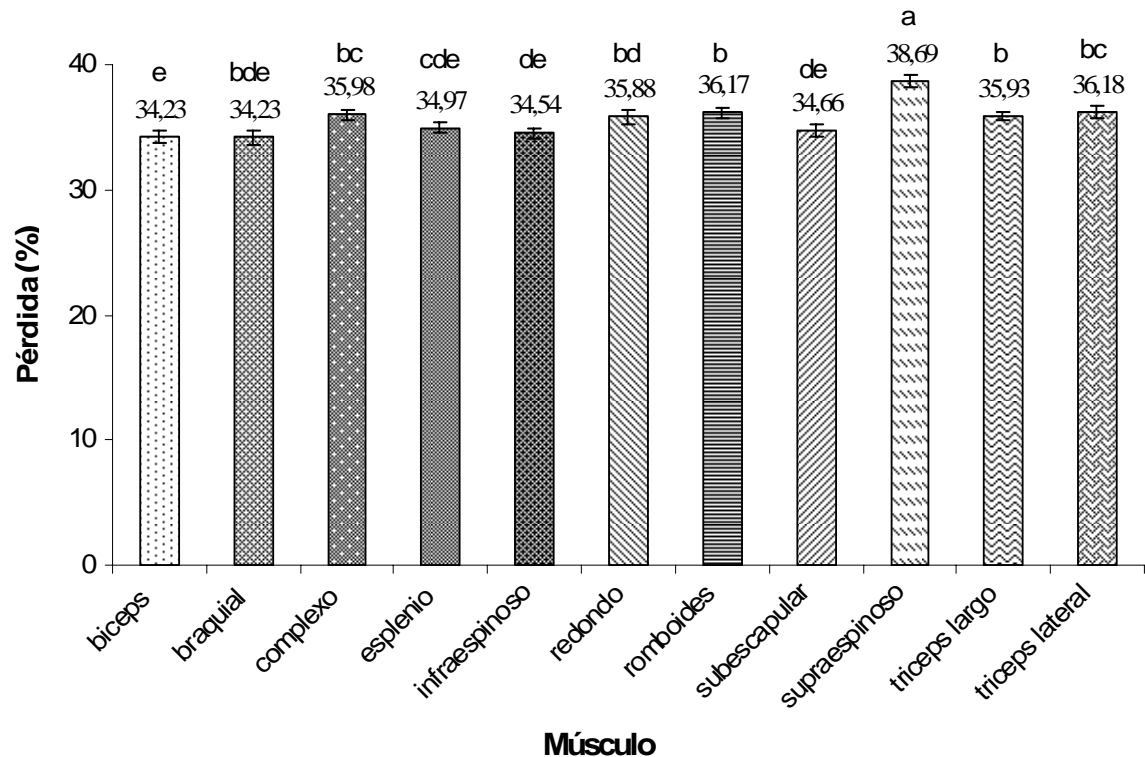


Figura 2. Medias de pérdidas por cocinado de músculos en general. Columnas con letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

La Figura 3 muestra el porcentaje de humedad de cada uno de los músculos estudiados de todos los grupos genéticos combinados. Como puede observarse, el supraespinoso obtuvo el mayor porcentaje de humedad, seguido del complejo y el infraespinoso, con alrededor del 75%, contrario al romboides que fue el que presentó un porcentaje de 72.96%, esto podría explicarse por el mayor porcentaje de grasa que mostró el romboides (Figura 4) en comparación con todos los demás músculos. En 1948, Sanz describió al supraespinoso como “trozo que se encoge mucho”, evidenciando el alto contenido de humedad de este músculo. En un estudio llevado a cabo por Jeremiah *et al.* (2003) en donde se

incluyeron 33 músculos, el supraespinoso resultó ser uno de los que presentó mayor porcentaje de humedad ubicándolo en el tercer lugar con alrededor del 76%, estos datos son congruentes con los resultados obtenidos en el presente estudio.

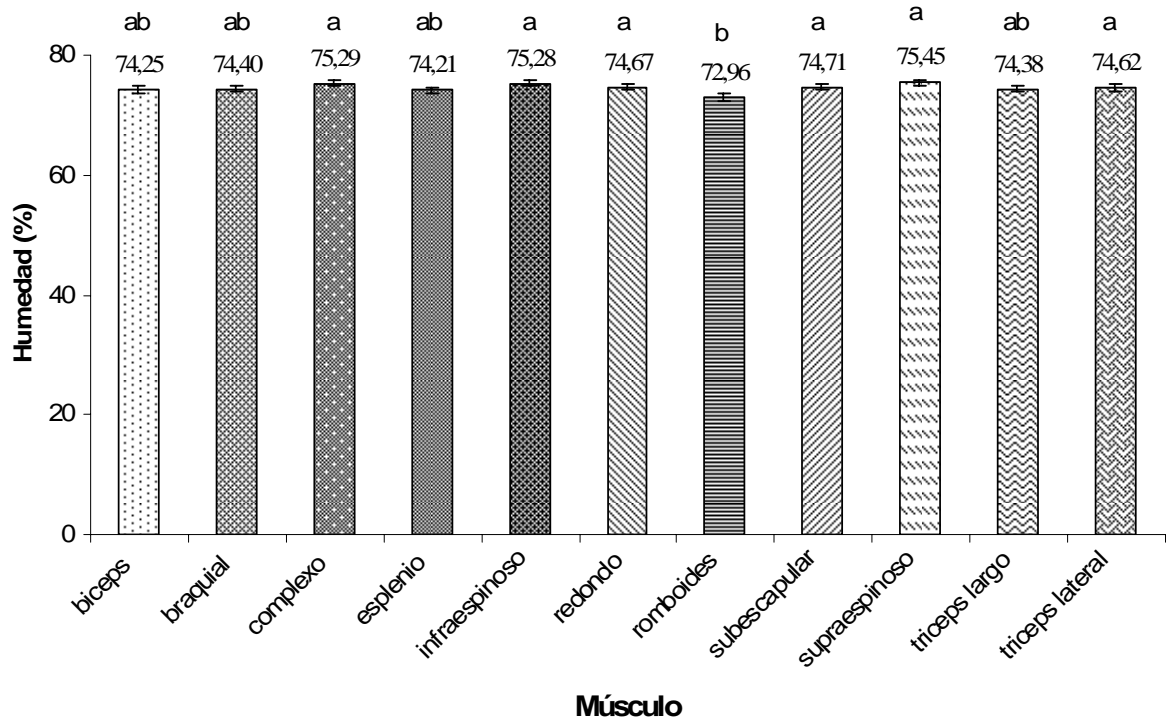


Figura 3. Medias de porcentaje de humedad de músculos en general. Columnas con letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

En la Figura 4 se muestran las medias de porcentaje de grasa de los músculos de todos los grupos genéticos en general. Como se esperaba, el romboides fue el que presentó mayor porcentaje de grasa intramuscular, sobresaliendo de todos los demás con 4.23%, esto se debe a los romboides de Bi que llegaron a obtener valores por arriba del 8%. En algunos estudios (Jeremiah *et al.*, 2003; Von Seggern *et al.*, 2005), se ha mencionado que el romboides puede estar en un rango de porcentaje de grasa entre 5 y 10%; también, se puede incluir en este rango a los músculos bíceps braquial, complejo, infraespinoso, redondo mayor y tríceps braquial; músculos como el braquial, esplenio, subescapular y

supraespinoso han presentado porcentajes de grasa menores al 5%. Estos resultados pueden ofrecer una perspectiva de los alcances que cada músculo posee en un escenario de productos con valor agregado, tomando en cuenta el porcentaje de grasa en este caso.

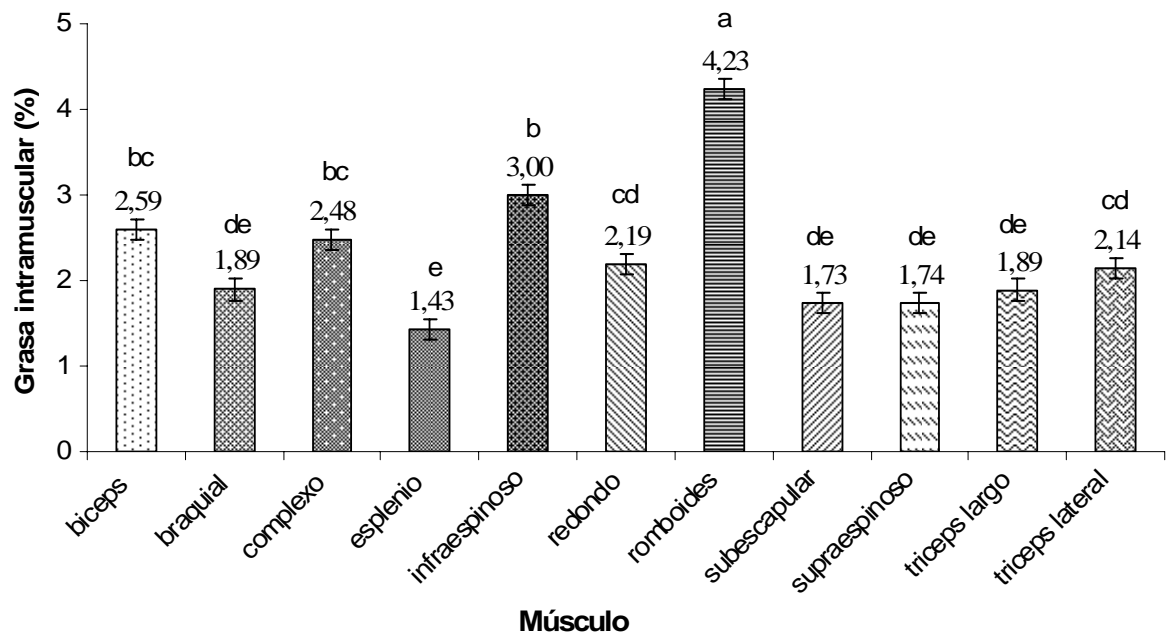


Figura 4. Medias de mínimos cuadrados de porcentaje de grasa en músculos en general. Columnas con letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

5.2 Fuerza de corte, pérdida por cocinado, porcentaje de humedad y grasa intramuscular de todos los músculos del cuarto delantero de bovino combinados por grupo genético

En el Cuadro 4, se observa que se presentaron diferencias significativas entre Bi y Bt en la prueba de fuerza de corte. Los músculos de Bi fueron menos suaves que los de Bt ($P < 0.05$). Varios autores ya han reportado las diferencias en fuerza de corte para Bt y Bi (McKeith *et al.*, 1985; Crouse, 1989; Wheeler, 1990b; Marshal, 1994; Shackelford, 1995; Wulf, 1996; Bidner *et al.*, 2002; Bonilha *et al.*, 2008), en algunos de estos estudios, se han encontrado valores más bajos para ambos grupos, desde 3.9 para Bt y 4.3 para Bi, sin embargo, en todos los estudios mencionados siempre se observa mayor suavidad en Bt que en Bi; lo anterior

podría ser explicado por la mayor actividad de las calpaínas en Bt que favorecen la proteólisis muscular y por la mayor actividad de las calpastatinas en Bi como lo reportan Wheeler *et al.* (1990).

Cuadro 4. Medias y error estándar de Fuerza de corte Warner Bratzler (WB), porcentaje de humedad y grasa de los tres grupos genéticos: *Bos indicus*, *Bos taurus* y Cruza Comercial.

Grupo	WB (kg)	Pérdida por cocinado (%)	Humedad (%)	Grasa (%)
<i>Bos indicus</i>	5.48 ^b ±0.05	36.28±0.22	73.94 ^a ±0,29	2.93 ^a ±0.10
<i>Bos taurus</i>	4.97 ^a ±0.06	34.32±0.26	74.75 ^b ±0,29	2.36 ^a ±0.10
Cruza Comercial*	5.97 ^c ±0.06	36.38±0.25	75.48 ^b ±0,29	1.55 ^b ±0.10

Medias con letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas (P<0.05).

*Las Cruzas comerciales no entran en el análisis comparativo de fuerza de corte por no haber recibido EE.

Como se mencionó anteriormente, las CC no entran en el análisis comparativo junto con Bi y Bt, debido a que no recibieron estimulación eléctrica como los dos últimos grupos. Sin embargo, se hace mención de los resultados obtenidos de este grupo en la Figura 5. En general, los músculos de CC obtuvieron una media de 5.97±0.06 kg (P<0.05), valor que entra en la categoría de músculos “duros” según Belew *et al.* (2003), sin embargo, los músculos infraespinoso y redondo obtuvieron una suavidad “intermedia” con un valor de 4.90±0.16 y 4.94±0.23 kg respectivamente. La escala propuesta por Belew *et al.* (2003) resulta estricta en el sentido de que las muestras que se analizaron en ese estudio recibieron un periodo de maduración de 14 días, además, no especifican qué tipo de ganado utilizaron; como se ha mencionado anteriormente, las cruza que se emplean en México son básicamente de ganado cebú o con alguna raza europea, no obstante, predomina el genotipo Bi; si consideramos que un animal que posea en su genotipo más del 25% de Bi (Wheeler *et al.*, 1990b) aumentará su dureza significativamente. A todo lo anterior se podría sumar el efecto negativo del clorhidrato de Zilpaterol sobre la suavidad de la carne, como lo mencionan Hilton *et al.* (2009). Es importante resaltar que al no haber suficientes datos sobre calidad de carne en ganado mexicano, resulta interesante conocer la suavidad que

se tiene en general de cruza comerciales, por lo menos en este caso del estado de Querétaro.

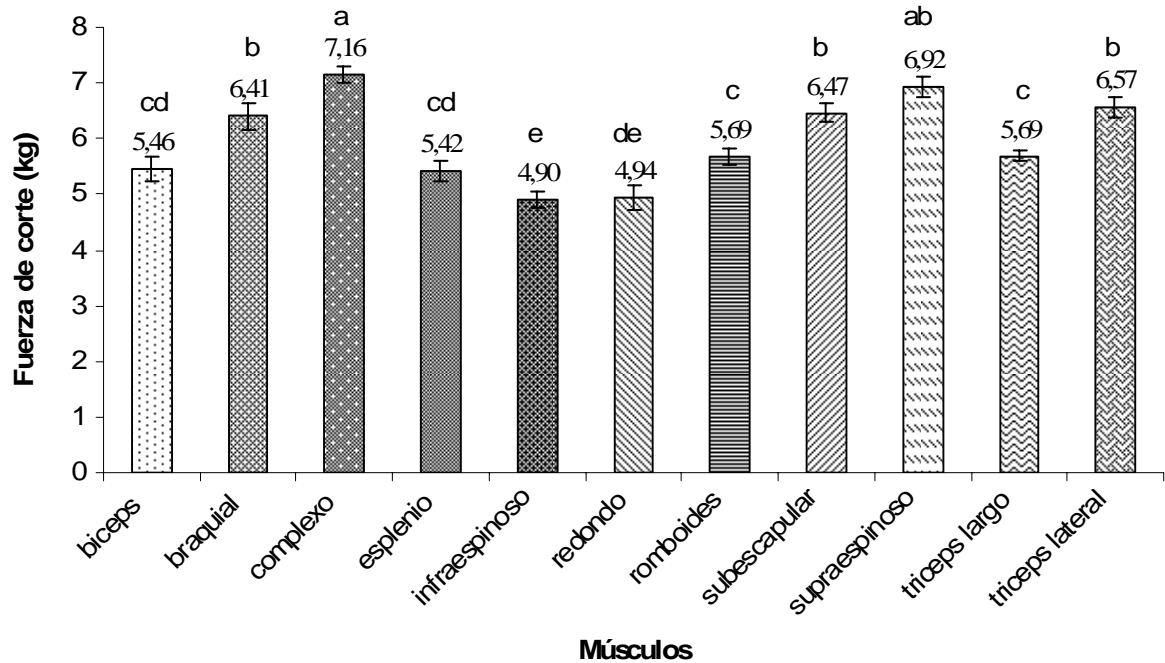


Figura 5. Medias de fuerza de corte de Cruza Comercial. Columnas con letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Con respecto a los resultados de la pérdida que los músculos tuvieron en su peso por la acción del cocinado (Cuadro 4), se presentan valores medios de todos los músculos combinados de cada grupo genético, se puede observar, que los músculos de los animales Bi (36.28%) y de las CC (36.37%) tuvieron similares pérdidas entre ellos y mayores a los músculos de los Bt (34.32%, $P < 0.05$). Estos resultados no coinciden con lo reportado por Johnson *et al.* (1988) quienes mencionan que no se presentaron diferencias en pérdida por cocinado en carne de animales de raza tipo europeo y tipo Brahman. Sin embargo, los resultados pueden revelar el efecto del método de congelación que recibieron cada grupo genético. Las muestras de Bt se les aplicó una congelación rápida por cuestiones logísticas de la empresa donde se recolectaron, no así las muestras de Bi y CC que sufrieron una congelación lenta. De acuerdo con Convington (2000), es

importante congelar rápido, ya que hacerlo de este modo provoca la formación de cristales de hielo pequeños, por el contrario, la congelación lenta genera la formación de cristales de hielo grandes, lo cual daña a las proteínas, resultando en una disminución de capacidad de retención de agua.

En el porcentaje de humedad en los músculos de cada grupo genético (Cuadro 4) se aprecia que los músculos de los animales Bt (74.75%) tuvieron similar porcentaje de humedad a los de las CC (75.45%) mostrando mayor porcentaje de humedad que Bi (73.05%, $P < 0.05$) Esto puede atribuirse a que los músculos romboides de Bi mostraron un alto porcentaje de grasa, alrededor del 8% con la consiguiente disminución del porcentaje de humedad general del grupo.

En el Cuadro 4 también se presenta el porcentaje de grasa intramuscular en los músculos de cada grupo genético, en donde se observa uno de los resultados más relevantes de esta investigación, los cuales presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$), siendo Bi (2.93 ± 0.10) el que mostró mayor porcentaje de grasa intramuscular, seguido de Bt (2.35 ± 0.10) y por último CC (1.60 ± 0.10). Esta diferencia tan notoria obedece a los valores sobresalientes observados en los romboides de Bi, los cuales obtuvieron 8.18 ± 0.12 , esto evidentemente afectó el resultado final; retirando el romboides en ambos grupos, no se observan diferencias significativas ($P < 0.05$) con respecto a Bi (2.41 ± 0.06) y Bt (2.35 ± 0.06). Por otro lado las CC obtuvieron el valor más bajo con 1.55%. Los resultados obtenidos para Bi coinciden parcialmente con los reportados por Delgado *et al.* (2005) para la carne mexicana, los cuales varían de 2.7 a 3.6% según la región del país, sin embargo, no menciona qué tipo de músculo se evaluó. Cabe señalar que dentro de los factores que influyen en la variación en el contenido de grasa intramuscular se encuentran la raza y el tipo de alimentación (Huffman *et al.*, 1990; May *et al.*, 1992; O'Connor *et al.*, 1997; Muir *et al.*, 1998). Sin embargo, en el presente estudio, la selección de animales se realizó directamente en los corrales de los rastros, de acuerdo con su fenotipo; no obstante, resulta importante

mencionar que al ser obtenidos los animales de distintas regiones del país, puede haber diferencias en cuanto al tipo de alimentación se refiere, esto es, el hecho de que Bt y Bi manifestaran porcentajes de grasa similares y CC obtuvieran el valor más bajo puede adjudicarse al nivel de energía empleado en la dieta y los días de engorda en cada lote. Por otro lado, es preciso señalar que los animales Bt que comprenden este estudio fueron machos enteros de razas tipo continentales, las cuales es bien conocido que no tienen buena infiltración de grasa en músculo como lo son las británicas. Si Bt y Bi muestran un porcentaje de grasa similar entre ellos puede sugerir que es posible estandarizar esta característica de calidad de la carne en el ganado producido en el país no importando que sean Bt o Bi. Block *et al.* (2001) mencionan que se puede manipular el manejo de la alimentación del ganado para ajustarlo a mercados específicos.

5.3. Fuerza de corte, pérdida por cocinado, porcentaje de humedad y grasa intramuscular de cada músculo en cada grupo genético

Bíceps braquial (*biceps brachii*)

Este músculo ha sido descrito como “fuerte”, lo cual se puede interpretar de acuerdo a su consistencia o grado de esfuerzo de su función, su estructura es de origen tendinoso y su función es flexionar la articulación del codo, a simple vista se observa gran cantidad de tejido conectivo, lo cual sugiere que puede presentar una suavidad intermedia a baja.

El Cuadro 5 muestra las medias y error estándar de las variables medidas en el bíceps braquial en los diferentes grupos genéticos. El bíceps braquial de los Bi tiene características de suavidad y pérdidas por cocinado similares a los de Bt ($P>0.05$). A pesar de que la grasa intramuscular fue idéntica entre los tres grupos genéticos, la humedad del bíceps braquial de los Bi fue menor que la de los Bi o CC ($P<0.05$).

Von Seggern *et al.* (2005) ubican a este músculo con valores de fuerza de corte menores a 3.8 kg pero no lo incluye en alguna clasificación, como lo hacen Calkins y Sullivan (2007), quienes informan que es un músculo de suavidad

intermedia con 3.98 kg. Belew *et al.* (2003) también le otorgan una clasificación de suavidad, la cual es “muy suave” con menos de 3.2 kg, muy cercano al 3.26 kg reportado por Jones *et al.* (2004). Cabe señalar que en estos estudios no indican qué tipo de ganado utilizaron, empero, si manifiestan un periodo de maduración de la carne de 14 días, sin embargo.

Aunque esta comprobado que existen diferencias en la suavidad de carne entre Bi y Bt, en este estudio no hubo diferencias significativas, esto se puede deber a la cantidad considerable de tejido conectivo que posee este músculo, lo cual puede interferir de manera importante en la medición de fuerza de corte. El porcentaje de humedad menor en Bi, tal vez se deba a que este tipo de animales presentaron mayor tejido conectivo y esto haya influido en la proporción de sus componentes, como el agua. La grasa intramuscular fue prácticamente idéntica en los tres grupos, esto puede deberse al nivel de energía que se empleó en la dieta y los días de engorda para llevarlos a un punto de finalización similar.

Cuadro 5. Medias y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo bíceps braquial.

Variable	<i>Bos indicus</i>	<i>Bos taurus</i>	Cruza Comercial
	Media±EE	Media±EE	Media±EE
Fuerza de corte, kg	5.08 ^a ±0,19	5.22 ^a ±0,22	5.46*±0,22
Pérdida cocinado, %	34.13 ^a ±0,83	32.92 ^b ±1,00	35.63 ^a ±1,00
Humedad, %	72.23 ^a ±0,92	75.36 ^b ±0,92	75.16 ^b ±0,92
Grasa intramuscular, %	2.78 ^a ±0,20	2.73 ^a ±0,20	2.26 ^a ±0,20

^{abc} Literales diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

* Sólo son datos descriptivos y no entran en la comparación de medias de *Bos taurus* y *Bos indicus*.

Braquial (*brachialis*)

Anteriormente se ha descrito al braquial como un músculo grueso y carnoso de la articulación del codo, esto demuestra una activa participación en la locomoción del miembro torácico, por lo tanto no se podría esperar una suavidad limitada de este músculo.

El Cuadro 6 muestra las medias y el error estándar para las variables evaluadas en el braquial de los diferentes orígenes genéticos. La fuerza de corte del braquial de Bi y Bt fue similar, a pesar de que los braquiales de los animales Bi presentaron un 5% más de pérdidas durante el cocinado que los Bt. La pérdida por cocinado que sufrió el braquial de las CC fue la más pequeña de los tres ($P<0.05$) y en comparación con Bi, hubo una diferencia de más de un 10%, esto pudo deberse a que el braquial de Bi fue más afectado por la congelación lenta, y por lo tanto haya disminuido su capacidad de retención de agua. Como se puede apreciar en el Cuadro 6, la grasa intramuscular en este músculo es escasa, alrededor del 2%.

Para músculos que han recibido un periodo de maduración, se han reportado valores de 3.8 a 4.8 kg para el braquial, de acuerdo con Von Seggern *et al.* (2005). Por otro lado, otros investigadores (Belew *et al.*, 2003; Calkins y Sullivan, 2007; Jones *et al.*, 2004) mencionan que es un músculo duro debido a que ellos reportan un valores desde 4.85 hasta 5.05 kg. A pesar de que en los estudios mencionados anteriormente se llevo a cabo un periodo de maduración de 14 días, el braquial no mostró una mejoría sobresaliente en su suavidad, por lo cual es considerado un músculo duro. Los resultados obtenidos en el presente estudio no mostraron diferencias significativas para Bi y Bt, mostrando que el efecto del grupo genético no influyó en el resultado.

Cuadro 6. Medias y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo braquial.

Variable	<i>Bos indicus</i> Media±EE	<i>Bos taurus</i> Media±EE	Cruza Comercial Media±EE
Fuerza de corte, kg	5.84 ^a ±0.21	5.88 ^a ±0.21	6.41*±0.24
Pérdida cocinado, %	40.08 ^a ±0.94	35.17 ^b ±0.94	29.83 ^c ±1.06
Humedad, %	74.81 ^a ±0.92	75.04 ^a ±0.92	73.36 ^a ±0.92
Grasa intramuscular, %	2.02 ^a ±0.20	2.01 ^a ±0.20	1.65 ^a ±0.20

^{abc} Literales diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($P<0.05$).

* Sólo son datos descriptivos y no entran en la comparación de medias de *Bos taurus* y *Bos indicus*.

Complejo

El Cuadro 7, muestra las medias y el error estándar para las variables medidas en el complejo, de los diferentes orígenes genéticos. Como se esperaba, este músculo presentó mayor suavidad en los Bt que en los Bi; también, los Bt fueron los que presentaron menor pérdida por cocción que Bi. Por otro lado, los Bi presentaron menor porcentaje de humedad, mientras los CC fueron los que obtuvieron el mayor porcentaje, si embargo, Bt fue similar con ambos grupos. Los CC obtuvieron menos porcentaje de grasa, mientras que Bi y Bt fueron similares; el grupo CC fue obtenido de diferentes productores, esto hace suponer que recibieron diferente alimentación con la consecuente diferencia en niveles de energía, lo cual pudo haberse manifestado en porcentajes de grasa menores a los obtenidos en Bi y Bt.

De acuerdo con Belew *et al.* (2003), el complejo alcanza una categoría de “suave” con valores de 3.2 a 3.9 kg, mientras que Calkins y Sullivan (2007) lo clasifican como de suavidad intermedia alcanzando casi los 4 kg; Jones *et al.* (2004) y Von Seggern *et al.* (2005) reportan valores de 3.8 a 4.8 kg, estos últimos datos son muy cercanos a los hallados en el complejo de Bt mexicanos de este estudio, con 4.83 kg, no así en animales Bi, los cuales superan los 6 kg. Aunque en estudios anteriores se han dejado 14 días de maduración, la carne de los Bt presentó valores similares a los obtenidos por Jones *et al.* (2004).

Jones *et al.*, reporta para el complejo un porcentaje de grasa de 8.3%, es evidente que es muy superior a la carne de bovinos mexicanos, los obtuvieron alrededor del 3%, esto es comprensible si consideramos que en los estudios mencionados se emplean machos castrados y los llevan a un peso final de más de 500 kg.

Cuadro 7. Medias y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo complejo.

Variable	<i>Bos indicus</i>	<i>Bos taurus</i>	Cruza Comercial
	Media±EE	Media±EE	Media±EE
Fuerza de corte, kg	6.39 ^a ±0,14	4.83 ^b ±0.17	7.16*±0.14
Pérdida cocinado, %	36.55 ^a ±0,65	34.29 ^b ±0.77	37.09 ^a ±0.62
Humedad, %	74.13 ^a ±0,92	74.93 ^{ab} ±0.92	76.79 ^b ±0.92
Grasa intramuscular, %	3.15 ^a ±0,20	3.02 ^a ±0.20	1.25 ^b ±0.20

^{abc} Literales diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

* Sólo son datos descriptivos y no entran en la comparación de medias de *Bos taurus* y *Bos indicus*.

Esplenio

En el Cuadro 8 se muestran las medias y el error estándar para las variables medidas en el esplenio, de los diferentes orígenes genéticos. Este músculo es totalmente carnoso con cantidades moderadas de tejido conectivo (Jones *et al.*, 2004) y cumple la función de elevar la cabeza y el cuello, esto parece indicar que los valores en fuerza de corte sean medios o altos, sin embargo, los Bt fueron más suaves que los Bi (P<0.05) mientras que en pérdida por cocinado, los Bt fueron diferentes significativamente a los Bi y las CC. En porcentaje de humedad Bi resultó ser similar a los otros grupos, aunque Bt y CC hayan mostrado diferencias entre sí. Los tres fueron similares en porcentaje de grasa obteniendo valores bajos menores al 2%.

El esplenio ha mostrado valores de fuerza de corte de 3.2 a 4.8 kg (Belew *et al.*, 2003; Jones *et al.*, 2004; Von Seggern *et al.*, 2005; Calkins y Sullivan 2007); así como porcentajes de grasa entre 5 y 10%; no obstante, Bt coincide con la fuerza de corte, no así Bi, que se muestra más duro que los datos reportados por otros autores; también manifiestan menos porcentaje de grasa que los mencionados anteriormente.

Cuadro 8. Medias de mínimos cuadrados y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo esplenio.

Variable	<i>Bos indicus</i>	<i>Bos taurus</i>	Cruza Comercial
	Media±EE	Media±EE	Media±EE
Fuerza de corte, kg	6.20 ^a ±0.13	4.34 ^b ±0.18	5.42*±0.19
Pérdida cocinado, %	37.29 ^a ±0.57	31.51 ^b ±0.80	36.10 ^a ±0.84
Humedad, %	74.25 ^{ab} ±0.92	72.48 ^a ±0.92	75.89 ^b ±0.92
Grasa intramuscular, %	1.72 ^a ±0.20	1.53 ^a ±0.20	1.04 ^a ±0.20

^{abc} Literales diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

* Sólo son datos descriptivos y no entran en la comparación de medias de *Bos taurus* y *Bos indicus*.

Infraespinoso (*infraspinatus*)

El infraespinoso es considerado como el segundo músculo más suave del bovino (Calkins y Sullivan, 2007). En el Cuadro 9, se observa que obtuvieron valores bajos; los infraespinosos de Bt fueron más suaves (P>0.05) que los Bi; también los Bt fueron los que obtuvieron menor pérdida por cocinado y las CC presentaron mayor pérdida y en porcentaje de grasa los CC fueron los más bajos. El porcentaje de grasa coincide con el porcentaje de humedad, ya que las CC fueron las que presentaron mayor porcentaje de humedad y menor porcentaje de grasa, mientras que Bt y Bi fueron similares en ambos análisis.

Según la clasificación de Belew *et al.* (2002) así como Calkins y Sullivan (2007) el Infraespinoso de Bt entraría en la categoría de músculos “suaves” y el del Bi en la de “intermedios”. De acuerdo con Von Seggern *et al.* (2005) los infraespinosos de los tres grupos genéticos quedan por debajo de los resultados obtenidos en sus investigaciones, debido a que ellos reportan un rango del 5 al 10% mientras que el valor más alto obtenido es este estudio fue de 3.44%.

Cuadro 9. Medias y error estándar para la Fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo infraespinoso.

Variable	<i>Bos indicus</i>	<i>Bos taurus</i>	Cruza Comercial
	Media±EE	Media±EE	Media±EE
Fuerza de corte, kg	4.20 ^a ±0.13	3.39 ^b ±0.15	4.90*±0.16
Pérdida cocinado, %	34.22 ^a ±0.59	29.36 ^b ±0.68	40.03 ^c ±0.73
Humedad, %	74.00 ^a ±0.92	75.09 ^{ab} ±0.92	76.73 ^b ±0.92
Grasa intramuscular, %	3.44 ^a ±0.20	3.42 ^a ±0.20	2.15 ^b ±0.20

^{abc} Literales diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

* Sólo son datos descriptivos y no entran en la comparación de medias de *Bos taurus* y *Bos indicus*.

De acuerdo a este estudio, se confirma que el infraespinoso es un músculo suave que puede tener gran potencial como músculo individual con valor agregado, sin embargo, este músculo contiene una gran porción interna de tejido conectivo, la cual debe ser retirada antes de obtener los cortes.(Von Seggern *et al.*,2005)

Redondo mayor (*teres major*)

El Cuadro 10 se puede observar que los resultados revelan que fueron prácticamente idénticos los Bi y Bt en fuerza de corte y pérdida por cocción; sin embargo, los tres grupos fueron similares en porcentaje de grasa, a pesar de esto, Bi fue diferente a Bt y CC en porcentaje de humedad por poco más de 2%.

Los Bt apenas rebasan el límite máximo (4.8 kg) del rango de fuerza de corte y los tres grupos presentan menos de 5% de porcentaje de grasa, contrario a lo reportado por Von Seggern *et al.* (2005). Por otro lado, Calkins y Sullivan (2007) mencionan que este músculo ya es comercializado en Estados Unidos como producto de valor agregado, al cual lo han promocionado como “petit tender”; cabe señalar que el redondo mayor ha sido clasificado por algunos autores (Belew *et al.*, 2003; Jones *et al.*, 2004; Von Seggern *et al.*, 2005; Calkins y Sullivan, 2007) como uno de los músculos que presentan mayor suavidad no solo del cuarto delantero sino de toda la canal, es cierto que los valores hallados en este estudio son mayores a lo reportado por los autores previamente mencionados, sin

embargo, el periodo de maduración empleado en dichas investigaciones puede ser gran influencia en la suavidad de la carne, resultaría interesante contemplar este músculo en futuras investigaciones con periodos de maduración, ya que junto con el infraespinoso y subescapular de Bt, fue uno de los tres músculos más suaves de los 11 evaluados en esta investigación.

Cuadro 10. Medias y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo redondo mayor.

Variable	<i>Bos indicus</i>	<i>Bos taurus</i>	Cruza Comercial
	<i>Media±EE</i>	<i>Media±EE</i>	<i>Media±EE</i>
Fuerza de corte, kg	5.09 ^a ±0.21	4.86 ^a ±0.21	4.94*±0.23
Pérdida cocinado, %	39.13 ^a ±0.95	37.54 ^a ±0.95	30.97 ^b ±1.05
Humedad, %	73.31 ^a ±0.92	75.01 ^b ±0.92	75.69 ^b ±0.92
Grasa intramuscular, %	2.61 ^a ±0.20	2.23 ^a ±0.20	1.71 ^a ±0.20

^{abc} Literales diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

* Sólo son datos descriptivos y no entran en la comparación de medias de *Bos taurus* y *Bos indicus*.

Romboides o Romboideo (*rhomboideus*)

Como se ha mencionado anteriormente, este músculo contribuye de manera destacada a la formación de la joroba característica del cebú y de los animales resultantes del cruce con esta especie, aunque esta estructura anatómica varía considerablemente en tamaño, en posición (cervicotorácica o torácica) e, incluso, en estructura en los animales de distintas razas y variedades; en algunos, la joroba está formada esencialmente por tejido muscular resultante del gran desarrollo muscular del romboides, pero en otros está formada mayoritariamente por una gran masa de tejido adiposo, lo cual advierte que pueden encontrarse valores sumamente diferentes en los análisis llevados a cabo en este estudio.

En el Cuadro 11 se muestran las medias y el error estándar para las variables medidas en el romboides de los diferentes orígenes genéticos. Bt y CC fueron muy similares en pérdida por cocinado, porcentaje de grasa y humedad, lo que realmente destaca son los valores obtenidos por los Bi, los cuales fueron más

suaves que Bt, y un extraordinario 8,18% de grasa intramuscular y coincidiendo con este último, menor porcentaje de humedad. De acuerdo con Dyce (1995) el romboide puede ser compuesto principalmente por tejido adiposo, lo cual es evidenciado en los resultados, y posiblemente esto es lo que le confiere mayor suavidad que Bt y CC. El Romboide fue el único músculo cuyo comportamiento fue contrario al de los demás, es decir el de los animales Bt es más duro que el de los Bi ($P < 0.05$), 5.92 ± 0.17 kg vs 5.05 ± 0.13 kg, respectivamente. Este resultado puede explicarse debido al porcentaje de grasa tan elevado que el Romboide de Bi tiene en relación al del Bt (Cuadro 12), lo cual pudo haber disminuido la fuerza de corte de manera significativa, ya que un gran porcentaje de grasa disminuye significativamente la fuerza de corte porque no hay resistencia de las fibras musculares.

Belew *et al.* (2003) mencionan que el romboide tiene una fuerza de corte de 3.2 a 3.9 kg, sin embargo, Von Seggern *et al.* (2005) y Calkins y Sullivan (2007) concluyen que posee un valor mayor a 4.8 kg alcanzando los 5.12 kg, lo cual coincide con los resultados hallados en este estudio con 5.05 y 5.92 para Bi y Bt respectivamente. Estos últimos resultados muestran diferencias significativas, siendo Bi más suave que Bt, lo cual puede encontrar explicación al elevado porcentaje de grasa de Bi, lo cual influyó de manera importante en el análisis de fuerza de corte. Los romboides de Bi, coinciden con lo descrito por Von Seggern *et al.* (2005), quienes reportan un rango de porcentaje de grasa para este músculo de 5 a 10%, no obstante, los Bt y las CC quedan muy por debajo de estos valores.

Cuadro 11. Medias de mínimos cuadrados y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo romboides.

Variable	<i>Bos indicus</i>	<i>Bos taurus</i>	Cruza Comercial
	Media±EE	Media±EE	Media±EE
Fuerza de corte, kg	5.05 ^a ±0.13	5.92 ^b ±0.17	5.69*±0.15
Pérdida cocinado, %	33.97 ^a ±0.59	36.25 ^b ±0.78	38.28 ^b ±0.69
Humedad, %	69.08 ^a ±0.92	74.70 ^b ±0.92	75.09 ^b ±0.92
Grasa intramuscular, %	8.18 ^a ±0.12	2.42 ^b ±0.12	2.14 ^b ±0.12

^{abc} Literales diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

* Sólo son datos descriptivos y no entran en la comparación de medias de *Bos taurus* y *Bos indicus*.

Subescapular (*subscapularis*)

El subescapular es un músculo que posee numerosas infiltraciones tendinosas y tiene como la aducción y extensión de la articulación del hombro y, a veces, como flexor, por lo tanto, se esperaría que presentara valores altos en fuerza de corte, sin embargo, Jones *et al.* (2004) y Calkins y Sullivan (2007) lo clasifican como suave con un valor de 3.40 a 3.76 kg de fuerza de corte; esto no coincide con los resultados mostrados en el Cuadro 12, aunque los Bt fueron más suaves que los Bi, los primeros son considerados “intermedios” en su suavidad según la clasificación de de Belew *et al.* (2003) y Calkins y Sullivan (2007). Por otro lado, los Bt presentaron menor pérdida por cocinado que los otros 2 grupos. Curiosamente, los tres grupos fueron similares en porcentaje de humedad, sin embargo, en porcentaje de grasa los Bi y las CC fueron diferentes uno de otro. El porcentaje de grasa (<5%) descrito por Von Seggern *et al.* (2005) coincide con los reportados en los tres grupos.

Cuadro 12. Medias y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo subescapular.

Variable	<i>Bos indicus</i>	<i>Bos taurus</i>	Cruza Comercial
	Media±EE	Media±EE	Media±EE
Fuerza de corte, kg	5.18 ^a ±0.17	4.31 ^b ±0.22	6.47*±0.17
Pérdida cocinado, %	36.62 ^a ±0.77	30.48 ^b ±0.97	36.90 ^a ±0.77
Humedad, %	73.77 ^a ±0.92	74.98 ^a ±0.92	75.37 ^a ±0.92
Grasa intramuscular, %	2.26 ^a ±0.20	1.82 ^{ab} ±0.20	1.10 ^b ±0.20

^{abc} Literales diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

* Sólo son datos descriptivos y no entran en la comparación de medias de *Bos taurus* y *Bos indicus*.

Supraespinoso (*supraspinatus*)

En el Cuadro 13 se puede observar que si bien no presentaron diferencias en porcentaje de grasa y humedad, no fue así en fuerza de corte, donde los Bt fueron más suaves que Bi, mismos que presentaron menor pérdida por cocinado, seguido por Bt y el de mayor pérdida fueron las CC. Los tres grupos no fueron diferentes en porcentaje de humedad y grasa.

Este músculo es clasificado por Belew *et al.* (2003) como de suavidad “intermedia” con un rango que oscila entre los 3.9 y 4.6 kg de fuerza de corte; otros autores (Jones *et al.*, 2004; Calkins y Sullivan, 2007) lo clasifican como duro en este estudio. Los Bt presentaron el valor más bajo con 4.93 kg, el cual es superior al reportado por Belew *et al.* sin embargo, los Bt coinciden con lo descrito por Jones *et al.* (2004) Von Seggern *et al.* (2005) quienes mencionan que es un músculo que presenta valores superiores a 4.8 kg alcanzando valores cercanas a los 5.2 kg. Por otro lado, Von Seggern *et al.* (2005) también mencionan que el porcentaje de grasa es menor a 5%, lo cual coincide con los datos obtenidos en este estudio.

Cuadro 13. Medias y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo supraespinoso.

Variable	<i>Bos indicus</i>	<i>Bos taurus</i>	Cruza Comercial
	Media±EE	Media±EE	Media±EE
Fuerza de corte, kg	5.48 ^a ±0.15	4.93 ^b ±0.16	6.92*±0.19
Pérdida cocinado, %	34.39 ^a ±0.65	36.91 ^b ±0.72	44.77 ^c ±0.84
Humedad, %	75.13 ^a ±0.92	75.74 ^a ±0.92	75.49 ^a ±0.92
Grasa intramuscular, %	1.92 ^a ±0.20	2.05 ^a ±0.20	1.25 ^a ±0.20

^{abc} Literales diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

* Sólo son datos descriptivos y no entran en la comparación de medias de *Bos taurus* y *Bos indicus*.

Tríceps braquial (*triceps brachii*)

Es un músculo muy grande, que ocupa gran parte del miembro torácico, y posee tres cabezas. Por ser un músculo de grandes proporciones, se analizaron las cabezas grande y lateral por separado, la medial quedó excluida por ser la parte más pequeña del músculo. Evidentemente, es un músculo que tiene una función fundamental para el miembro torácico, lo cual puede sugerir que se trata de un músculo de suavidad intermedia a baja. En los Cuadros 14 y 15 se muestran las medias y el error estándar para las variables medidas en el tríceps braquial cabeza grande y lateral respectivamente. Con respecto al tríceps cabeza larga, a pesar de que fueron similares en porcentaje de grasa y humedad, en fuerza de corte resultó ser más suave Bt que Bi, mientras que CC presentó mayor pérdida por cocinado que los Bt y los Bi, con alrededor del 37.5%.

Cuadro 14. Medias y error estándar para la fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo tríceps braquial cabeza larga.

Variable	<i>Bos indicus</i>	<i>Bos taurus</i>	Cruza Comercial
	Media±EE	Media±EE	Media±EE
Fuerza de corte, kg	5.52 ^a ±0.11	5.14 ^b ±0.14	5.69*±0.10
Pérdida cocinado, %	34.95 ^a ±0.49	35.56 ^a ±0.62	37.29 ^b ±0.46
Humedad, %	73.99 ^a ±0.92	74.66 ^a ±0.92	74.48 ^a ±0.92
Grasa intramuscular, %	2.03 ^a ±0.20	2.34 ^a ±0.20	1.30 ^a ±0.20

^{ab} Literales diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

* Sólo son datos descriptivos y no entran en la comparación de medias de *Bos taurus* y *Bos indicus*.

Algunos estudios (Belew *et al.*, 2003; Jones *et al.*, 2004; Nelson *et al.*, 2004; Von Seggern *et al.*, 2005; Calkins y Sullivan, 2007) han mostrado un amplio rango de fuerza de corte del tríceps braquial (3.2 a 4.8 kg), no obstante los valores mostrados por Bt y Bi en tríceps braquial cabeza larga y lateral son superiores a este rango. Cabe mencionar que en músculos del cuarto trasero de bovinos mexicanos, se han obtenido valores alrededor de 6.24 kg (Rubio *et al.*, 2007), lo cual puede aportar un parámetro de comparación con respecto a otros músculos de la canal que participan también ampliamente en la locomoción; además en ese estudio se evaluaron músculos sin periodos de maduración.

Por otro lado, el porcentaje de grasa de los tres grupos resultó muy por debajo del rango reportado por Von Seggern *et al.* (2005) que oscila entre 5 y 10%. Como se ha visto en el tríceps braquial, el porcentaje de grasa es inferior al reportado por otros autores; sin embargo, hay que recordar que los animales se sacrifican a pesos menores que en otros países como Estados Unidos, lo cual conlleva a un menor depósito de grasa intramuscular*.

En los análisis de fuerza de corte (WB), porcentaje de humedad y grasa, no se presentaron diferencias significativas para el tríceps cabeza lateral. Por otro lado, el grupo cruce comercial presentó menor pérdida por cocinado (Cuadro 15).

Cuadro 15. Medias de mínimos cuadrados y error estándar para la Fuerza de corte (Warner-Bratzler), pérdida por cocinado, grasa y humedad del músculo tríceps braquial cabeza lateral.

Variable	<i>Bos indicus</i>	<i>Bos taurus</i>	Cruza Comercial
	Media±EE	Media±EE	Media±EE
Fuerza de corte, kg	6.30 ^a ±0.17	5.80 ^a ±0.25	6.57*±0.18
Pérdida cocinado, %	37.74 ^a ±0.79	37.56 ^a ±1.10	33.23 ^b ±0.81
Humedad, %	73.73 ^a ±0.92	74.26 ^a ±0.92	75.86 ^a ±0.92
Grasa intramuscular, %	2.24 ^a ±0.20	2.39 ^a ±0.20	1.77 ^a ±0.20

^{ab} Literales diferentes en la misma fila indican diferencias significativas (P<0.05).

* Sólo son datos descriptivos y no entran en la comparación de medias de *Bos taurus* y *Bos indicus*.

*Comunicación personal: Ph.D. Pedro Garcés Yépez. Profesor de asignatura "A". Departamento de Fisiología. FMVZ-UNAM. Octubre 15, 2007.

Aunque Bt presentó ligeramente mayor suavidad que Bi, no hubo diferencias significativas en el tríceps cabeza lateral, sin embargo, ambos grupos mostraron valores altos. Podría explicarse la dureza de este músculo a la función que realiza en el animal como parte fundamental en la locomoción.

Se han realizado investigaciones en caracterización de músculos individuales en carne de bovino (Von Seggern *et al.*, 2005) en otros países; sin embargo, no necesariamente puede ser aplicable a otros como México, por lo cual también se ha comenzado con este tipo de estudios en nuestro país (Rubio, Méndez y Huerta-Leidenz, 2007). Huerta-Montauti *et al.* (2007) han realizado estudios sobre nuevos músculos que puedan comercializarse como arrachera o fajitas (producto que goza gran demanda en restaurantes mexicanos en Estados Unidos) encontrando resultados alentadores; esto puede servir como motivación para continuar con este tipo de estudios. Sumándonos a esta tendencia se presenta esta investigación arrojando resultados significativos y otros que eran de esperarse, como es el caso de los Bt que mostraron mayor suavidad que los Bi; las CC presentaron menor porcentaje de grasa en general, sin embargo, hay que recordar que son la principal fuente de abasto al mercado nacional, lo que hace necesario pensar en incluir este tipo de ganado en otros estudios donde se evalúe características de calidad de acuerdo a cada tipo de mercado la cual van dirigidas las canales, recibiendo los mismo tratamientos y poder identificar con más precisión sus propiedades. Otro resultado que se observó en el presente estudio, es la suavidad confirmada del infraespinoso, músculo que podría ser ya comercializado individualmente por las propiedades que ofrece sobresaliendo su suavidad; otro caso interesante es el romboides de animales Bi, el cual ha demostrado poseer alto contenido de grasa intramuscular, es bien conocido que esta propiedad es determinante en la calidad de carne, por supuesto el enfoque comercial tendría que estudiarse más a fondo. Estos dos músculos que sobresalieron por su suavidad y contenido de grasa intramuscular respectivamente de los demás que participaron en este estudio, además de que por su localización anatómica no modifican sustancialmente las piezas de la canal ya tradicionales,

podrían ser susceptibles de adjudicarles una “identidad” en el mercado para que comiencen a ser reconocidos por sus características de calidad y puedan ser considerados como productos con valor agregado.

6. CONCLUSIONES

Como era de esperarse, los músculos de animales con predominancia fenotípica de *Bos taurus* fueron más suaves que los de *Bos indicus*. El infraespinoso fue el músculo más suave de todos los del cuarto delantero de la res. El infraespinoso de Bt y Bi y el romboides de Bi sobresalieron por su suavidad y porcentaje de grasa respectivamente, lo cual podría servir como antecedentes para futuras investigaciones sobre productos con valor agregado en ganado mexicano.

Es importante continuar con estas investigaciones, sobre todo en Cruzas comerciales, debido a que son el tipo de animal más predominante para el abasto del mercado nacional y es necesario contar con información útil que pueda definir con más precisión el tipo de producto que consume la mayor parte de la población del país.

7. REFERENCIAS

- AMEG. (2008). Asociación Mexicana de Engordadores de Ganado Bovino A.C. Disponible en: (<http://www.ameg.org.mx>)
- AMSA. (1995). Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. American Meat Science, Association & National Livestock and Meat Board. Chicago, USA.
- AOAC. (1990). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th edition. (K Helrick Ed.) Arlington, USA. p.1230.
- Ávila GE, Shimada SA, Llamas G. (1990). Anabólicos y aditivos en la producción pecuaria. Sistema de educación continua en producción animal en México, A.C. México. pp. 151-152.
- Belew JB, Brooks JC, McKenna DR, Savell JW. (2003). Warner Bratzler shear evaluation of 40 bovine muscles. *Meat Science*, 64: 507-512.
- Bidner TD, Wyatt WE, Humes PE, Franke DE, and Blouin DC. (2002). Influence of Brahman-derivative breeds and Angus on carcass traits, physical composition, and palatability. *Journal of Animal Science*, 80: 2126-2133.
- Block HC, McKinnon JJ, Mustafa AF, and Christensen DA. (2001). Manipulation of cattle growth to target carcass quality. *Journal of Animal Science*, 79: 133-140.
- Boleman SJ, Miller RK, Buyck MJ, Cross HR, Savell JW. (2006). Influence of retroalimentation of mature cows on maturity, color, collagen, slubility, and sensory characteristics. *Journal of Animal Science*, 74: 2187-2194.
- Bonilha SFM, Tedeschi LO, Packer IU, Razook AG, Alleoni GF, Nardon RF, and Resende FD. (2008). Evaluation of carcass characteristics of *Bos indicus* and tropically adapted *Bos taurus* breeds selected for post-weaning weight. Published Online First on April 11, as doi:10.2527/ *Journal of Animal Science*, 2007-0507.
- Bratcher CL, Johnson DD, Littell RC, Gwartney BL. (2005). The effects of quality grade, aging, and location within muscle on Warner–Bratzler shear force in beef muscles of locomotion. *Meat Science*, 70: 279–284.
- Bratzler LJ. (1949). Determining the tenderness of meat by use of the Warner-Bratzler method. Proceedings of the 2nd Reciprocal Meat Conference of the American Meat Science Association. American Meat Science Association, Chicago. p. 117-121.

Calkins CR, & Sullivan G (2007). Ranking of beef muscles for tenderness. NCBA, <www.beefresearch.org>.

Carmack CF, Kastner CL, Dikeman ME, Schwenke JR, García Zepeda CM. (1995). Sensory evaluation of beef-flavor-intensity, tenderness, and juiciness among major muscles. *Meat Science*, 39:143-147.

Consejo Mexicano de la Carne. Compendio estadístico (2008). Disponible en: www.comecarne.org.

Covington B. (2000). Freezing and Thawing Meat. Meat Science Section Department of Animal Science. Texas A&M University. Disponible en: <http://meat.tamu.edu/topics/topics.html>.

Crouse, JD, Cundiff LV, Koch RM, Koohmaraire M and Seideman SC. (1989). Comparison of *Bos indicus* and *Bos taurus* inheritance for carcass beef characteristic and mean palatality. *Journal of Animal Science*, 67: 2661-2668.
Cundiff LV. (1992). Genetic selections to improve fine quality and composition of beef carcasses. *Proc. Recip. Meat Conf.* 46:45.

Davis GW, Cole AB, Backus WR, and Melton SL. (1981). Effect of Electrical Stimulation on Carcass Quality and Meat Palatability of Beef from Forage- and Grain-Finished Steers. *Journal of Animal Science*, 53: 651-657.

Delgado EJ. (2004). Calidad y nivel de residuos de β .agonistas adrenérgicos en carne de bovino nacional e importada en México (tesis de maestría). D.F., México. Universidad Nacional Autónoma de México.

Delgado EJ, Rubio MS, Iturbe FA, Méndez RD, Cassís L, Rosiles R. (2005). Composition and quality of Mexican and imported retail beef in Mexico. *Meat Science*, 69 465-471.

Destefanis G, Brugiapaglia A, Barge MT, Dal Molin E. (2008). Relationship between beef consumer tenderness perception and Warner–Bratzler shear force, *Meat Science* 78 153–156.

Dikeman ME. (1987). Fat reductions in animals and the effects on palatability and consumer acceptance of meal products. *Reciprocal Meat Conference*. 40: 93-103.

Dikeman ME. (2007). Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. *Meat Science*, 77: 121–135.

Dunshea FR, D'Souza DN, Pethick DW, Harper GS, Warner RD. (2005). Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat Science*, 71: 8–38.

Dyce KM, Sack WO. Wensing. *Anatomía Veterinaria*. Mcgraw-Hill Interamericana, México, D.F. 1997.

Gallardo NJL, García BCM, Albarrán DM, Leiner MA, Ochoa BR, Ortega RC. (2002). Situación actual de la producción de carne de bovino en México. *Claridades Agropecuarias*, 109: 3-32.

Gasque GR, Blanco OM. *Sistema de Producción Animal I: Bovinos. Volumen 1*. División del Sistema Universidad Abierta y Educación a Distancia. FMVZ UNAM. Ciudad Universitaria. México, D.F. 2001.

Getty R, Grossman JD, Sisson S. *Anatomía de los animales domésticos*. Tomo I. 2ª ed. Salvar, 1982.

Gregory NG, Ganding T. (1998). *Animal welfare and meat science*. CAB International. Wallingford, p. 298.

Gruber SL, Tatum JD, Scanga JA, Chapman PL,† Smith GC, and Belk KE. (2006). Effects of postmortem aging and USDA quality grade on Warner-Bratzler shear force values of seventeen individual beef muscles. *Journal of Animal Science*, 84:3387–3396.

Hernández AMI, Posadas ME*, Ochoa GP, Gabilondo DO, Peña BSD. (2004). Comportamiento productivo de becerros cruza Simmental x Brahaman, del nacimiento al destete en el trópico húmedo. *Memorias del XXVIII Congreso Nacional de Buiatría*. AMMVEB. Morelia Michoacán, México. Congreso Nacional de Buiatría; México (DF): Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios Especialistas en Bovinos, AC. Disponible en: http://ammveb.net/XXVIII%20CNB/memorias/tips_comunicaciones_cortas/tyco_mccort05.doc.

Hildrum KI, Rødbotten R, Høy M, Berg J, Narum B, Wold JP. (2009). Classification of different bovine muscles according to sensory characteristics and Warner Bratzler shear force. *Meat Science*, 83: 302–307.

Hilton GG, Montgomery JL, Krehbiel CR, Yates DA, Hutcheson JP, Nichols WT, Streeter MN, Blanton JR, Miller MF. (2009). Effects of feeding zilpaterol hydrochloride with and without monensin and tylosin on carcass cutability and meat palatability of beef steers. *Journal of Animal Science*, 87:1394-1406.

Hocquette JF, Ortigues-Marty I, Pethick D, Herpin P and Fernández X. (1998). Nutritional and hormonal regulation of energy metabolism in skeletal muscles of meat-producing animals. *Livestock Production Science* 56: pp 115.

Huffman RD, Williams SE, Hargrove DD, Johnson DD, Marshall TT. (1990). Effects of percentage Brahman and Angus breeding, age season of feeding and slaughterend point on feedlot performance and carcass characteristics. *Journal of Animal Science*, 68: 2243-2252.

Jeremiah LE, Dugan MER, Aalhus JL, Gibson LL. (2003). Assessment of the chemical and cooking properties of the major beef muscles and muscle groups. *Meat Science*, 65: 985–992.

Jerez TN y Huerta LN. (2009). Effects of breed type and supplementation during grazing on carcass traits and meat quality of bulls fattened on improved savannah. *Livestock Science*, 121: 219–226.

Johnson DD, Lunt DK, Savell JW and Smith GC. (1988). Factors affecting carcass characteristics and palatability of young bulls. *Journal of Animal Science*, 66: 2568-2577.

Jones S, Calkins C, Carpenter B, Minary R, Brewster R, Whiting K, Sherrill J. (2004). Bovine miology. University of Nebraska, Lincoln. Institute of Agriculture and Natural Resources. Animal Science Department. Disponible en: <http://bovine.unl.edu/spa/muscd.jsp>.

Judge MD, Aberle ED, Forrest JC, Hedrick HB y Merkel RA. (1988). Growth and Development of Carcass Tissues. IN: Principles of Meat Science.. Ed. Kendall-Hunt Publishing, Cp. Dubuque, Iowa.

Knoblich HV, Fluharty FL and Loerch SC. (1997). Effects of programmed gain strategies on performance and carcass characteristics of steers. *Journal of Animal Science*, 75:3094-3102.

Kukowski, AC, Maddock, RJ, & Wulf, DM (2004). Evaluating consumer acceptability of various muscles from the beef chuck and rib. *Journal of Animal Science*, 82, 521–525.

Kukowski AC, Maddock RJ, Wulf DM, Fausti SW, Taylor GI. (2005). Evaluating consumer acceptability and willingness to pay for various beef chuck muscles. *Journal of Animal Science*, 83: 2605-2610.

Koohmaraie M, Whipple G, Kretchman DH, Crouse JD and Mersmann HR. (1991). Postmortem proteolysis in longissimus muscle from beef, lamb and pork carcass. *Journal of Animal Science*, 69: 617.

Koohmaraie M. (1992). Role of the neutral proteinases in postmortem muscle protein degradation and tenderness. Reciprocal Meat Conference. 45:63.

Leheska JM, Montgomery JL, Krehbiel CR, Yates DA, Hutcheson JP, Nichols WT, M. Streeter M, Blanton JR and Miller MF. Dietary zilpaterol hydrochloride. II. Carcass composition and meat palatability of beef cattle. Journal of Animal Science 87:138,4-1393.

López V y Casp VA. (2004). Colección Tecnología de Alimentos. Tecnología de Mataderos. España. Ediciones Mundi Prensa. PP 177 – 179.

Maltin C, Balcerzak D, Tilley R, Delday M. (2003). Determinants of meat quality: tenderness. Proceedings of the Nutrition Society, 62: 337–347.

May SG, Dolezal HG, Gill DR, Ray FK, Buchanan DG. (1992). Effects of days feed, carcass grade traits and subcutaneous fat removal on post mortem muscle characteristics and beef palatability. Journal of Animal Science, 70: 444-453.

Marshall DM. (1994). Breed differences and genetic parameters for body composition traits in beef cattle. Journal of Animal Science, 72:2745-2755.

McCormick WC. and Southwell BL. A. (1957) Comparison of Brahman crossbred with british crossbred cattle. Journal of Animal Science, 16:207-216.

McKeith FK, Savell JW, Smith GC, Dutsont TR & Carpenter ZL. (1985). Tenderness of major muscles from three breed-types of cattle at different times-on-feed. Meat Science, 13: 151-166.

Mckenna D. (2002). Meat Tenderness. Department of Animal Science, Meat Science Section, Texas A&M University College Station, Texas 77843-2471. Disponible en: <http://meat.tamu.edu/topics/topics.html>.

McKenna D. (2000). Warner-Bratzler Shear Force Measurement. Department of Animal Science, Meat Science Section, Texas A&M University College Station, Texas 77843-2471. Disponible en: <http://meat.tamu.edu/topics/topics.html>.

Mersmann HJ. (1998). Overview of the effects of beta-adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action. Journal of Animal Science, 76:160-172.

Miller RK, Cross HR, Crouse JD, Tatum JD. (1987). The influence of diet and time on feed on carcass trait and quality. *Meat Science*, 19(4): 303-313.

Molina ME, Johnson DD, West RL, Gwartney BL. (2005). Enhancing palatability traits in beef chuck muscles. *Meat Science*, 71 52–61.

Montgomery JL, Krehbiel CR, Cranston JJ, Yates DA, Hutcheson JP, Nichols WT, Streeter MN, Bechtol DT, Johnson E, TerHune T, and Montgomery TH. (2009). Dietary zilpaterol hydrochloride. I. Feedlot performance and carcass traits of steers and heifers. *Journal of Animal Science*, 87:1374-1383.

Muir PD, Deaker JM. Bown MD. (1998). Effects of forage- and grain-based feeding systems on beef quality: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 41: 623-635.

Nelson JL, Dolezal HG†, Ray FK, Morgan JB. (2004). Characterization of Certified Angus Beef steaks from the round, loin, and chuck. *Journal of Animal Science*, 82:1437–1444.

O'Connor SF, Tatum JD, Wulf DM, Green RD, Smith GC. (1997). Genetic effects on beef tenderness in *Bos indicus* composite and *Bos taurus* cattle. *Journal of Animal Science*, 75: 1822-1830.

Peluffo FM y Monteiro RM. (2002). Terneza: una característica a tener en cuenta. Instituto Plan Agropecuario, Uruguay. Disponible en: www.produccion-animal.com.ar.

Procuraduría Federal del Consumidor (2009). Disponible en: <http://www.profeco.gob.mx/precios>.

Rhee MS, Wheeler TL, Shackelford SD, and Koohmaraie M. (2004). Variation in palatability and biochemical traits within and among eleven beef muscles^{1,2,3,4}. *Journal of Animal Science*, 82:534–550.

Rubio L MS, Méndez M RD, Huerta-Leidenz N. (2007). Characterization of beef semimembranosus and adductor muscles from US and Mexican origin. *Meat Science*, 76 438–443.

Sanz EC. Enciclopedia de la carne. Espasa-Caipe, SA. Madrid. 1948. PP. 499. Sánchez RG, Gómez R, Ávalos L, Iruegas L, Roseta D. (1999). Oportunidades de desarrollo en la industria de la carne de bovino en México. *FIRA Boletín Informativo México* 32(312): 5-119.

Searls GA, Maddock RJ, Wulf DM. (2005). Intramuscular tenderness variation within four muscles of the beef chuck. *Journal of Animal Science*, 83:2835-2842.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, 2009. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: (<http://www.siap.gob.mx>)

Secretaría de Economía, (2009). Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. Disponible en: (<http://www.economia-sniim.gob.mx>)

Secretaria de la Reforma Agraria. (2009). Disponible en: http://www.sra.gob.mx/internet/informacion_general/programas/fondo_tierras/manuales/Manejo_Bovino_Doble_Prop_sito.pdf

Shackelford SD, Koohmaraie M, Millar MF, Crouse JD, and Reagan JO. (1991). An evaluation of tenderness of the longissimus muscle of Angus by Hereford versus Brahman crossbred heifer. *Journal of Animal Science*, 69: 171-177.

Shackelford SD, Koohmaraie M, Cundiff LV, Gregory KE, Rohrer GA, Savell JW. (1994). Heritabilities and phenotypic and genetic correlations for bovine postrigor calpastatin activity, intramuscular fat content, Warner-Bratzler shear force, retail product yield, and growth rate. *Journal of Animal Science*, 72: 857-863.

Shackelford, SD, Wheeler TL and Koohmaraie M. (1995)b. Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *Journal of Animal Science*, 73: 3333-3340.

Sheard PR, Nute GR, Chapell AG. (1998). The effect of cooking on the chemical composition of meat products with special reference to fat loss. *Meat Science*, 49(2): 175-191.

Simões JA, Mendes MI, Lemos JPC. (2005). Selection of muscles as indicators of tenderness after seven days of ageing. *Meat Science*, 69:617-620.

Smith DJ. (1998). The pharmacokinetics, metabolism, and tissue residues of beta-adrenergic agonists in livestock. *Journal of Animal Science*, 76:173-194.

Stiffler DM, Savell JW, Smith GC, Dutson TR and Carpenter ZL. Electrical Stimulation Purpose, Application and Results. Texas Agricultural Extension Service. Department of Animal Science, Texas A&M University. (1984). Disponible en: <http://meat.tamu.edu/pdf/es.pdf>

Stolowski GD, Baird BE, Miller RK, Savell JW, Sams AR, Taylor JF, Sanders JO, Smith SB. (2006). Factors influencing the variation in tenderness of seven major beef muscles from three Angus and Brahman breed crosses. *Meat Science*, 73:475-483.

Suárez DH y López TQ. (1996). La ganadería bovina productora de carne en México. Situación actual. Disponible en: <http://agrinet.tamu.edu/trade/papers/hermilo.pdf>.

Téllez VJ. (2005). La calidad de la carne de vacunos. Iº Congreso Peruano de la Carne, Lima.

Texas A&M University. (2001). Instructional Materials Service. 2588 TAMUS. College Station, Texas 77843-2588. Disponible en: <http://www-ims.tamu.edu>.

Tarrant PV, Granding T. (1993). Cattle transport. In: Granding T (ed.). *Livestock handling and transport*. CAB International. Wallingford, p. 109-126.

Torrescano G, Armida Sánchez-Escalante, Giménez B, Roncalés P, Beltrá JA. (2003). Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. *Meat Science*, 64: 85–91.

Villegas G, Bolaños A, Olguín L. (2001). La Ganadería en México I. Temas selectos de geografía de México. Plaza y Valdés (eds.) México, D.F., p. 158.

Voisinet BD, Grandin T, O'Connor SF, Tatum JD, and Struters JJ. (1997)a. *Bos indicus*-cross feedlot cattle with calm temperaments have higher average daily gains than cattle with excitable temperaments. *Journal of Animal Science*, 75: 892.

Voisinet BD, Grandin T, O'Connor SF, Tatum JD, and Dessing MJ. (1997)b. *Bos indicus*-cross feedlot cattle with excitable temperaments have tougher meat and a higher incidence of borderline dark cutters. *Meat Science*, 46:367.

Von Seggern DD, Calkins CR, Johnson DD, Brickler JE, Gwartney BL. (2005). Muscle profiling: Characterizing the muscles of the beef chuck and round. *Meat Science*, 71: 39–51.

Wheeler TL, Savell JW, Cross HR, Lunt DK and Smith SB. (1990)a. Effect of postmortem treatments on the tenderness of meat from Hereford, Brahman and Brahman-cross beef cattle. *Journal of Animal Science*, 68(11):3677-3686.

Wheeler TL, Savell JW, Cross HR, Lunt DK and Smith SB. (1990)b. Mechanisms associated with the variation in tenderness of meat from Brahman and Hereford cattle. *Journal of Animal Science*, 68(12):4206-4220.

Whipple G, Koohmaraie M, Dikeman ME, Crouse JD, Hunt MC y Klemm RD. (1990). Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *Journal of Animal Science*, 68:2721-2722.

Wulf DM, Tatum JD, Green RD, Morgan JB, Golden BL and Smith GC. (1996). Genetic influences on beef longissimus palatability in Charolais and Limousin sired steers and heifers. *Journal of Animal Science*, 74:2394.

Anexo 1. Músculos del cuarto delantero del bovino

Bíceps braquial*



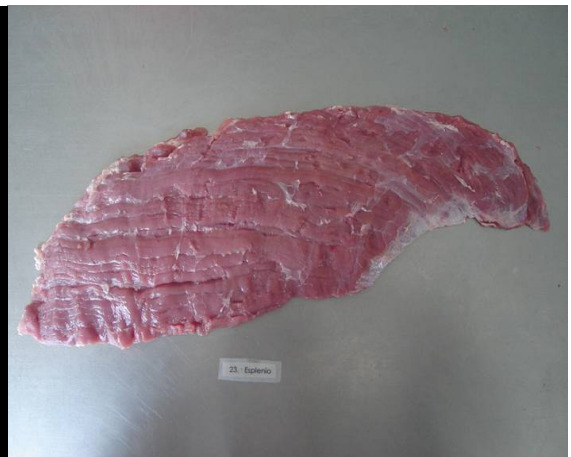
Braquial*



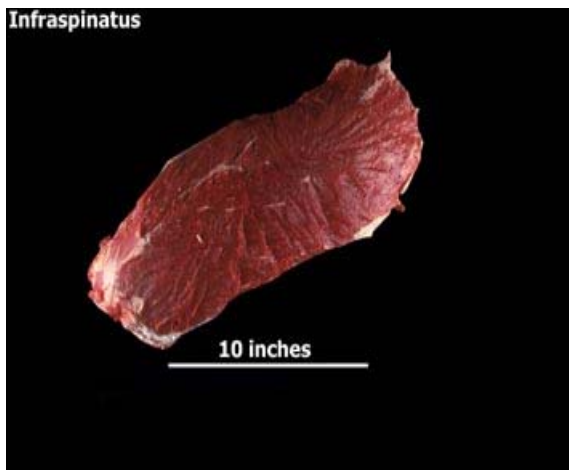
Complejo*



Esplenio



Infraespinoso*



Redondo mayor*



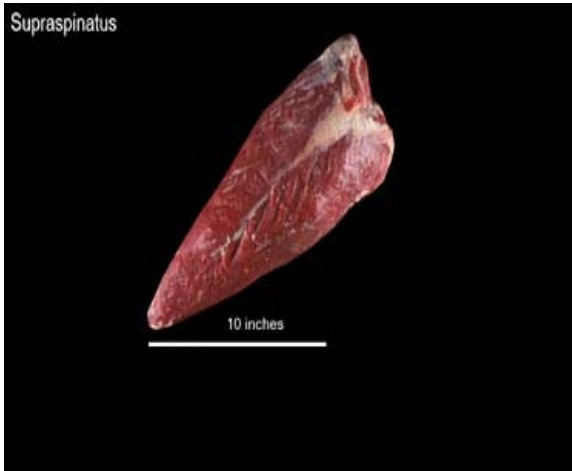
Romboides



Subescapular*



Supraespinoso *



Tríceps braquial cabeza larga*



Tríceps braquial cabeza lateral



*Fuente: <http://bovine.unl.edu/spa/muscd.jsp>.