



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

**MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA  
PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL**

**APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS DE MADURACIÓN Y CLORURO DE  
CALCIO EN MÚSCULOS DEL CUARTO DELANTERO DEL GANADO VACUNO.**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS**

**P R E S E N T A:**

**ESMERALDA VANESSA PÉREZ BUITRÓN**

**TUTOR:**

**DANILO MÉNDEZ MEDINA**

**COMITÉ TUTORAL:**

**MARÍA DE LA SALUD RUBIO LOZANO**

**EFRÉN RAMÍREZ BRIBIESCA**



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 Leslie y Adrian*

*A Emmanuel*

*y*

*A mi familia.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Programa de Becas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Por brindarme el apoyo económico.

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), insisto en donde los sueños se hacen realidad.

Comité tutorial: Dr. Rubén Danilo Méndez Medina, Dra. María de la Salud Rubio Lozano y el Dr. Efrén Ramírez Bribiesca por su apoyo y comentarios que enriquecieron esta investigación.

H. Jurado: Dra. Adriana Llorente Bousquets, Dra. Edith Ponce Alquicira, Dra. Francisca Iturbe Chiñas, MC. José Fernando Núñez Espinosa, 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 y 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.

Se reconoce el trabajo profesional realizado por el M. en C. Daniel Díaz Espinosa de los Monteros en el análisis estadístico, el diseño de las figuras y la revisión del escrito.

Al Dr. Carlos Sañudo y su equipo de la Facultad de Veterinaria de Zaragoza por haberme recibido y orientado durante tres meses en mi estancia en España.

A la Universidad Autónoma Metropolitana, en especial a la Dra. Edith Ponce Alquicira, por haberme recibido y apoyado en los análisis enzimáticos realizados en el Laboratorio del Área de Bioquímica de Macromoléculas, del Departamento de Biotecnología. UAM-Iztapalapa.

A todos mis amigos que compartieron y me ayudaron en esta experiencia: Adrian, Claudia Conde, Rafa, Amada, Tania, Aurora, Sara, Jorge, Genaro, Rocío, Rodrigo, Goyolin, Maru Brenda, Dulce, Gina, Bernardo, Claus A. Nina y Caro.

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

## RESUMEN

Investigaciones recientes han comprobado la suavidad en ciertos músculos del cuarto delantero, lo que ha resultado en el impulso de músculos específicos para su comercialización individual como en el caso de los músculos infraespinoso y el redondo mayor. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la maduración y el cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) sobre la Fuerza de Corte (FC) de 11 músculos provenientes del cuarto delantero de ganado *Bos indicus*, *Bos taurus* y Cruzas comerciales (CC). Se utilizaron 30 bovinos, machos enteros en el mismo rango de edad, de 18 a 24 meses. Todos los animales recibieron similar alimentación en similares periodos de engorda (80 a 110 días) con adición de zilpaterol en la dieta. Los animales recibieron estimulación eléctrica 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 excepto los animales de Cruzas comerciales. Posteriormente, se extrajeron los músculos infraespinoso (In), supraespinoso (Sp), subescápular (Sb), braquial (Br), complejo (Cx), esplenio (Es), tríceps porción cabeza larga (TL) y cabeza lateral (TLT), bíceps braquial (Bi), redondo mayor (Re) y romboides (Ro). De cada músculo se tomaron cinco muestras, una de control y las 4 restantes para los tratamientos de maduración a 7,14 y 21 días, y la última se utilizó para que aquellos músculos que no respondieron favorablemente a la maduración fuesen marinados con  $\text{CaCl}_2$  a 200 mM. Finalmente se midió la fuerza de corte de cada muestra. Los datos fueron analizados estadísticamente con el programa SAS. Los resultados por línea genética mostraron que la FC inicial de *B. taurus* fue menor ( $<4.9$  Kg) que *B. indicus* y las CC (5.51 y 5.92 Kg) respectivamente. Sin embargo, a los 7 días de maduración hubo una disminución significativa ( $p<0.05$ ) en la FC de Bi y CC en comparación con el resto de los días de tratamiento. En cuanto a la FC por músculo en los diferentes días de maduración, se pueden clasificar como Duros (FC $<4.6$  Kg) al M. braquial y M. tríceps braquial cabeza lateral, Intermedios con (FC $>3.9<4.6$  Kg) al M. bíceps braquial, M. tríceps braquial cabeza larga, M. supraespinoso, M. romboides y M. esplenio y como Suaves (FC  $>3.2<3.9$  Kg) al M. Infraespinoso, M. redondo mayor, y M. subescapular. El  $\text{CaCl}_2$  no tuvo efecto significativo en *B. taurus* ( $p>0.05$ ), sin embargo, en los biotipos *B. indicus* y CC disminuyó significativamente la FC ( $p<0.05$ ) de la mayoría de los músculos.

*Palabras clave:* maduración, cuarto delantero, suavidad, fuerza de corte

## ABSTRACT

Recent research has proved that the tenderness in certain muscles of the forequarter has resulted in driving specific muscles to their individual marketing as in the case of the infraspinatus and teres major muscles. The objective of this study was to determine the effect of aging time and calcium chloride ( $\text{CaCl}_2$ ) in the Shear Force (SF) of 11 muscles from the forequarter of cattle *Bos indicus*, *Bos taurus* and Mexican commercial crosses. Thirty males were used uncastrated from 18 to 24 months, which had received similar feeding in similar feeding periods (80 to 110 days), with added dietary zilpaterol. Animals *Bos indicus* and *Bos taurus* were electrically stimulated (ES) (110 v 0.3 to 0.5 Amperes) after slaughter, the commercial crosses were not. Subsequently extracted *M. infraspinatus*, *M. supraspinatus*, *M. subscapularis*, *M. brachial*, *M. complexo*, *M. splenius*, and *M. triceps brachii long head and lateral head*, *M. biceps brachii*, *M. teres major* and *M. rhomboids*. Each muscle was taken from five samples, a control sample and four treatments were aging at 7, 14 and 21 days, the last of which was used to marination with ( $\text{CaCl}_2$ ). The SF of each sample was measured according to the guidance of the AMSA (1995). The data was statistically analyzed with analysis of variance using SAS program. The genetic groups results showed that initial SF *B. taurus* was lower ( $<4.9$  kg) than *B. indicus* and CC (5.51 and 5.92 kg) respectively. Nevertheless, after 7 days of ripening was significantly lower ( $p < 0.05$ ) in the *Bi* SF and CC compared with other days of treatment. As to the SF of muscle on different days of aging, it can be classified as Hard (FC  $<4.6$  kg) to *M. brachial* and *M. triceps brachii lateral head*, Intermediate (FC  $> 3.9$   $<4.6$  kg) to *M. biceps brachii*, *triceps brachii long head*, *M. supraspinatus*, *M. rhomboids* and *M. splenius* and as Tender (FC  $> 3.2$   $<3.9$  kg) to *M. Infraspinatus*, *M. teres major*, *M. subscapularis*.  $\text{CaCl}_2$  had no significant effect on *B. taurus* ( $p > 0.05$ ), however, biotypes *B. indicus* and CC the SF decreased significantly ( $p < 0.05$ ).

*Keywords:* aging time, shear force, tenderness, forequarter.

## CONTENIDO

II. INTRODUCCIÓN.....	1
III. ANTECEDENTES.....	2
A. Situación de la Producción de la Carne Bovina en México.....	2
B. Componentes de la Carne que Afectan su Calidad.....	3
1. <i>Desarrollo del rigor mortis</i> .....	3
2. <i>Colágeno</i> .....	3
3. <i>Grasa</i> .....	4
C. Factores Intrínsecos que Afectan la Calidad de la Carne.....	5
1. <i>Proteólisis</i> .....	<i>post</i> 5
<i>mortem</i> .....	
2. <i>Acortamiento</i> .....	<i>del</i> 9
<i>sarcómero</i> .....	
D. Factores Extrínsecos que Afectan la Calidad de la Carne.....	9
1. <i>Genética y Raza</i> .....	9
2. <i>Manejo</i> .....	10
3. <i>Estimulación eléctrica</i> .....	11
4. <i>Grado de calidad de la canal</i> .....	12
5. <i>Características de calidad de la carne</i> .....	13
E. Métodos de mejoramiento de la carne.....	13
1. <i>Maduración</i> .....	15
2. <i>Cloruro de calcio</i> .....	17
3. <i>Actividad</i> .....	19
<i>enzimática</i> .....	
IV. JUSTIFICACIÓN.....	19
V. HIPÓTESIS.....	19
VII. METODOLOGÍA.....	20
A. Método de Maduración.....	20
B. Método de Marinación con Cloruro de Calcio.....	21
C. Cocinado.....	21
D. Medición de la Fuerza de Corte.....	21
E. Medición de la Actividad Proteolítica.....	22
F. Análisis Estadístico.....	23
VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
A. Fuerza de Corte en Músculos del Cuarto Delantero de Bovinos.....	24
B. Efecto del Tratamiento de Maduración Sobre el Promedio de la Fuerza de Corte de Todos los Músculos de Cada Grupo Genético.....	26
C. Efecto de Maduración Sobre la Fuerza de Corte de Cada Músculo del Cuarto Delantero de Bovinos <i>B. indicus</i> , <i>B. taurus</i> y Cruzas comerciales.....	28
1. <i>Músculo Bíceps braquial (Bi)</i> .....	28

2. <i>Músculo Braquial (Br)</i> .....	31
3. <i>Músculo Complexo (Cx)</i> .....	32
4. <i>Músculo Esplenio (Es)</i> .....	33
5. <i>Músculo Infraespinoso (In)</i> .....	38
6. <i>Músculo Redondo mayor (Re)</i> .....	39
7. <i>Músculo Romboides (Ro)</i> .....	40
8. <i>Músculo Subescapular (Sb)</i> .....	44
9. <i>Músculo Supraespinoso (Sp)</i> .....	44
10. <i>Músculo Tríceps Braquial Cabeza Larga (TL)</i> .....	48
11. <i>Músculo Tríceps Braquial Cabeza Lateral (TLT)</i> .....	49
<b>D. Efecto del Cloruro de Calcio en la Fuerza de Corte de Músculos de Bovino</b> .....	<b>52</b>
<b>IX. CONCLUSIONES</b> .....	<b>56</b>
<b>X. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>57</b>
<b>XI. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>58</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Niveles de organización fibrilar del músculo esquelético..... Diferencias de los días de maduración de los tres grupos	6
Figura 2.	genéticos <i>Bos indicus</i> , <i>Bos taurus</i> y Cruzas <i>comerciales</i> .....	27
Figura 3.	Fuerza de corte del M. bíceps braquial de bovinos <i>Bos indicus</i> , <i>Bos taurus</i> y Cruzas comerciales.....	30
Figura 4.	Actividad proteolítica y fuerza de corte del M. braquial de bovinos <i>Bos indicus</i> , <i>Bos taurus</i> y Cruzas comerciales.....	35
Figura 5.	Fuerza de corte del M. complejo de bovinos <i>Bos indicus</i> , <i>Bos</i> <i>taurus</i> y Cruzas comerciales.....	36
Figura 6.	Actividad proteolítica y fuerza de corte del M. esplenio de bovinos <i>Bos indicus</i> , <i>Bos taurus</i> y Cruzas comerciales.....	37
Figura 7.	Actividad proteolítica y fuerza de corte del M. infraespinoso de bovinos <i>Bos indicus</i> , <i>Bos taurus</i> y Cruzas comerciales.....	41
Figura 8.	Fuerza de corte del M. redondo mayor de bovinos <i>Bos indicus</i> , <i>Bos taurus</i> y Cruzas comerciales.....	42
Figura 9.	Fuerza de corte del M. romboides de bovinos <i>Bos indicus</i> , <i>Bos</i> <i>taurus</i> y Cruzas comerciales.....	43
Figura 10.	Fuerza de corte del M. subescápular de bovinos <i>Bos indicus</i> , <i>Bos</i> <i>taurus</i> y Cruzas comerciales.....	46
Figura 11.	Fuerza de corte del M. supraespinoso de bovinos <i>Bos indicus</i> , <i>Bos taurus</i> y Cruzas comerciales.....	47
Figura 12.	Fuerza de corte del M. tríceps cabeza larga de bovinos <i>Bos</i> <i>indicus</i> , <i>Bos taurus</i> y Cruzas comerciales.....	50
Figura 13.	Fuerza de corte del M. tríceps cabeza lateral de bovinos <i>Bos</i> <i>indicus</i> , <i>Bos taurus</i> y Cruzas comerciales.....	51
Figura 14	Efecto de la aplicación de cloruro de calcio sobre la dureza de seis músculos del cuarto delantero de tres líneas genéticas de bovinos.....	54

Figura 15. Efecto del cloruro de calcio en músculos de bovinos *Bos indicus*,  
*Bos taurus* y Cruzas comerciales.....

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1	Características químicas de carne nacional e importada.....	7
Cuadro 2.	Clasificación de fuerza de corte de músculos del cuarto delantero bovino.....	14
Cuadro 3	Clasificación de músculos del cuarto delantero bovino de diferentes grupos genéticos de acuerdo a su fuerza de corte inicial	25

## II. INTRODUCCIÓN

La carne de bovino, durante mucho tiempo fue el tipo de carne con mayor consumo entre la población mexicana. Sin embargo, en los últimos años ha perdido demanda ante la creciente expansión de la carne de ave en el mercado. Esto se debe al mayor crecimiento económico que ha tenido la industria avícola, siendo esta de menor precio, en contraste con los diferentes cortes de carne de res consumidos en México (SNIIM 2009, INEGI 2009). La carne de res en México se comercializa en su mayoría como carne molida, aplanada para asar y en trozos para cocciones largas. Son pocos los cortes de calidad provenientes del lomo y la pierna consumidos por la población, ya que generalmente tienen un valor más elevado. Actualmente se han realizado diversos estudios del cuarto delantero de ganado vacuno (Belew et al., 2003, Bratcher et al., 2005, Molina et al., 2005, Von Seggern et al., 2005, Boles et al., 2008, Chávez et al., 2009), donde se ha demostrado que el músculo infraespinoso y el músculo redondo del cuarto delantero presentan características que le confieren calidad semejante o mejor que algunos músculos del cuarto trasero y el lomo.

El cuarto delantero comprende las siguientes piezas categorizadas como paletilla de segunda calidad, pecho, aguja y pescuezo de tercera calidad. En el cuarto delantero se puede encontrar menor masa muscular y huesos más grandes que abarcan la mayor parte del brazuelo como la escápula y el húmero. En algunos de los músculos del cuarto delantero como el M. supraespinoso y el M. subescapular (Von Seggern et al., 2005), se han reportado problemas de dureza que pueden deberse a diferentes factores como son la raza, edad del animal, diferencias entre animales de una misma raza, diferencias entre músculos y diferencias entre músculos almacenados a diferentes temperaturas *post mortem*. Por tal motivo, se debe considerar la aplicación de tratamientos para mejorar sus cualidades sensoriales y para que se puedan ofrecer a un precio competitivo (Bratcher et al., 2005).

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de tratamientos físicos y químicos (maduración y cloruro de calcio) para disminuir la dureza de once músculos del cuarto delantero de animales *Bos indicus*, *Bos taurus* y Cruzas comerciales.

## II. ANTECEDENTES

### <sup>A</sup> Situación de la Producción de Carne Bovina en México

La producción bovina de carne en México es la actividad pecuaria más difundida en todo el país ya que se desarrolla en aproximadamente 110 millones de hectáreas que representan alrededor del 60% de la superficie del territorio nacional. La carne en canal de bovinos participa con el 38.3 % dentro de la oferta de carnes en el país. Además, México tiene una alta participación en la exportación de becerros con 1 millón de animales aproximadamente de razas especializadas, así como sus Cruzas con ganado cebuino. Por otro lado, también ingresan a la producción de carne en México las crías y vientres lecheros de desecho, y en menor proporción, aquellos animales de trabajo cuya vida útil se ha dado por terminada (Almazán, 2004).

Durante el periodo de 2004 a 2006 el crecimiento de la producción bovina fue de 1.03 % con un volumen de producción de 1559,143 toneladas. En 2007 existían 12571,993 bovinos en desarrollo o engorda. El consumo *per capita* de carne de bovino en los últimos años ha presentado un comportamiento estable entre 16 y 17 Kg. por habitante. En 2005 se importaron 231,970 toneladas de carne de bovino lo que representó un incremento del 11.2 % al año anterior (SAGARPA, 2009).

Sin embargo, a pesar de la apertura comercial y tratados internacionales que pueden representar una oportunidad de negocio para los productores de bovino integrados a una cadena productiva, existe un mercado nacional insatisfecho por la cantidad y calidad de los productos derivados del bovino. Actualmente este mercado de calidad está siendo cubierto principalmente por productores de Estados Unidos de Norteamérica (SAGARPA, 2009).

El sacrificio y faenado de ganado bovino permite la obtención de su producto primario, es decir, la canal de bovino de la cual se pueden obtener dos medias canales; obtenidas de la división de la canal a lo largo de la columna vertebral o bien dos cuartos, el delantero y el trasero, resultado de dividir la media canal en dos partes mediante un corte transversal que se practica entre la quinta y sexta

costilla o la doceava o treceava; esto dependerá de la necesidad del mercado al que se destine junto con las vísceras y demás subproductos. Estas operaciones se realizan en rastros Tipo Inspección Federal (TIF) y en Rastros Municipales (Quiroga, 2007).

## B. Componentes de la Carne que Afectan su Calidad

Después de que el animal muere, comienzan una serie de cambios ocasionados por la falta de abastecimiento de oxígeno, por lo que el metabolismo se vuelve anaerobio durante la descarboxilación oxidativa y el ATP se origina por la vía de la glicolisis. Uno de esos cambios es la acidificación, que se debe al acumulo de ácido láctico proveniente del metabolismo anaerobio del glicógeno. El patrón de acidificación puede variar entre especies, en ganado puede durar de 15 a 36 horas. Al ocurrir este cambio de pH dado por los sistemas multienzimáticos, las proteínas se desnaturalizan y reducen su poder de retención de agua, algunas de ellas como la miosina, alcanzan su punto isoelectrico (Warris 2000).

### 1. *Desarrollo del rigor mortis*

Esta condición está dada cuando las moléculas de ATP son hidrolizadas; el nivel de ATP debe caer por debajo de 5 milimoles para que se de el *rigor*. La concentración de ATP es mantenida por el metabolismo del glicógeno. El *rigor* inicia cuando las moléculas de actina y miosina de los filamentos delgados y gruesos, se unen para formar el complejo actinomiosina. La resolución del rigor se da cuando las miofibrillas son fragmentadas fácilmente; de este modo, el músculo pierde extensibilidad (Warris, 2000).

### 2. *Colágeno*

El colágeno es el mayor componente del tejido conectivo del músculo, está formado por tropocolágeno de tres cadenas de polipéptidos; éstos presentan un orden característico de aminoácidos con alto valor de glicina e hidroxiprolina, componente que permite su determinación en pruebas analíticas (McCormick, 1994).

Macroscópicamente se puede observar que el músculo se encuentra envuelto en tejido conectivo y tiene tres niveles de organización: endomisio, perimisio y epimisio. En el músculo se pueden encontrar hasta 11 tipos de colágeno, sin embargo, los más abundantes son los tipos I y III, el resto se encuentra en pequeñas cantidades. El perimisio representa cerca del 90% del total del tejido conectivo en músculo y esta cantidad puede variar de un músculo a otro (Lepetit, 2008).

La cantidad de colágeno determina la calidad de la carne y puede inferir en que sea de mayor o menor calidad. Autores como Judge (2000) y Purslow (2005), mencionan que la cantidad de colágeno presente en la carne influye en la suavidad al ser cocinada. Seideman (1986) y Hill (1966), mencionan que a mayor número de fibras rojas en el músculo, se observa mayor cantidad de grasa, y a mayor cantidad de fibras blancas se observa mayor contenido de colágeno soluble. El colágeno total se puede encontrar en mayor porcentaje en toros y el colágeno soluble en novillos, sin embargo, la cantidad de colágeno no aumenta con la edad, lo que aumenta es la cantidad de enlaces cruzados que dan estabilidad a las moléculas proteicas del colágeno.

### 3. *Grasa*

En los EEUU, el grado de calidad de la canal se encuentra determinado por la cantidad de grasa intramuscular (marmoleo) que hay en la carne. Se ha discutido ampliamente si la grasa y la suavidad tienen relación positiva, por ende existen teorías donde se relaciona el contenido de grasa con el incremento de la suavidad de la carne (Platter et al., 2003). Una de ellas es la teoría del bocado, en donde la grasa intramuscular sustituye proteínas por lípidos, lo cual resulta en una masa de menor densidad (Savell, 1986). Otra, es la teoría de la lubricación, donde la grasa lubrica las fibras musculares y por tanto aumenta la sensación de suavidad (Savell, 1986). La teoría de la fuerza menciona que al aumentar la grasa en el tejido conjuntivo perimisio y endomisio, las membranas de tejido conjuntivo se hacen delgadas y frágiles. Por último, existe la teoría de la seguridad, en la cual la grasa intramuscular ayuda a prevenir la pérdida de agua y el endurecimiento de la carne (Savell, 1986). Por otro lado, Calkins et al, (1981) no encontraron relación positiva en la cantidad

de marmoleo en carne de bovino y la suavidad. Otras características deseables de la grasa son encontradas en su composición, como los ácidos grasos que determinan el punto de fusión de la grasa y el valor nutrimental, además de influir en las propiedades sensoriales de la carne como el aroma y el sabor (Choi et al., 2000).

Por su parte Delgado et al, (2005) compararon algunas características del músculo *Longissimus dorsi* de ganado mexicano de 3 regiones: norte, centro y sur, con el *Longissimus dorsi de ganado* americano clasificados con grados de calidad (USDA Choice y No Roll US beef). Encontrando que la carne mexicana de la región del norte tiene una composición química similar a carne “No Roll US beef”. En dicho estudio se menciona que dentro de los factores que influyen en la variación del contenido de grasa intramuscular se encuentran la raza y el tipo de alimentación, por ende, los valores de grasa intramuscular llegan a ser variables y en menor cantidad en el ganado mexicano. En Cuadro 1 se observan las diferencias encontradas en el estudio de Delgado et al (2005).

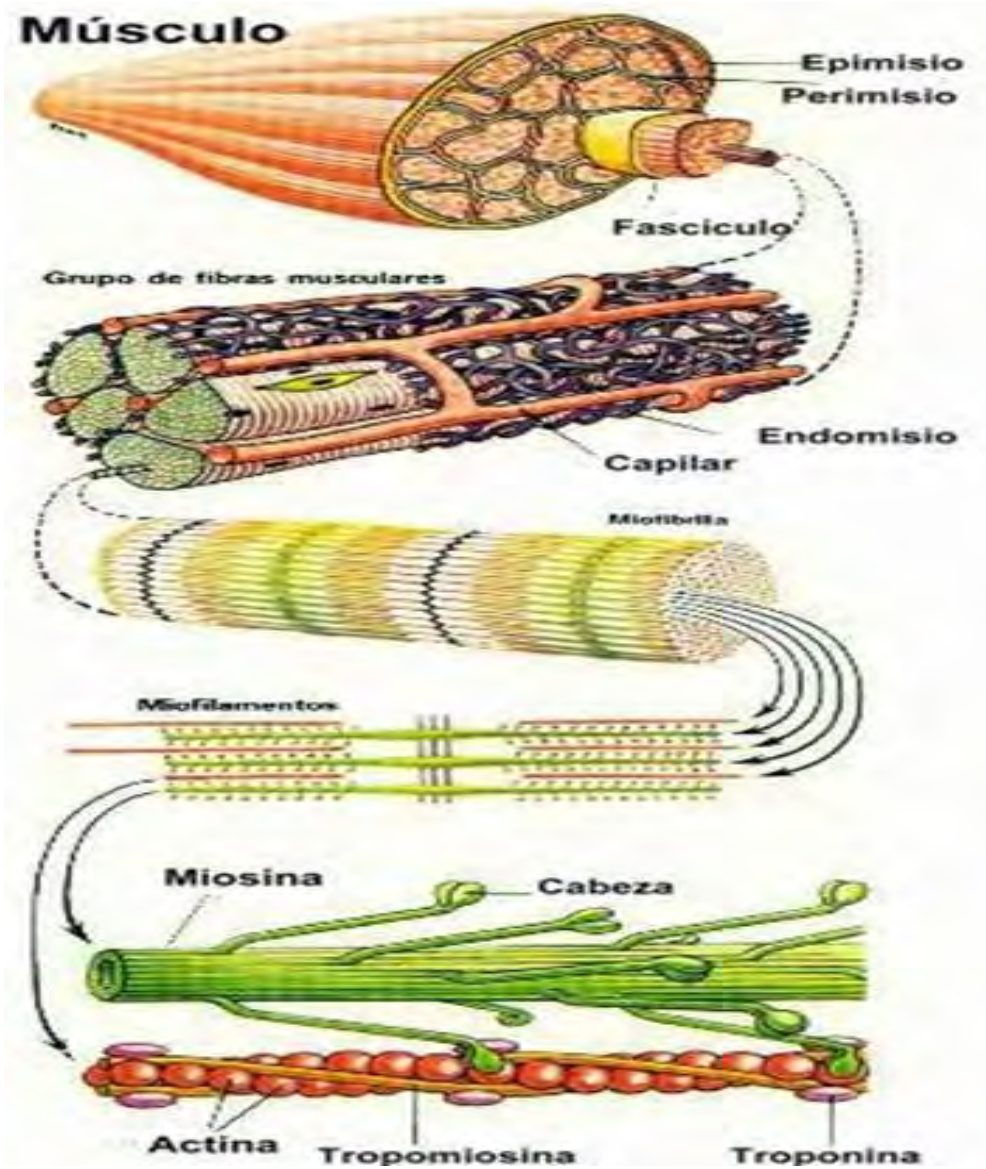
### c. Factores Intrínsecos que Afectan la Calidad de la Carne

#### 1. *Proteólisis Post mortem*

Está dividida en 3 fases: a) fase de dureza de fondo, causada por el acortamiento del sarcómero durante el *rigor*; en vacuno ocurre en las primeras 24 horas *post mortem*, b) fase de endurecimiento similar en toda la canal en condiciones de procesamiento y c) fase de ablandamiento, es altamente variable y se conoce que en ella hay actividad enzimática. El debilitamiento de las miofibrillas es la llave para que se de la suavidad. A continuación se mencionará los cambios ultraestructurales más importantes mencionados por Koohmaraie et al, (2006): a) Ruptura de la unión de la banda I y el disco Z; b) Degradación de proteínas miofibrilares y del citoesqueleto (troponina I, troponina T, desmina, vinculina, meta-vinculina, nebulina y titina); c) Degradación de la línea Z compuesta en su mayoría por desmina y la línea M del sarcolema y d) La actina y miosina no se degradan.



Figura 1. Niveles de organización fibrilar del músculo esquelético.



Tomado de: [www.anatomiahumana.ucv.cl/efi/modulo11.html](http://www.anatomiahumana.ucv.cl/efi/modulo11.html) 2010

**Cuadro 1.** Características químicas de carne nacional e importada

Composición	Carne Nacional			Carne importada	
	Región			Tipo	
	Norte	Centro	Sur	USADA	No Roll US beef
Humedad (%)	72.9 a	73.6 a	72.2 a	69.9 b	73.1a
Grasa (%)	3.0 b	2.7 b	3.6 b	6.3 a	2.9 b
Proteína (%)	21.7	22.3	22.3	21.7	22.2
Colágeno total (mg/g)	12.0 a	11.3 a	11.2 a	9.7 b	12.1 a
Colágeno soluble (%)	17.4	15.8	17.0	17.2	14.6

Datos tomados de Delgado et al. (2005).

Los sistemas proteolíticos que juegan un papel importante en el músculo durante la proteólisis *post mortem* son: el sistema de calpaínas, el sistema lisosomal de catepsinas, el sistema multicatalítico de proteasas y el sistema de caspasas. Las calpaínas, por ejemplo, son proteasas dependientes de calcio que tienen una óptima actividad a pH neutro en el músculo esquelético; el sistema de calpaínas consta de 3 proteasas  $\mu$ -calpaína, m-calpaína y calpaína 3 y un inhibidor llamado calpastatina. Una característica importante de  $\mu$ -calpaína y m-calpaína es que sean objeto de autólisis en presencia de calcio así como su inhibidor calpastatina (Koohmaraie et al., 2006).

Por su parte Warris (2000), mencionó que hay una fase rápida causada por los cambios en los componentes miofibrilares y una segunda fase lenta causada por el debilitamiento estructural del tejido conectivo intramuscular. Sin embargo, los cambios en los componentes miofibrilares tienden a ser más importantes habiendo muy pocos cambios que pueden ser vistos en el tejido conectivo.

En todas las células existen los lisosomas del sarcoplasma que contienen enzimas de gran actividad proteolítica entre las que se encuentran las catepsinas, que son liberadas cuando las membranas lipoproteicas de los lisosomas se rompen al descender el pH *post mortem* (Warris 2000). Existen 8 en el músculo esquelético del tipo A, B, C, D, H, L y J y la carboxipeptidasa lisosomal. La catepsina B es una proteasa lisosomal que degrada a la troponina I y en conjunto con la catepsina L, en pH de 4 a 6 tienen una actividad máxima; la mayor activación de la catepsina B ocurre después del *rigor*. La catepsina D tiene la característica de tener actividad sobre el colágeno y los lípidos e igualmente la L y N degradan troponina T y sustancias mucopolisacáridas de tejido conectivo (Warris, 2000, Pérez, 1998).

Otra teoría del ablandamiento *post mortem* de la carne menciona que el calcio por si solo hace que haya un ablandamiento de la carne y no a través de procesos enzimáticos. Cuando hay liberación de calcio y éste se filtra en el sarcoplasma hay un efecto directo sobre varios componentes del músculo. Los efectos incluyen fragmentación de proteínas musculares estructurales como titina, nebulina y desmina, debilitamiento del disco Z a través de la liberación de fosfolípidos del

disco Z y el aumento en la longitud del sarcómero (Takahashi et al., 2006). En contraste se han realizado estudios *in vitro* en donde ésta teoría no se asocia con la suavidad en la carne (Geesink et al., 2001).

## 2. *Acortamiento del sarcómero*

Si el músculo es enfriado por debajo de 10 a 15 °C antes del inicio del *rigor*, la carne será dura después del cocinado. En la proximidad de los 0 °C pueden ocurrir contracciones musculares con efectos permanentes similares a los de la rigidez cadavérica. A este fenómeno se le conoce como acortamiento por frío. Durante el acortamiento por el frío hay estimulación por las bajas temperaturas de iones de calcio del retículo sarcoplásmico (Locker 1963, Savell 2005).

### D. Factores Extrínsecos que Afectan la Calidad de la Carne

#### 1. *Genética y Raza*

La [herencia](#), las [semejanzas](#) y [diferencias](#) entre razas es el resultado de la interacción de los [genes](#) y el medio [ambiente](#). Por lo tanto, se puede definir a la raza como aquel grupo de animales con características comunes que se transmiten sin variación de una generación a otra. El ganado bovino se clasifica en dos grupos:

**Grupo Europeo:** Las razas de origen europeo se dividen en ganado productor de carne, ganado productor de leche y de doble propósito siendo más productivas en comparación a las Indopaquistanies. El grupo europeo se clasifica en razas Británicas y Continentales. Algunas de las británicas son: Aberdeen Angus, Hereford y Shorthorn. Entre las Continentales se encuentran Charolais, Limousin y Simmental (Gasque y Blanco, 2001).

**Grupo Indopaquistano:** Las razas de origen indopaquistaní o *Bos indicus* más comunes son: Guzerat, Gyr y Nellore; existen otras razas dentro de este grupo cebuino conocidas como razas sintéticas que se han desarrollado a través del cruzamiento de dos o más razas continentales, por ejemplo: Bradford, Brangus, Beefmaster, Indobrasil, Santa Gertrudis, Simbrah, Bradford (Gasque y Blanco, 2001).

Monsón et al, (2005) mencionan que el grupo genético y otras características pueden influir sobre la suavidad y el sabor de la carne, para ello fue estudiado ganado *Bos taurus* de diferentes razas, machos enteros finalizados en corral, y tomando los músculos *Longissimus toracico y lumborum*, en donde se midió la cantidad de colágeno total e insoluble y la fuerza de corte de los músculos madurados 7 días. Los resultados mostraron que entre la carne de las diferentes razas hay diferencias significativas ( $p < 0.001$ ) en la resistencia al corte, así como la interacción de los diferentes biotipos con los días de maduración. En cuanto a la solubilidad del colágeno, fue similar en todas las razas con un 41-44%.

Por otro lado Monsón et al, (2004) en otro estudio realizado con novillos de 4 diferentes razas europeas: Holstein, Pardo Suizo, Limousin y Blonde D'Aquitaine; donde se utilizó el músculo *Longissimus toracico* madurado a una semana evaluado por un panel sensorial entrenado, los resultados del panel entrenado mostraron disminución de la fuerza de corte con disminución de la dureza miofibrilar y en la textura de la carne de estas razas europeas.

Shackelford et al, (1995) realizaron un estudio en el cual se determinó si existía diferencia en la dureza entre músculos de ganado *Bos taurus* y la cruce con *Bos indicus*, en donde el resultado mostró que no hubo diferencia significativa entre músculos, pero observaron que la carne proveniente de músculos de toros cruce *Bos indicus* por *Bos taurus* madurados a 14 días presentaron mayor resistencia al corte ( $P < 0.05$ ).

## 2. Manejo

El manejo adecuado enfocado al bienestar animal es un factor importante que debe controlarse antes del sacrificio de los animales, ya que evita el estrés y con ello la liberación de sustancias en la sangre que afectan la calidad de la carne. Siendo el estrés un estado dado por las condiciones ambientales y de manejo, se debe evitar que los animales estén expuestos a estímulos que lo provoquen o en su caso aminorarlos para evitar que mecanismos fisiológicos tengan repercusión sobre la calidad de la carne. Algunos de los más importantes que se pueden mencionar son los siguientes: secreción de adenocorticotrofina, incremento en la glucemia,

frecuencia cardiaca y del flujo sanguíneo en los músculos; liberación de noradrenalina, adrenalina y disminución del glucógeno muscular por acción directa de las catecolaminas (Grandin, 1997). El cuidado en la granja con manejo cuidadoso de animales jóvenes generalmente genera animales adultos más dóciles y fáciles de manejar. Igualmente, durante el transporte de los animales desde el sitio de la crianza hasta el matadero es un factor de estrés importante en la industria cárnica ya que aumenta el cortisol y la creatin quinasa, dados por el hacinamiento, temperaturas extremas que repercuten en la calidad de la carne (Guerrero et al 2006).

Otros aspectos en los que el estrés afecta incluyen la pérdida de peso vivo y de la canal, hematomas y carne oscura y seca (Voisinet et al., 1997). En los rastros se deben eliminar prácticas inapropiadas como descargas eléctricas. Así mismo, se debe realizar un diseño correcto de las instalaciones que faciliten el flujo continuo menos estresante para los animales. Entre los factores que no se puede controlar por completo se encuentra la herencia del temperamento de los animales. Un ejemplo es que las razas de *Bos indicus* poseen un temperamento más nervioso que las de origen europeo. El resultado es que algunas de las razas con temperamento mas tranquilo como Charolais y Hereford llegan a presentar porcentajes inferiores de carne seca y oscura (Guerrero et al., 2006).

### 3. Estimulación eléctrica

La aplicación de estimulación eléctrica en la canal es usada para aumentar la suavidad de la carne. Éste método utilizado después del degüelle, disminuye la actividad del inhibidor calpastatina resultando en una carne más suave (Olsson 1994). En un estudio realizado en genotipos 50 % Hereford, 50 % Brahman x Hereford y 100 % Brahman, los resultados mostraron un aumento considerable en la actividad de la calpaína II en la raza 100 % Brahman después de la aplicación de la estimulación eléctrica. La fuerza de corte disminuyó con la estimulación eléctrica, sin embargo, estos valores se incrementan al aumentar el porcentaje de *Bos indicus* (Drewe et al., 2000).

#### 4. *Grado de calidad de la canal*

En cuanto al grado de calidad, se puede mencionar que llega a tener influencia en la suavidad; al respecto, se realizó un estudio con músculos de canales grado USDA select y USDA upper 2/3, donde se analizaron los músculos infraespinoso, tríceps braquial cabeza larga y cabeza lateral, complejo, esplenio y romboides (Bratcher et al., 2005). Los resultados mostraron que los músculos pueden responder de manera diferente a los días de maduración que se les aplique, esto dependerá de la composición de cada músculo; por ejemplo, una maduración de 14 días resulta con diferencias significativas ( $P < 0.05$ ), tanto por el grado de calidad de la canal y por la porción del músculo de la que fue tomada la muestra (Bratcher et al., 2005).

En otro estudio de carne madurada con distintos grados de calidad (USDA y Choice) en donde se analizaron 17 músculos, entre ellos el M. complejo, M. infraespinoso, M. redondo mayor y M. supraespinoso; los cuales fueron madurados a diferentes tiempos, los resultados mostraron que las maduraciones del Grado Tipo Choice fueron más importantes, ya que en todos los músculos se observó una diferencia significativa ( $P < 0.05$ ) respecto a los 28 días de maduración (Gruber et al., 2006).

#### 5. *Características de calidad de la carne*

El sabor y la suavidad de la carne dependen de factores que ya se mencionaron, tales como edad del animal, raza, sexo, estado nutricional y forma de cocinar el alimento. Para enfatizar sobre este aspecto, Huff et al; (1993) mencionan que la edad del animal y los días de maduración tienen más importancia que el sexo en la dureza de la carne.

Campo et al, (1999) analizaron carne de 42 machos de 7 razas europeas, y tomaron M. *Longissimus toracico* y su porción lumbar (strip loin) para madurarlos a 1, 3, 7, 10, 14 y 21 días y mostraron que a los 21 días, la suavidad y la jugosidad son maximizadas por la maduración en las diferentes razas.

## E. Métodos para el Mejoramiento de la Carne

### 1. *Maduración*

Durante el almacenamiento en temperaturas de 0 a 4 °C, ocurren cambios bioquímicos en la carne, la miosina y la actina llegan a ser más solubles y como resultado la cantidad de proteínas extraíbles aumentan alrededor de un 50 a 60 %, entre el *rigor* y 7 a 8 días *post mortem* (Ouali 1989). El aumento de la solubilidad de proteína miofibrilar ha sido significativamente relacionado con la dureza de la carne. La actividad de ATPasa aumenta durante la maduración de la carne (Ouali, 1989).

La maduración es efectiva para disminuir la dureza de la carne, además se resaltan sus cualidades sensoriales, las cuales pueden ser medidas instrumentalmente o sensorialmente, lo ideal sería la optimización de la suavidad maximizando el ablandamiento y minimizando la maduración, esto produciría carne con los mínimos requerimientos de almacenamiento en frío (Dransfield 1994, Spanier 1997).

Belew et al; (2003) han realizado investigaciones en el cuarto delantero bovino, en las cuales se ha determinado la dureza de la carne en base a diferentes días de maduración, analizando 40 músculos de 20 canales para determinar diferencias en los músculos en cuanto a resistencia al corte. Los resultados mostraron diferencias de suavidad entre músculos y entre las diferentes porciones de un mismo músculo. Los autores mencionan los siguientes criterios de clasificación de dureza de músculos, de los cuales se mencionan como “muy suaves” al M. infraespinoso, M. bíceps braquial y M. redondo mayor <3.2 Kg., como “suaves” 3.2 < 3.9 Kg. al M. subescápular, M. tríceps braquial lateral y M. tríceps braquial cabeza larga, M. romboides, M. complejo y M. esplenio, como “intermedios” al M. supraespinoso 3.9<4.6 Kg. y como “duro” al M. braquial > 4.6 Kg.. Se encontraron diferencias considerables de P (<0.05) entre la cabeza larga y la cabeza lateral del músculo tríceps braquial, éstas diferencias se dan por la separación de su epimisio. Por su parte Simões et al, (2004) mencionan que la selección de músculos puede ser usada como un criterio para la caracterización de dureza en los músculos.



**Cuadro 2.** Clasificación de fuerza de corte de músculos del cuarto delantero bovino

Categorías (Fuerza de Corte Kg.)			
Muy suave (<3.2)	Suave (3.2 a 3.9)	Intermedio (3.9 a 4.6)	Duro (>4.6)
M. infraespinoso (In)	M. subescápular (Sb)	M. supraespinoso (Sp)	M. braquial (bR)
M. bíceps braquial (Bi)	M. tríceps braquial lateral (TlT)		
M. redondo mayor (Re)	M. tríceps braquial cabeza larga (Tl)		
	M. romboides (Ro)		
	M. esplenio (Es)		
	M. complejo (Cx)		

Datos tomados de Belew et al; (2003)

Otro estudio por Jeremiah et al, (2003) en el que maduraron los músculos intercostales, así como el lomo a 7, 14, 21 y 28 días, utilizando dos tipos de envase: envasado al vacío y atmósfera controlada de CO<sub>2</sub> para comprobar su efecto en la suavidad de la carne y la intensidad del sabor y jugosidad. Como prueba se utilizó un panel entrenado en donde se aplicó una escala de descripción de 9 puntos; donde 9 era extremadamente deseable y 1 extremadamente indeseable. Los resultados mostraron que el almacenamiento en atmósfera modificada beneficia al producto con o sin hueso, evitando la oxidación de la carne sin afectar el sabor. Los cortes almacenados durante una semana al vacío requirieron menores tiempos de cocción, mientras que los cortes madurados durante más tiempo aumentaron la intensidad del sabor pero no influyeron en la jugosidad, además no encontraron relación en la presencia de hueso y el grado de suavidad de la carne (Jeremiah et al., 2003).

## 2. *Cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>)*

Existen otras metodologías que tienen efectos positivos en las características sensoriales de la carne, como lo es el ablandamiento químico dado por inhibidores glicolíticos. Éstos inhibidores han resultado favorables en el aumento de la suavidad de la carne al proveer una fuente endógena de calcio para activar las proteasas dependientes de calcio (calpaínas) y así obtener suavidad gracias a la acción proteolítica de dichas enzimas sobre la línea z de los sarcómeros (Jerez et al., 2003).

Algunas formas de aplicación del cloruro de calcio son la inyección e infusión de soluciones, siendo la inyección mecánica la que ofrece mejores resultados gracias a la distribución más uniforme en la pieza. El CaCl<sub>2</sub> no puede ser administrado directamente en la dieta del ganado, pues causaría desordenes graves y la posible muerte del animal. La aplicación del cloruro de calcio se recomienda 24 horas *post mortem* una vez dada la resolución del *rigor*, ya que antes de éste, provocaría una mayor contracción del músculo (Chacón, 2004).

El CaCl<sub>2</sub> está aprobado por la Food and Drug Administration (FDA) y se ha reportado su uso para ablandamiento en carne de pollo, caballo, bovino, conejo y canales de borrego (Gerelt et al., 2002). Las concentraciones de calcio aún son

discutidas y eso dependerá del método de aplicación usado (Gerelt et al., 2002). Wheeler et al, (1993) mencionan que los porcentajes de inyección de 150 a 250 milimoles (mM), son lo suficientemente reducidos para que no se registren sabores ni olores indeseables en el producto. En un estudio realizado por Wheeler, (1993) se estudiaron los efectos de la inyección de CaCl<sub>2</sub>, en donde se tomaron algunos músculos del cuarto delantero bovino, a las 24 horas *post mortem*, los músculos fueron cortados en tres secciones, se inyectaron con 200 mM de CaCl<sub>2</sub> y un corte control que fue inyectado solo con agua. Después de la inyección los cortes fueron drenados (escurridos) por 5 minutos para determinar el peso final del porcentaje de la inyección, finalmente, se empacaron al vacío y fueron almacenados a 2 °C por 7 días. El agua usada para hacer la solución de CaCl<sub>2</sub> era destilada y desionizada y fue inyectada a una temperatura de 23 °C. Los resultados mostraron menos resistencia al corte con 200 mM de CaCl<sub>2</sub>, además, no se alteró el color de la carne y no se obtuvieron mejorías en el sabor (Wheeler et al., 1993).

Gerelt, (2005) ha descrito los cambios en la actividad de las calpaínas y su inhibidor calpastatina, con tratamiento de CaCl<sub>2</sub>, donde se utilizaron músculos del cuarto delantero, se refrigeraron 2 días a 4 °C, se cortaron en piezas pequeñas y se deshidrataron en una cámara fría durante 18 horas, después cada muestra se humedeció por inmersión en solución de 150 mM de CaCl<sub>2</sub> por 3 horas y se almacenaron en cámara fría. Al retirar de la solución, las muestras fueron almacenadas a 0 °C durante 48 horas. El resultado mostró que las calpaínas disminuyeron su actividad en un 61 %, de ellas la  $\mu$ -calpaína en mayor proporción a las 48 horas de almacenamiento, en comparación con la m-calpaína. La disminución de la actividad del inhibidor calpastatina fue similar con la disminución de  $\mu$ -calpaína (Gerelt et al., 2005).

Whipple et al, (1992) comprobaron que la congelación previa al marinado disminuye la actividad de las calpastatinas y la aplicación de calcio activa el sistema proteolítico de calpaínas mejorando la suavidad. El estudio fue realizado en cortes de res marinados durante 48 horas en 150 mM de CaCl<sub>2</sub> a una temperatura de 4 °C. Los resultados muestran que la congelación y el marinado reducen la actividad de las calpastatinas (Whipple et al., 1992).

En otro estudio con músculos de vacas adultas, el uso de 200 mM de  $\text{CaCl}_2$  inyectado y almacenadas por 7 días a 2 °C, los resultados mostraron disminución en la resistencia al corte de la carne durante el almacenamiento en frío por 7 días con aumento en la jugosidad y el sabor de la carne (Diles et al., 1994). Según Lansdell et al. (2001), la inyección con  $\text{CaCl}_2$  influye sobre la suavidad de músculos de novillos *B. indicus* sacrificados comercialmente, el  $\text{CaCl}_2$  fue aplicado a las 24 horas *post mortem* y después se almacenó al vacío por 7 días a 2 °C. Los resultados muestran la mejora de la suavidad en carne de novillos inyectada, el sabor y el color no fueron afectados con 200 mM de  $\text{CaCl}_2$  (Lansdell et al., 1995). Además, el empaque al vacío no solo es una condición necesaria en el método sino que además ha demostrado favorecer el mejoramiento de la suavidad de la carne. Protege la superficie de la carne de contaminación y desecación, reduce la oxidación, aumenta la vida útil del producto y facilita su almacenamiento (Chacón, 2004). Jaturasitha et al, (2004) comentan que el contenido y la solubilidad del colágeno de músculos de animales *Bos indicus* de 4 años de edad no es afectada por el uso de inyección de cloruro de calcio a concentraciones de 0.2 a 0.4 mM *pre rigor*, sin embargo los indicadores de suavidad fueron altos en las diferentes concentraciones del  $\text{CaCl}_2$  también se evaluó la resistencia al corte inyectando y madurando por 7 días la carne, en donde se obtuvo una disminución del 50 % de la resistencia al corte comparada con el control.

### 3. *Actividad enzimática*

Diversos autores han mencionado la actividad de las enzimas endógenas que degradan la estructura del músculo, Whipple et al., 1992, Koohmaraie 1994, mencionan que existe un sistema multienzimático donde participan proteasas ácidas y neutras, las cuales en conjunto llevan a cabo toda la actividad enzimática de la carne. Martínez et al, (2008) mencionan en un estudio realizado en carne de ovino, que las proteasas neutras tienen mayor actividad durante el almacenamiento a  $0 \pm 2$  °C, debido a que estas se encuentran en los lisosomas y al disminuir el pH salen de éstos, difiriendo de otros autores en sus resultados. Hay que resaltar que en ganado *Bos indicus* la actividad de las proteasas ácidas puede disminuir por la presencia del inhibidor calpastatina antes ya

mencionado (Koohmaraie 1994). La actividad proteolítica puede ser estudiada midiendo las proteasas ácidas usando como sustrato hemoglobina a pH 4 (Anson, 1983) y las proteasas neutras utilizando como sustrato caseína a pH 7 (Kunitz 1947).

## **II. JUSTIFICACIÓN**

En la actualidad los músculos del cuarto delantero de la res tienen poco valor económico, sin embargo, se plantea que con un tratamiento adecuado, para la reducción de su dureza, estos músculos podrían ser comercializados como carne de mejor calidad y de mayor valor económico, por lo que se pretende mediante la aplicación de técnicas como la maduración en diferentes tiempos y la aplicación de soluciones de  $\text{CaCl}_2$ , mejoren su calidad y se aporte información para que la cadena de la carne en México obtenga beneficios de este estudio.

## **III. HIPÓTESIS**

Los tratamientos de maduración y  $\text{CaCl}_2$ , aplicados en los músculos del cuarto delantero, disminuirán la dureza de los mismos.

## **IV. OBJETIVO**

Disminuir la dureza de la carne de músculos del cuarto delantero del vacuno a partir de tratamientos químicos ( $\text{CaCl}_2$ ) y físicos (maduración).

## II. METODOLOGÍA

Se trabajó con 30 cuartos delanteros de bovino, 10 de ellos de características fenotípicas de la raza *Bos indicus*, (Brahman, Nelore y Gyr), 10 *Bos taurus* (Charolais, Limousin y Simmental) y 10 Cruzas comerciales, las cuales no presentaban morfológicamente características fenotípicas que pudieran ubicarlos en cualquiera de los otros dos grupos. Los criterios de selección de los animales en pie fueron los siguientes: machos enteros, de entre 18 y 24 meses de edad, con periodos de engorda de 80 a 110 días y con la adición de zilpaterol en la dieta (60 mg por cabeza al día durante los últimos 40 días de finalización). Los animales fueron sacrificados en rastros Tipo Inspección Federal (TIF), los animales *Bos indicus* y *Bos taurus* recibieron estimulación eléctrica (EE) después del degüello, con especificaciones de 680 Volts y un mili amperaje de 300 A 500 (0.3 A 0.5 Amperes) y con un tiempo de estimulación de 15 segundos. Por otro lado el grupo de cruzas comerciales no recibió estimulación eléctrica. Todas las canales se refrigeraron 24 horas a 0 °C, después se obtuvieron los siguientes músculos de cada cuarto delantero M. braquial (Br), M. complejo (Cx), M. esplenio (Es), M. infraespinoso (In), M. redondo mayor (Re), M. romboides (Ro), M. subescapular (Sb), M. supraespinoso (Sp), M. tríceps braquial cabeza larga (TL) y su porción de cabeza lateral (TLT). De cada músculo se obtuvieron 4 muestras de 2.5 cm de grosor y 6 cm de diámetro, que fueron identificadas individualmente para cada uno de los tratamientos más el control que no recibió ningún tratamiento. Las muestras se empacaron al vacío en envases isotérmicos con geles refrigerantes, posteriormente se congelaron a -30 °C, hasta el momento de aplicar el tratamiento de mejora.

### A. Método de Maduración

El método de maduración consiste en permitir que las muestras sean refrigeradas envasadas al vacío durante varios días para que la acción de las enzimas proteolíticas debiliten la estructura muscular con el consecuente reblandecimiento de la carne. Para esto, una vez descongeladas (24 horas a 0° C) las muestras destinadas a los

tratamientos de maduración fueron refrigeradas a temperatura de  $0 \pm 3$  °C durante 7, 14 o 21 días según el tratamiento.

B. Método de Marinación con Cloruro de Calcio.

Los músculos que no mostraron mejora con la maduración a 21 días recibieron el tratamiento de marinación con cloruro de calcio. Se preparó una solución con cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) granulado, grado alimenticio permitido por la Food and Drug Administration, con una concentración de 200 milimoles, en litro y medio de agua purificada a 23 °C; la solución se agregó en recipientes de acero inoxidable, después se mantuvieron en refrigeración a una temperatura de  $0 \pm 3$  °C, durante 48 horas.

C. Cocinado

Todas las muestras se asaron en una parrilla eléctrica (Black & Decker IG201) hasta alcanzar una temperatura interna de 70 °C, la cual fue monitoreada con termopares hierro-constantas (Omega Engineering Inc., Stanford, USA) y un termómetro portátil de registro (Fluke). Una vez que se alcanzó la temperatura interna de 70 °C, la muestra fue retirada del asador y se dejó enfriar a temperatura ambiente de 16 – 20 °C durante una a dos horas hasta que obtuviera una temperatura de 20 °C.

D. Medición de la Fuerza de Corte

La prueba de fuerza de corte se realizó de acuerdo con la American Meat Science Association (AMSA). Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation and Instrumental Tenderness Measurements of Fresh Meat (AMSA, 1995). Posteriormente de que se enfriaron las muestras se obtuvieron con un saca bocados, varios cilindros de 1 cm de ancho por 2-3 cm de largo de cada corte, paralelos a la orientación longitudinal de las fibras musculares, para la posterior medición de Warner-Bratzler. Para evaluar la dureza de la carne se utilizó la cuchilla de Warner-Bratzler (TA.XTPlus). Los cilindros se colocaron debajo de la cuchilla y fueron cortados mientras se registraban los datos de la fuerza en kilogramos (Kg) como unidad de medición.



#### E. Medición de la Actividad Proteolítica

Para conocer la actividad proteolítica de los músculos se seleccionaron tres muestras, una del músculo más duro M. braquial (Br), otra del más suave M. infraespinoso (In) y otra de un intermedio M. esplenio (Es) tanto de los animales cruzas como de los *Bos indicus*.

Para la medición de la actividad proteolítica se obtuvo un extracto de carne con actividad enzimática, para ello se tomaron 2.5 g de carne de cada muestra, la cual fue homogenizada durante 1 minuto con 5 ml de solución de extracción, (sacarosa 0.25 M, Tris 0.01 M pH 7), después se centrifugó durante 30 min a 2000 rpm a 4 °C y se recuperó el sobrenadante para ser almacenado a 4 °C y usarlo posteriormente con sus respectivos sustratos en la determinación de la actividad proteolítica.

Se prepararon 2 sustratos a) hemoglobina al 1% por el método descrito de Anson (1983) para la determinación de proteasas ácidas y b) caseína al 1%, por el método de (Kunitz, 1947) para determinación de proteasas neutras. Posteriormente, 1 ml de sustrato se mantuvo durante 5 min a 35 °C, luego se adicionó el extracto enzimático de prueba y se incubaron por 15 minutos más y finalmente se les agregó 0.25 ml de ácido tricloroacético al 50 %, el cual detuvo la reacción y precipitó la proteína soluble. Posteriormente, se dejaron reposar 10 minutos a 4 °C, se centrifugo por 15 minutos a 4 °C a 11,000 rpm para eliminar el precipitado. Finalmente, se realizó la medición de la absorbancia (abs) del sobrenadante a una longitud de onda de 280 nm en un espectrofotómetro Beckman DU-650. La actividad proteolítica (AP), se definió mediante la siguiente ecuación:

$$P = (\text{abs} * \text{dilución}) / (0.001 * \text{tiempo} * \text{ml de extracto}).$$

La actividad enzimática se reportó en unidades de actividad proteolítica en donde, una unidad de actividad proteolítica es la cantidad de enzima que produce un cambio de 0.001 en la densidad óptica por minuto, a una longitud de onda de 280 nm por minuto.

## F. Análisis Estadístico

El análisis comenzó con la transformación de los datos a  $\text{Log}_{10}$  de acuerdo a los resultados de la prueba de distribución normal (prueba KSL) y de homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). Para la comparación de los promedios de fuerza de corte se utilizó el procedimiento GLM del programa estadístico SAS 9.2 (SAS Institute, Cary, NC USA). Dentro del modelo se incluyeron como factores principales el Tipo de Músculo (Bi, Br Cx, Es, In, Re, Ro, Sb, Sp, Tl t Tlt) Tratamiento de Maduración (Inicial, 7 días, 14 días, 21 días y  $\text{CaCl}_2$ ), Grupo Genético (*B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales).

## II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A. Fuerza de Corte Inicial en Músculos del Cuarto Delantero de Bovinos

Para el trabajo se utilizaron los valores de fuerza de corte iniciales (muestra control) obtenidos por Chávez, A. (2009), que midió la fuerza de corte en 11 músculos del cuarto delantero de bovinos *B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales. Las muestras del citado trabajo se obtuvieron de los mismos cuartos delanteros que se utilizaron en la presente investigación. Además, únicamente los animales *B. indicus* y *B. taurus* recibieron estimulación eléctrica. En consecuencia, sus valores de fuerza de corte iniciales no son comparables, ya que la estimulación eléctrica tiene una gran influencia en la fuerza de corte de la carne debido a que acelera la proteólisis *post mortem* (Olsson et al., 1994). No obstante, para discutir los efectos de la maduración sobre la fuerza de corte de los músculos, los resultados fueron analizados conjuntamente debido a que el efecto que la maduración debe estar ejerciendo sobre los músculos no va a ser influenciado por la estimulación aplicada en el sacrificio.

Tomando en cuenta la clasificación de Belew et al, (2003) los valores de fuerza de corte inicial de los diferentes grupos genéticos se estratificaron de acuerdo a los intervalos propuestos por el autor. En las Cruzas comerciales se obtuvieron valores iniciales de fuerza de corte mayores a 4.6 Kg., en los 11 músculos por lo cual se clasificaron como duros. Con respecto a *Bos indicus* los valores iniciales mostraron que el M. infraespinoso (In) tuvo una fuerza de corte de 3.9 a 4.6 Kg. clasificándose como intermedio, el resto de los músculos tuvieron valores mayores a 4.6 Kg. clasificándolos como duros. Para *Bos taurus* el M. infraespinoso (In) tuvo una fuerza de corte de 3.2 a 3.9 Kg. ( $p < 0.05$ ), clasificándose como suave, los músculos subescáplar (Sb), esplenio (Es) y complejo (Cx) mostraron una fuerza de corte de 3.9 a 4.6 Kg. clasificándose como intermedios, el resto de los músculos tuvieron una fuerza de corte  $>4.6$  Kg. clasificándose como duros. El resumen de la información anterior se presenta en el Cuadro 3.

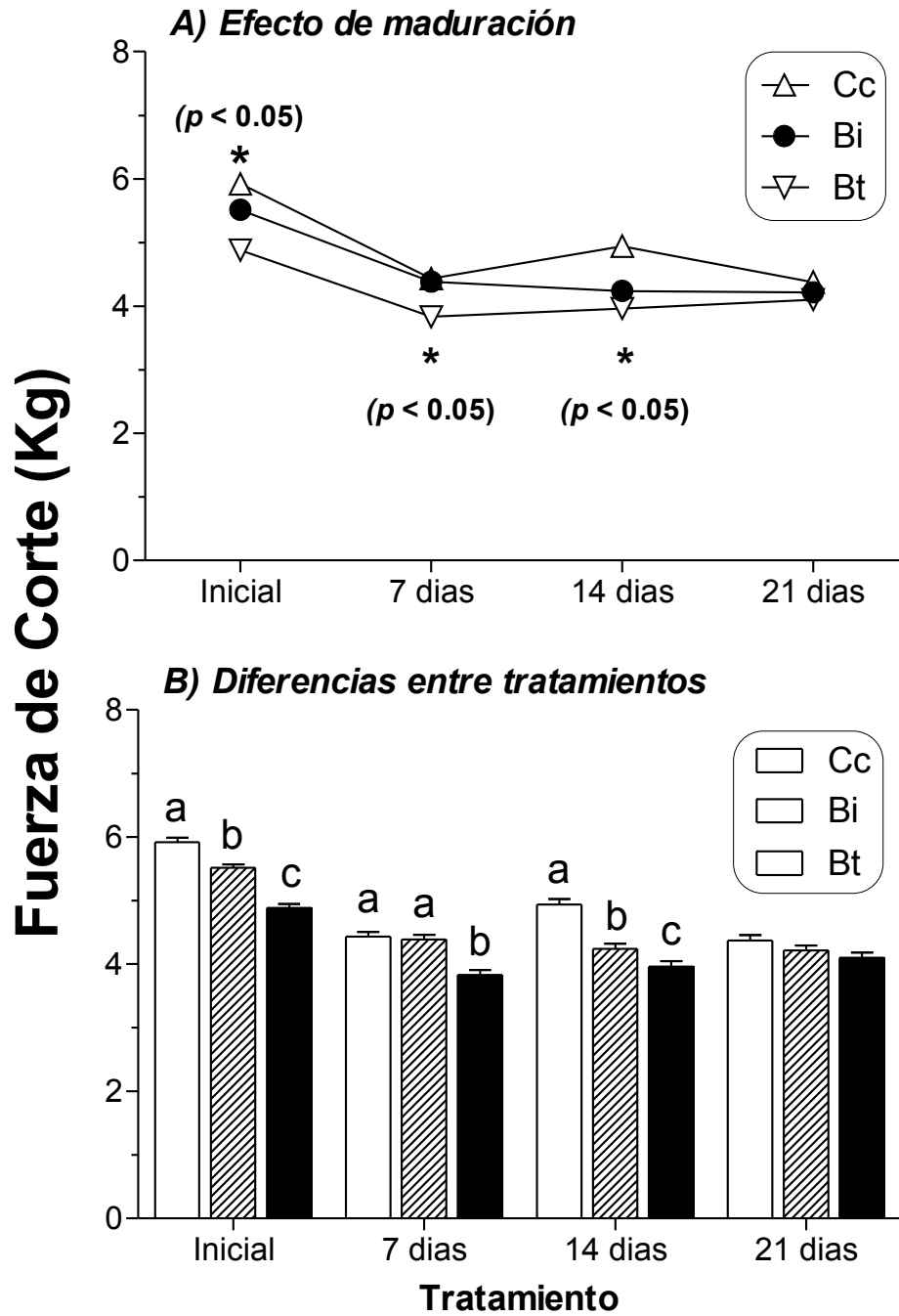
**Cuadro 3.** Clasificación de músculos del cuarto delantero de diferentes grupos genéticos de acuerdo a su fuerza de corte inicial.

Grupo	Categorías (Fuerza de Corte Kg.)		
	Suave (3.2 a 3.9)	Intermedio (3.9 a 4.6)	Duro (>4.6)
Genético			Bi, Br, Cx
			Es, In, Re
			Ro, Sb, Sp
			TL y TLT
<i>Bos indicus</i>		In	Bi, Br, Cx
			Es, Re, Ro
			Sb, Sp, TL y TLT
<i>Bos taurus</i>			Bi, Br, Re
	In	Sb, Es y Cx	Ro, Sp,
			TL y TLT

B. Efecto del Tratamiento de Maduración Sobre el Promedio de la Fuerza de Corte de Todos los Músculos de Cada Grupo Genético

En el panel A de la Figura 2 se presenta el cambio de la fuerza de corte con respecto al tiempo de almacenamiento en frío. En general se observa un efecto significativo de la maduración sobre la dureza de los músculos. Específicamente, en los tres grupos genéticos la fuerza de corte inicial es mayor ( $p < 0.01$ ) y se aprecia, tanto para *B. indicus* como *B. taurus*, una disminución significativa de la fuerza de corte para los días de almacenamiento 7 y 14 ( $4.47 \pm 0.07$ ,  $3.92 \pm 0.07$  Kg.  $p < 0.05$ ) respectivamente. Sin embargo, no se registró un efecto positivo a los 21 días, ya que los valores de fuerza de corte se mantienen muy similares a los días 14 y 21 ( $4.28 \pm 0.07$ ,  $4.16 \pm 0.07$  Kg.  $p > 0.05$ ). Resulta interesante que para las Cruzas comerciales se registró un efecto negativo a los 14 días de almacenamiento, ya que la fuerza de corte pasó de  $4.47 \pm 0.07$  Kg. para el día 7 a  $4.99 \pm 0.08$  Kg. para el día 14. Además, para este mismo grupo tampoco se registró una disminución de la fuerza de corte a los 21 días de maduración con respecto a los 7 días.

En el panel B de la Figura 2 se muestran de forma resumida los resultados del análisis de las diferencias de los días de maduración entre los tres grupos genéticos. La fuerza de corte inicial (sin maduración) para *B. indicus* ( $5.51 \pm 0.05$  Kg.) y *B. taurus* ( $4.88 \pm 0.06$  Kg.) es significativamente diferente ( $p < 0.05$ ). A los 7 días la fuerza de corte resultó similar entre los músculos de las Cruzas comerciales y los de *B. indicus* ( $4.47 \pm 0.07$  Kg.  $p > 0.05$ ). En contraste, *B. taurus* presentó los músculos más blandos ( $3.92 \pm 0.07$  Kg.  $p < 0.01$ ). La maduración a 14 días provocó una tendencia similar a la descrita previamente para los músculos de *B. taurus*, ya que en este grupo genético se presentó una menor fuerza de corte ( $p < 0.05$ ). Por último, en el último día del tratamiento no presentaron diferencias entre los grupos genéticos ( $p > 0.05$ ). Tomados en conjunto, los resultados coinciden de forma general con diversos autores que señalan que la fuerza de corte disminuye conforme aumentan los días del almacenamiento en frío (Monsón et al 2004, Simões et al 2004). No obstante, en el presente estudio no se registró un efecto en la disminución de la dureza de los músculos bovinos que son madurados a los 21 días.



**Figura 2.** Efecto de los días de maduración en los grupos genéticos *Bos indicus*, *Bos taurus* y Cruzas comerciales

Diferencias significativas durante los días de maduración se representan con \* ( $p < 0.05$ ).

a, b, c: diferentes letras en el mismo tratamiento indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

<sup>a</sup> Línea genética con mayor fuerza de corte

<sup>b</sup> Línea genética con fuerza de corte intermedia

<sup>c</sup> Línea genética con menor fuerza de corte.

El promedio de la fuerza de corte inicial de todos los músculos de las Cruzas comerciales ( $5.97 \pm 0.06$  Kg.) se puede clasificar dentro de la categoría de músculos duros de acuerdo a Belew et al, (2003). Parte de la dureza de la carne de este grupo se explica tomando en cuenta que en México el ganado en su mayoría son cruzas (cebú  $\times$  europeo) (Méndez et al, 2009), en las cuales predomina el genotipo *B. indicus* que partir de 25 % de cruce de su genética compromete la suavidad de la carne (Koomharaie 1994). Además, en éstas mismas cruzas se utiliza regularmente el  $\beta$ -agonista adrenérgico clorhidrato de Zilpaterol que propicia una mayor eficiencia de uso del alimento, la cual se manifiesta en mejores características de la canal pero que tiene un efecto negativo sobre la fuerza de corte de la carne (Morón-Fuenmayor et al 2002). Éstas características en conjunto posiblemente afectan la dureza de la carne en las Cruzas comerciales, sin dejar de lado el hecho de que no recibieron estimulación eléctrica al momento del sacrificio.

c. Efecto de Maduración Sobre la Fuerza de Corte de Cada Músculo del Cuarto Delantero de Bovinos *B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales

1. Músculo *Bíceps braquial* (Bi)

El M. bíceps braquial (Bi) se utiliza para la locomoción y pertenece al cuarto delantero, tiene un alto contenido en colágeno y se origina en la tuberosidad de la escápula. Su nombre común es planchuela y tiene la función de flexionar la articulación del codo que se encuentra fija al hombro y al codo en el animal parado, además de que tensa la fascia antebraquial. Entre otras características presenta alrededor de 68mg/g de grasa, 194 mg de proteína y una fuerza de corte de  $5.15 \pm 0.13$  Kg. (Jones S. et al., 2009).

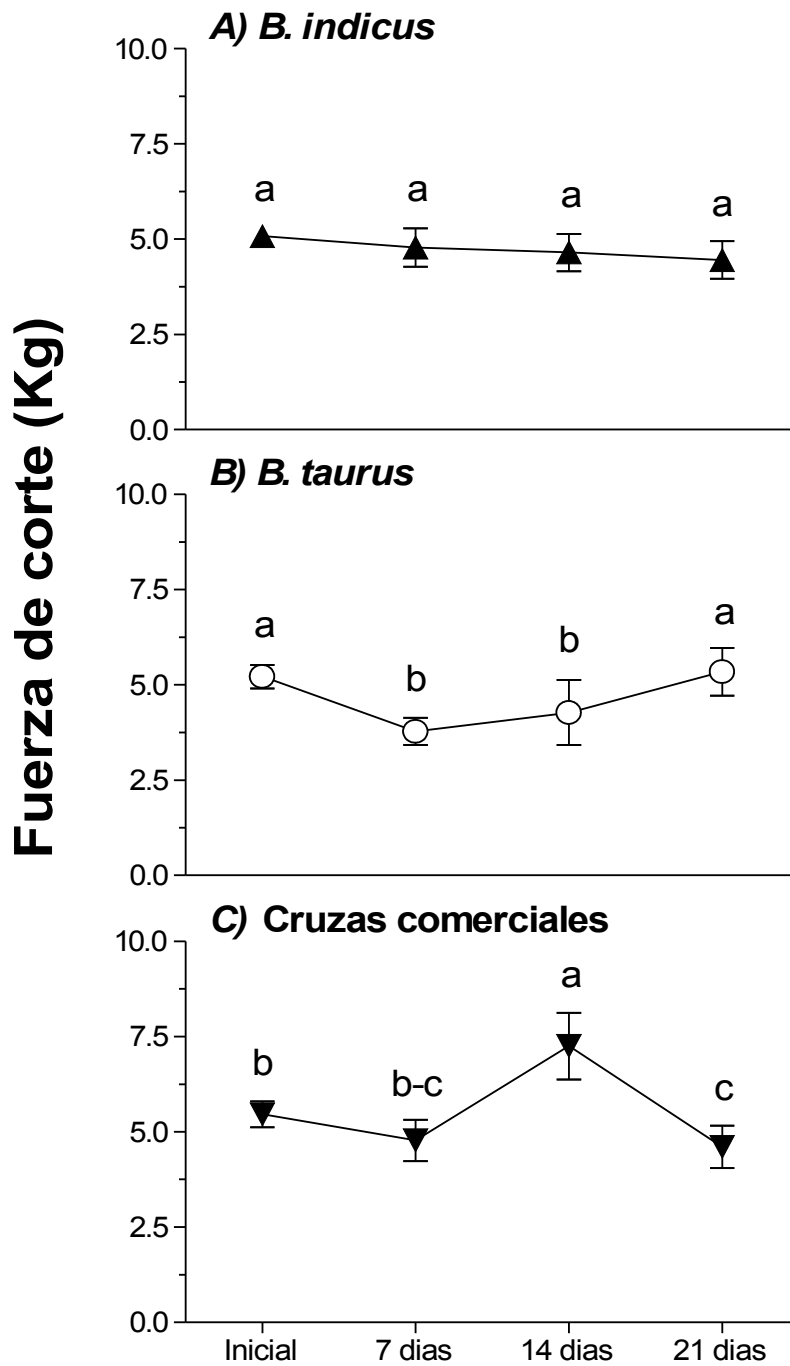
Como se aprecia en la Figura 3 la capacidad de maduración del M. bíceps braquial (Bi) difiere según el grupo genético. Los músculos de la cruce comercial (panel C) y de *B. taurus* (panel B) tuvieron un descenso en la resistencia al corte de 17% ( $p > 0.05$ ) y 39% ( $p < 0.05$ ) durante los primeros 7 días con respecto a la dureza inicial. Sin embargo, la resistencia al corte del M. bíceps braquial (Bi) de *Bos indicus* (panel A) sólo disminuyó en 7% con respecto a la dureza inicial, y de hecho

se conservó sin cambios desde la etapa inicial hasta el final de la maduración ( $p > 0.05$ ).

Von Seggern et al, (2005) ubican a este músculo con valores de fuerza de corte menores a 3.8 Kg., mientras que Belew et al, (2003) le otorgan una categoría de muy suave con menos de 3.2 Kg. No obstante, los resultados presentados en ésta investigación no coinciden con dichas observaciones, ya que de los tres grupos genéticos, únicamente *B. taurus* presenta una fuerza de corte menor a 3.8 Kg. a los 7 días de maduración. En consecuencia, es posible decir que el M. bíceps braquial (Bi) se categoriza como duro, >4.6 Kg. de fuerza de corte, en bovinos *B. indicus* y en las Cruzas comerciales, con mediana capacidad de maduración y en *Bos taurus* como intermedio con una fuerza de corte menor a 3.9 Kg. a los 7 días de almacenamiento con alta capacidad de maduración.

Por otra parte, en *B. taurus* y Cruzas comerciales se observaron incrementos en la dureza después de los 7 días de maduración. A este respecto, Stolowski et al, (2006) muestran resultados similares en los cuales durante la maduración de 2 a 42 días en diferentes músculos se presenta un aumento de la resistencia al corte a los 14 días de almacenamiento en frío. Los autores no discuten las razones específicas que explican dicho comportamiento, únicamente mencionan que los músculos que incrementan su fuerza de corte durante la maduración tienen una mayor cantidad de colágeno total al ser comparados con el resto de los músculos que no muestran este comportamiento. Esta idea puede ser un factor importante a considerar para el aumento de la fuerza de corte en los días de almacenamiento en frío. Por ejemplo, la cantidad de tejido conectivo de cada músculo puede forzar la cuchilla de corte al encontrarse con este factor que posiblemente puede provocar un aumento en la resistencia al corte. Al respecto, Riley et al, (2005) demuestran que hay una asociación en la cantidad de tejido conectivo y la fuerza de corte, además de que por cada mg de colágeno insoluble que aumenta en las muestras de ganado *B. indicus* se presenta un incremento de la fuerza de corte a los 7 y 21 de maduración.





**Figura 3.** Fuerza de Corte del M. bíceps braquial de Bovinos *B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales

a, b, c: Fuerza de corte con diferente letra, indica diferencias significativas entre los días de maduración ( $p < 0.05$ ).

<sup>a</sup> Día de maduración con el valor mayor de fuerza de corte

<sup>b</sup> Día de maduración con el valor de fuerza de corte intermedio

<sup>c</sup> Día de maduración con el valor menor de fuerza de corte.

## 2. Músculo Braquial (Br)

Este músculo es de alto contenido de colágeno, pertenece al cuarto delantero y tiene su origen en el tercio proximal de la superficie posterior del húmero, su función es la de flexionar el codo, alguna de sus características son: 40 mg/g de grasa, 191 mg de proteína y 14.30 mg/g de ceniza, su fuerza de corte se ubica en  $5.86 \pm 1.3$  Kg. (Jones S. et al., 2009).

En la Figura 4 se muestra el efecto de la maduración sobre la fuerza de corte del M. braquial (Br) de *B. indicus* (panel A), *B. taurus* (panel B) y Cruzas comerciales (panel C). De forma característica el M. braquial (Br) presentó una de las fuerza de corte inicial más altas (Figura 1). La maduración a los 7 días en las Cruzas comerciales y en *B. taurus*, disminuyó significativamente la fuerza de corte en un 22 y 26.6%, respectivamente ( $p < 0.05$ ) con relación al valor inicial. Sin embargo, en *B. indicus* se observó un comportamiento diferente, ya que la fuerza de corte del M. braquial (Br) aumentó, aunque sin diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) con respecto al valor inicial. De hecho, para ningún grupo genético se determinó un efecto positivo y significativo sobre la disminución de la fuerza de corte a través del tiempo del almacenamiento en frío, ya que los valores obtenidos a 14 y 21 días resultaron en todos los casos muy similares a la fuerza de corte medida al inicio del experimento ( $p > 0.05$ ).

Belew et al, (2003) mencionan que el M. braquial (Br) es duro, con valores de fuerza de corte desde 4.8 hasta 5.0 Kg. Los resultados de la investigación realizada concuerdan con esta observación y nos permiten concluir que aún con un periodo de maduración de 14 días el músculo braquial no disminuye su dureza.

Adicionalmente, en la Figura 4 se presenta la actividad de las proteasas neutras y ácidas del M. braquial (Br) de Cruzas comerciales (panel C), en la cual se observa que las proteasas ácidas tuvieron mayor actividad que las neutras a los 7 días de maduración coincidiendo con la disminución de la fuerza de corte de este músculo. Con respecto a *B. indicus*, en el panel A se muestra que la actividad de las proteasas neutras, inicialmente fue mayor que la actividad de las proteasa ácidas. Al aumentar la actividad de las proteasas ácidas disminuye la fuerza de corte. A este

respecto Martínez et al, (2008) comentan que las proteasas neutras podrían mostrar menor actividad por la presencia del inhibidor calpastatina presente en ganado *B. indicus* a los 0 días (sin maduración). Después de 7 días de almacenamiento aumentó la actividad de las proteasas neutras, ya que con el almacenamiento en frío la actividad de calpastatina (neutras) disminuye. Por su parte, Gerelt et al, (2002) menciona que la clave de la proteólisis miofibrilar, y por lo tanto del ablandamiento de la carne, está dada por la actividad de las calpaínas y ocurre durante el almacenamiento a temperaturas de refrigeración (0 a 4°C). En conclusión, el M. braquial (Br) se puede clasificar como duro, con >4.6 Kg. de fuerza de corte y con muy baja capacidad de maduración, lo anterior en los tres grupos genéticos.

### 3. *Músculo Complexo (Cx)*

Este músculo pertenece al cuarto delantero de la res y contiene poca cantidad de tejido conectivo, tiene su origen en la tercera, cuarta y quinta costilla por medio del ligamento escapular dorsal; proceso transversal de las primeras seis o siete vertebrae torácicas y los procesos transversales articulares de las vertebrae cervicales. Tiene la función de extender la cabeza y el cuello. Algunas de sus características son 83.70 mg/g de grasa, 181 mg de proteína, se considera ligeramente tierno y de intenso aroma, su fuerza de corte es 5.61 Kg. (Jones S. et al., 2009).

En las Figura 5 se resume el efecto de la maduración en la fuerza de corte del M. complejo (Cx) de *B. indicus* (panel A), *B. taurus* (panel B) y Cruzas comerciales (panel C). Se observa una disminución en la fuerza de corte inicial a los 7 días de maduración, siendo significativos especialmente en las Cruzas comerciales en donde tiene una disminución de la fuerza al corte de 43% ( $P < 0.05$ ) a los 7 días de maduración (Figura 14). A partir de los 7 días en adelante, no hay diferencias que muestren un mejoramiento de la suavidad del músculo. Para el M. complejo (Cx) de *Bos indicus* (panel A) se mostró una disminución en la resistencia al corte del 38% a los 7 días de maduración, tiempo suficiente para que haya descenso significativo de la resistencia de corte, mientras que el M. complejo (Cx) de *Bos taurus* (panel B) disminuyó en un 22% su resistencia al corte sin mostrar mejoras significativas durante el resto de días de la maduración.

De acuerdo con Belew et al, (2003) el M. complejo (Cx) alcanza una categoría de suave con valores de 3.2 a 3.9 Kg., mientras que Von Seggern et al, (2005) reportan valores de 3.8 a 4.8 Kg..

Con base en los resultados de este estudio se puede afirmar que el M. complejo es de categoría intermedia con 3.9 a 4.6 Kg. de fuerza de corte y con mediana capacidad de maduración en las tres líneas genéticas.

#### 4. *Músculo Esplenio (Es)*

Este músculo pertenece al cuarto delantero de la res, se origina en la tercera, cuarta y quinta espina torácica del ligamento dorso escápular y la parte funicular del ligamento nuchal, su función es la de elevar el cuello y la cabeza, posee pequeñas cantidades de tejido conectivo. Algunas de sus características son 43.50 ml/g de grasa, 198 mg de proteína, tiene un sabor ligeramente intenso y jugoso, se considera como un músculo duro con una fuerza de corte de  $5.26 \pm 0.1$  Kg. (Jones S. et al., 2009).

En la Figura 6 se puede observar el efecto de la maduración del M. esplenio (Es). Para todos los grupos genéticos la maduración ocurrió de manera similar, ya que desde el día 7 se registró una disminución significativa ( $p < 0.01$ ) con respecto a la dureza inicial. Sin embargo, el valor de fuerza de corte presentó valores muy parecidos a lo largo del proceso de maduración ( $p > 0.05$ ).

En *B. indicus* (panel A), el M. esplenio (Es) presentó el mayor porcentaje de disminución de la fuerza de corte a los 7 días de maduración (41%,  $p < 0.01$ ), el cual se conservó con valores similares durante la maduración ( $p > 0.05$ ). En contraste, *B. taurus* (panel B) y Cruzas comerciales únicamente presentaron una disminución del 25 y 20%, respectivamente a los 7 días de maduración ( $p < 0.05$ ). Sin disminuciones significativas ( $p > 0.05$ ) en la fuerza de corte durante el resto de los tratamientos.

Para el M. esplenio (Es) previamente se han obtenido valores de fuerza de corte de 3.2 a 4.8 Kg. que lo ubican como un músculo intermedio (Belew et al. 2003; Von Seggern et al. 2005).

Con respecto a la actividad proteolítica, es posible mencionar que en las Cruzas comerciales (panel C) el M. esplenio (Es) presentó al día 0 (sin maduración)

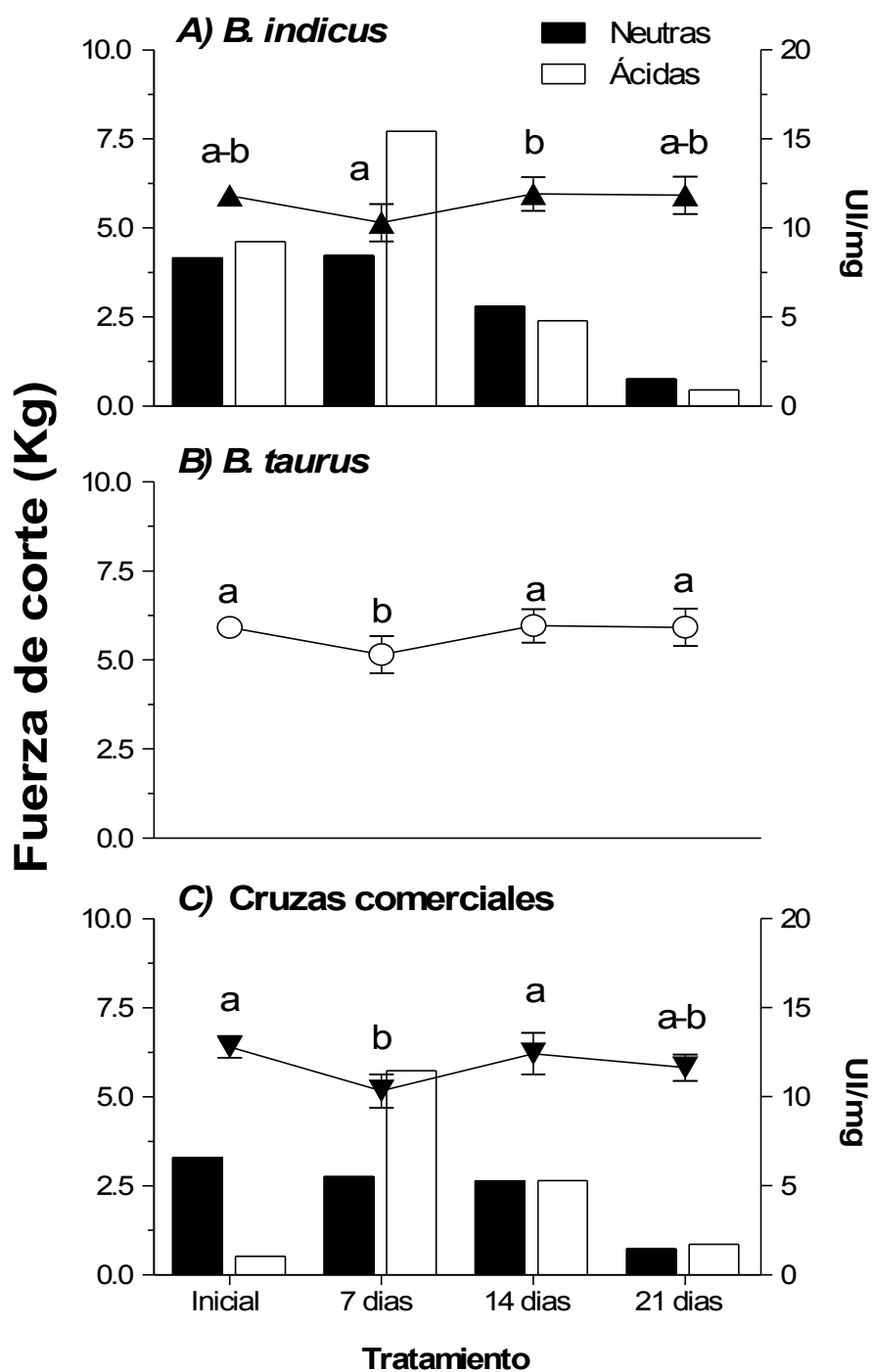
una mayor actividad de proteasas ácidas, mientras que al parecer, a los 7 días de maduración las proteasas neutras presentan el pico de su actividad durante el proceso de maduración. Evento que posiblemente se retrase en los bovinos *B. indicus*, ya que la mayor actividad de las proteasas ácidas se presenta al día 0 y el pico de la actividad se presenta hasta el día 14 de maduración (panel A).

La disminución de la actividad enzimática va ocurriendo conforme aumentan los días de tratamiento. Así tenemos que a los 21 días de maduración ya no se observa actividad de proteasas. También se puede observar que antes de llevar a cabo la maduración en *B. indicus* y en las Cruzas comerciales, la fuerza de corte fue mayor coincidiendo con la actividad alta de las proteasas ácidas en este caso a mayor actividad de las proteasas ácidas, comienza a disminuir la fuerza de corte.

Koohmaraie (1994) menciona que la mayor actividad proteolítica puede ser medida a las 24 horas. En la investigación que se presenta la actividad de proteasas del M. esplenio (Es) resultó mayor a los 0 días de tratamiento, ocasionado principalmente por las proteasas ácidas. Asimismo, se ha reconocido también una capacidad baja de los músculos *B. indicus* para madurar, proceso que además está determinado por un elevado número de factores que afectan la suavidad de la carne (Koohmaraie, 1994).

En este contexto, algunos de los factores que afectan al ganado *B. indicus* y *B. taurus*, criados con las mismas prácticas y condiciones similares, son el clima, la dieta y la edad al sacrificio. Además del pH, el descenso de temperatura, la composición muscular, el tipo de fibra y diámetro, la cantidad y solubilidad del colágeno, la longitud de sarcómero y el índice de fragmentación miofibrilar. Todos estos factores en conjunto posiblemente determinaron parte de las diferencias que encontramos entre los tres grupos genéticos.

Con base en los resultados de este estudio, se puede afirmar que el M. esplenio (Es) presenta una dureza intermedia que va de 3.9 a 4.6 Kg. de fuerza de corte y con una alta capacidad de maduración, principalmente en el ganado *B. indicus* y de mediana capacidad de maduración para los bovinos *B. taurus* y Cruzas comerciales.



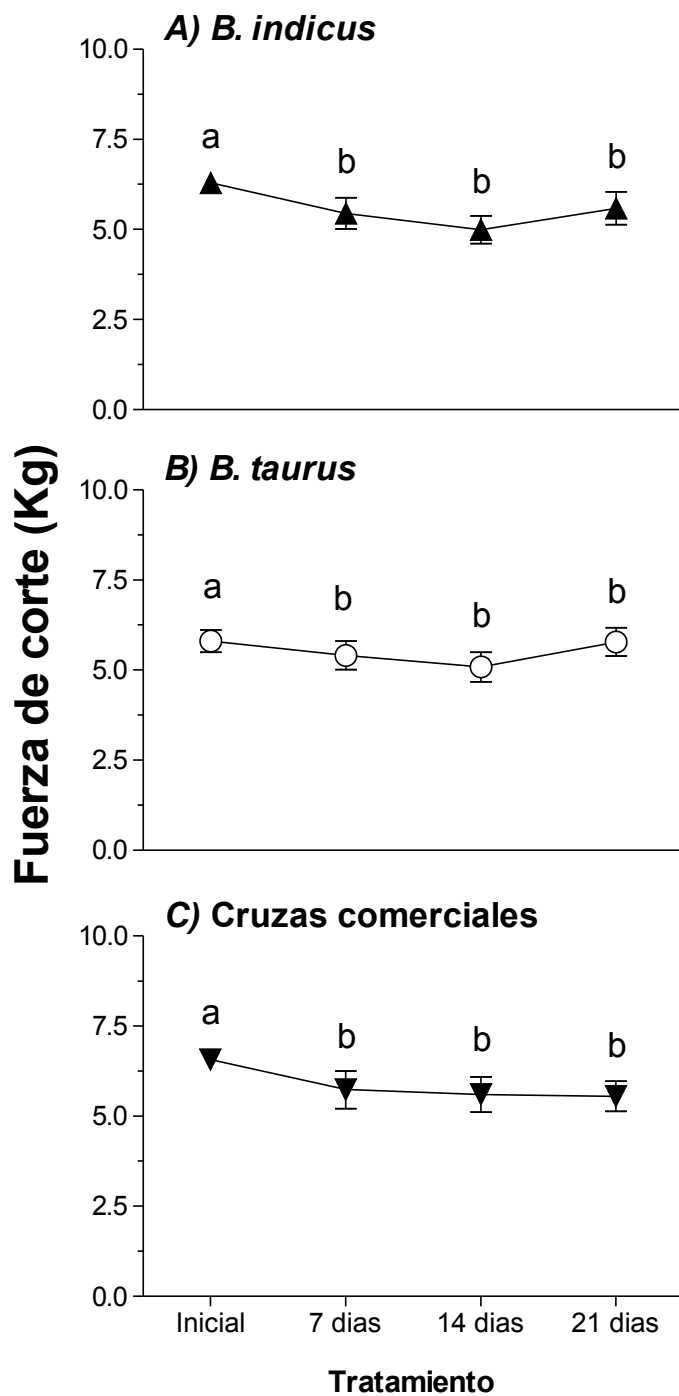
**Figura 4.** Actividad proteolítica y Fuerza de Corte del M. braquial de Bovinos *B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales

a, b, c: Fuerza de corte con diferente letra, indica diferencias significativas entre los días de maduración ( $p < 0.05$ ).

<sup>a</sup> Día de maduración con el valor mayor de fuerza de corte

<sup>b</sup> Día de maduración con el valor de fuerza de corte intermedio

<sup>c</sup> Día de maduración con el valor menor de fuerza de corte.



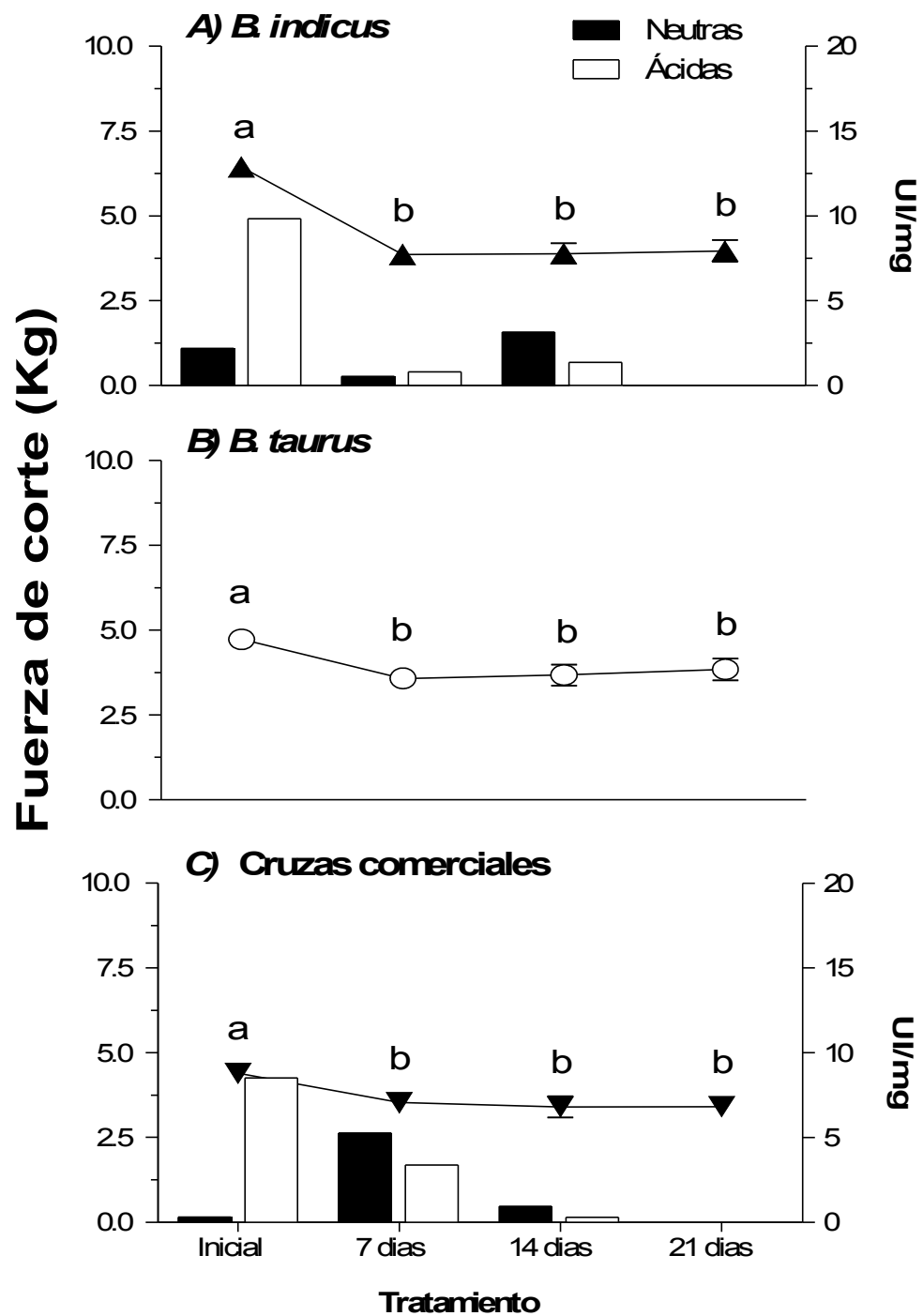
**Figura 5.** Fuerza de Corte del M. complejo de Bovinos *B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales

a, b, c: Fuerza de corte con diferente letra, indica diferencias significativas entre los días de maduración ( $p < 0.05$ ).

<sup>a</sup> Día de maduración con el valor mayor de fuerza de corte

<sup>b</sup> Día de maduración con el valor de fuerza de corte intermedio

<sup>c</sup> Día de maduración con el valor menor de fuerza de corte.



**Figura 6.** Actividad proteolítica y Fuerza de Corte del M. esplenio de Bovinos *B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales

a, b, c: Fuerza de corte con diferente letra, indica diferencias significativas entre los días de maduración ( $p < 0.05$ ).

<sup>a</sup> Día de maduración con el valor mayor de fuerza de corte

<sup>b</sup> Día de maduración con el valor de fuerza de corte intermedio

<sup>c</sup> Día de maduración con el valor menor de fuerza de corte.



## 5. Músculo Infraespinoso (In)

Este músculo pertenece al cuarto delantero y tiene su origen en el proceso infraespinoso del cartílago escapular. Su función es la de abducir el brazo, rotándolo hacia fuera, también actúa como ligamento lateral. Algunas de sus características son 91.80 mg/g de grasa, 189 mg de proteína, contiene cantidades mínimas de tejido conectivo, se considera de aroma ligeramente intenso y moderadamente jugoso, moderadamente tierno con una fuerza de corte de 3.5 Kg. (Jones S. et al., 2009).

En las Figura 7 se muestra el efecto de la maduración del M. infraespinoso (In). A los 7 días de tratamiento las Cruzas comerciales (panel C) y *B. indicus* (panel A) mejoraron significativamente la suavidad en un 30 y 33%, respectivamente ( $p < 0.05$ ) con respecto a la fuerza de corte inicial. Por el contrario, en *Bos taurus* no se presentó una disminución a los 7 días de maduración, ya que los valores de fuerza de corte fueron similares a los iniciales ( $p > 0.05$ ; panel B).

La maduración del M. infraespino (In) presentó una disminución evidente desde el día 7, pero fue similar durante los demás días de tratamiento para los grupos genéticos ( $p > 0.05$ ). Cabe señalar que en todos los casos, la fuerza de corte del M. infraespinoso (In) se ubicó siempre en valores menores a 3.7 Kg., razón por la cual se clasificó como suave en la presente investigación. De acuerdo a Belew et al, (2002), el M. infraespinoso (In) de *B. taurus* entraría en la categoría de músculos suaves y el de *B. indicus* en la de intermedios, de acuerdo con Von Seggern et al, (2005).

Evidentemente la actividad proteolítica del M. infraespinoso (In) en *B. indicus* es menor que en el M. braquial (Br) (Figura 4A) y el M. esplenio (Es) (Figura 6A). Para el M. infraespinoso (In) de las Cruzas comerciales, las proteasas ácidas tienen mayor actividad que las neutras sin tratamiento (0 días), después a los 7 días de maduración ambas enzimas disminuyen considerablemente para después eliminar su acción casi por completo a los 14 días. En este sentido, Whipple et al, (1992) mencionan que la actividad del inhibidor calpastatina llega a disminuir con la congelación. Dadas las características de este músculo, el tiempo en congelación

que se dio antes del experimento posiblemente favoreció la disminución de la actividad del inhibidor calpastatina.

Se ha determinado previamente en ganado europeo que el M. infraespinoso (In) presenta una mayor longitud de sarcómero, altas pérdidas al cocinado, alta concentración de vitamina de E y un bajo índice de fragmentación miofibrilar con pH alto, además de mayor grasa intramuscular comparado con el longísimo torácico (Purchas et al, 2008). Además, Mills et al, (1989) encontró que la solubilidad del colágeno del M. infraespinoso (In) aumenta durante el periodo de maduración, con el mayor efecto dentro de las primeras 8 horas de maduración. Éstas características pueden ser determinantes para influir la fuerza de corte del M. infraespinoso (In), la cual es menor al ser comparado con el resto de los músculos. El M. infraespinoso (In) tiene una fuerza de corte de 3.2 a 3.9 Kg. categorizándolo como suave y con alta capacidad de maduración en las tres líneas genéticas.

#### 6. *Músculo Redondo mayor (Re)*

Este músculo pertenece al cuarto delantero, se origina en el ángulo caudal de la escápula su función es de flexionar el hombro y aducir el brazo. Entre sus características encontramos un contenido de grasa de 52 mg/g, 199 mg de proteína, contiene cantidades mínimas de tejido conectivo y una fuerza de corte de  $4.97 \pm 0.14$  Kg. (Jones S. et al., 2009).

El efecto de la maduración del M. redondo mayor (Re) se presenta en la Figura 8. En *B. indicus* (panel A) y *B. taurus* (panel B) se aprecia una disminución significativa de la fuerza de corte a los 7 días de maduración ( $p < 0.05$ ). No obstante, la disminución de la dureza no se extiende a lo largo de la maduración ya que en ambos casos la fuerza de corte presenta valores similares a los obtenidos a los 7 días ( $p > 0.05$ ). Con respecto a las Cruzas comerciales no se presentaron diferencias entre la fuerza de corte inicial y la registrada a los 7 días de maduración (panel C). Los resultados del presente estudio para *B. indicus* contrastan con hallazgos previos que mencionan que este músculo en *B. indicus* presenta una capacidad baja de maduración (Koochmaraie, 1994). Además, Belew et al, (2003) y Von Seggern et al, (2005) indican que el M. redondo mayor (Re) es uno de los músculos que presentan

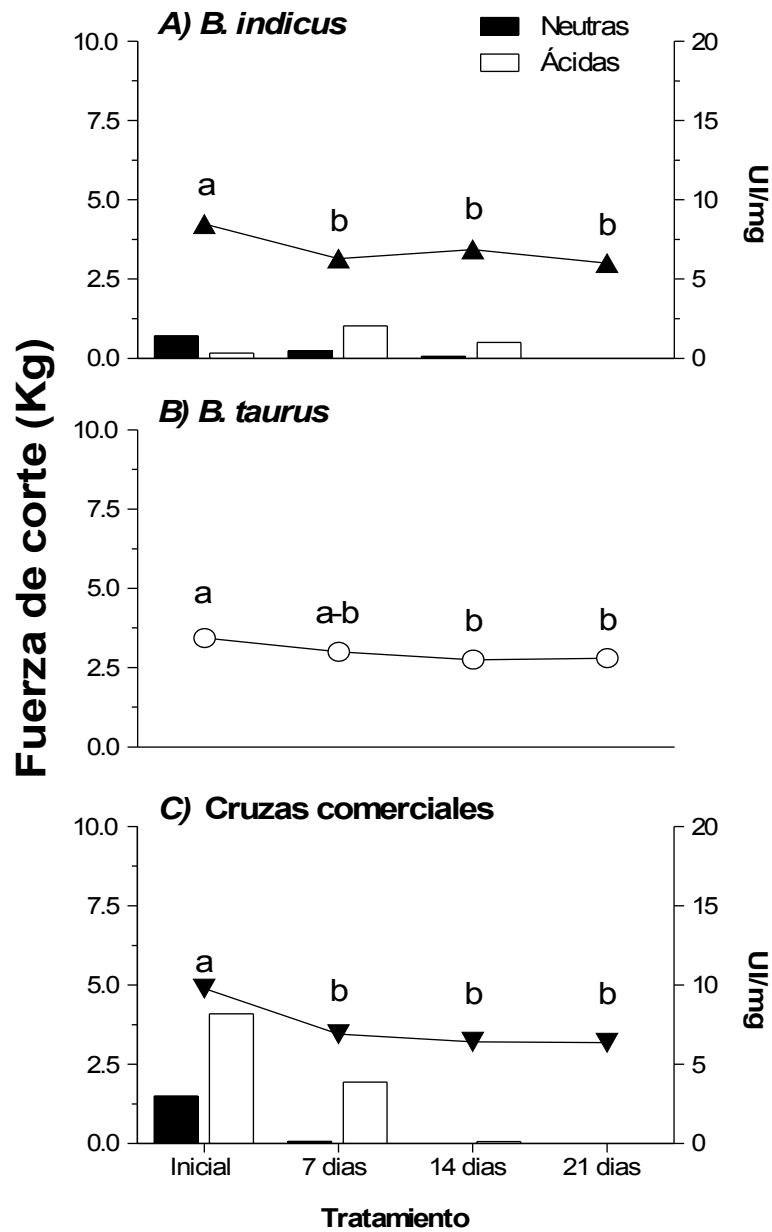
menor dureza, no sólo del cuarto delantero sino de toda la canal. Adicionalmente, James et al, (2008) señala que el M. redondo mayor (Re) tiene mejores valores de suavidad en pruebas sensoriales y de aceptabilidad, así como baja cantidad de tejido conectivo a los 7 días de maduración. Los resultados del estudio nos permiten concluir que el M. redondo mayor (Re) es suave con 3.2 a 3.9 Kg. de fuerza de corte y mediana capacidad de maduración en Cruzas comerciales y *B. taurus*, mientras que la capacidad de maduración es alta en *B. indicus*.

#### 7. *Músculo Romboides (Ro)*

Este músculo perteneciente al cuarto delantero es conocido comúnmente como la joroba y se presenta principalmente en animales *B. indicus*, se origina del ligamento nual de la segunda a la octava vértebra torácica, su función es de mover la escápula de craneal a dorsal, contiene 63.50 mg/g de grasa, 201 mg de proteína con cantidades moderadas de tejido conectivo, su aroma es ligeramente intenso y se considera duro con una fuerza de corte de  $5.48 \pm 1$  Kg. (Jones S. et al., 2009).

El efecto de la maduración del M. romboides (Ro) se resume en la Figura 9. En los tres grupos genéticos se observa un efecto positivo de la maduración sobre la fuerza de corte, ya que a partir del día 7 disminuye significativamente la dureza de la carne ( $p < 0.05$ ). Por ejemplo, a los 7 días de maduración se presentaron valores significativos en la disminución de la fuerza de corte y en similar proporción para *B. indicus* (25%, panel A) y Cruzas comerciales (20%, panel C). Con respecto a *B. taurus* (panel C) la disminución resultó muy significativa, ya que se obtuvo un 44% en la disminución de la dureza inicial ( $p < 0.01$ ). Chávez, A. (2009) demostró que el M. romboides (Ro) en *B. taurus* es más duro que en *B. indicus* ( $5.92 \pm 0.17$  y  $5.05 \pm 0.13$  Kg., respectivamente;  $p < 0.05$ ). Resultado probablemente determinado por el porcentaje de grasa del M. romboides (Ro) de *B. indicus*. Sin embargo, a pesar de la observación anterior el M. romboides (Ro) de *B. taurus* respondió de forma eficiente a la maduración. Autores como Belew et al, (2003) mencionan que el M. romboides (Ro) tiene una fuerza de corte de 3.2 a 3.9 Kg. No obstante, Von Seggern et al, (2005) y Calkins y Sullivan (2007) concluyen que es  $>4.8$  Kg. alcanzando los 5.12 Kg. Con base en los resultados de este estudio, se puede afirmar

que el M. romboides es un músculo suave con 3.2 a 3.9 Kg. de fuerza de corte y con capacidad de maduración mediana en animales *B. indicus* y Cruzas comerciales y una capacidad alta de maduración en *B. taurus*.



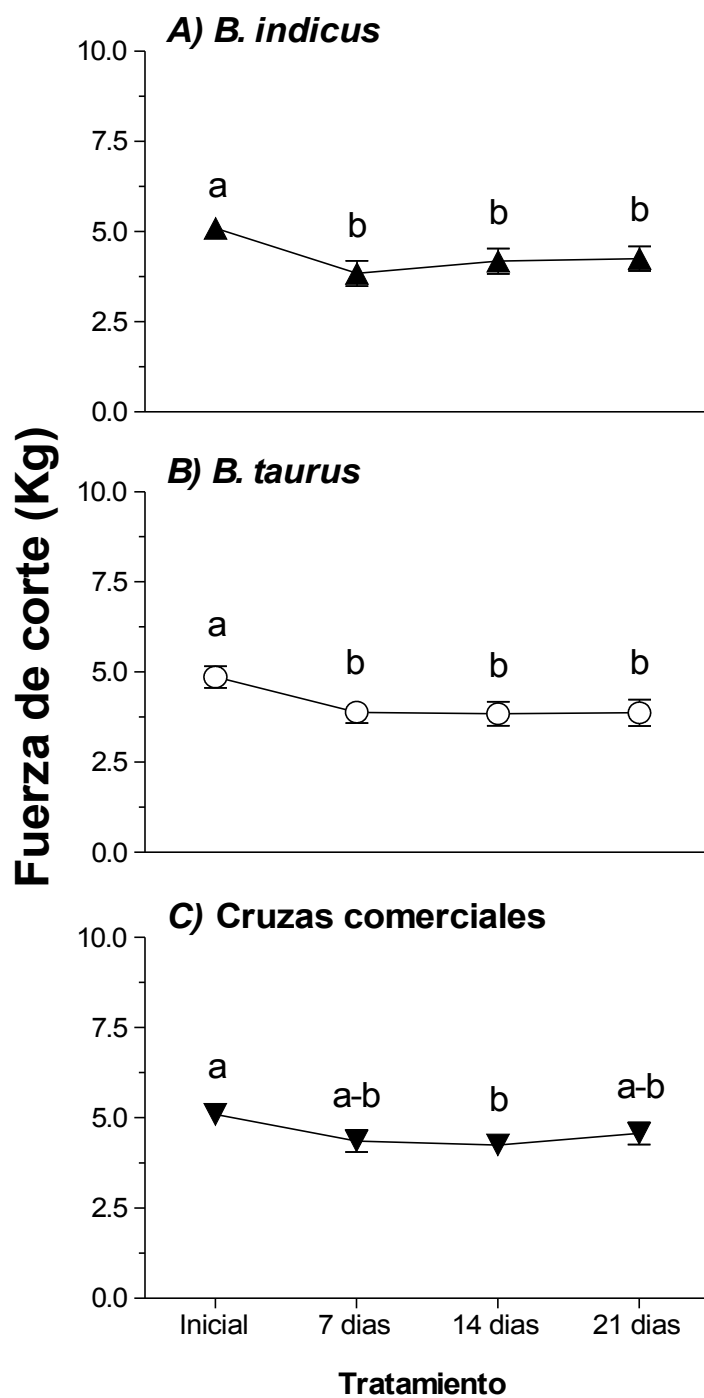
**Figura 7.** Actividad proteolítica y Fuerza de Corte del M. infraespinoso de Bovinos *B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales

a, b, c: Fuerza de corte con diferente letra, indica diferencias significativas entre los días de maduración ( $p < 0.05$ ).

<sup>a</sup> Día de maduración con el valor mayor de fuerza de corte

<sup>b</sup> Día de maduración con el valor de fuerza de corte intermedio

<sup>c</sup> Día de maduración con el valor menor de fuerza de corte.



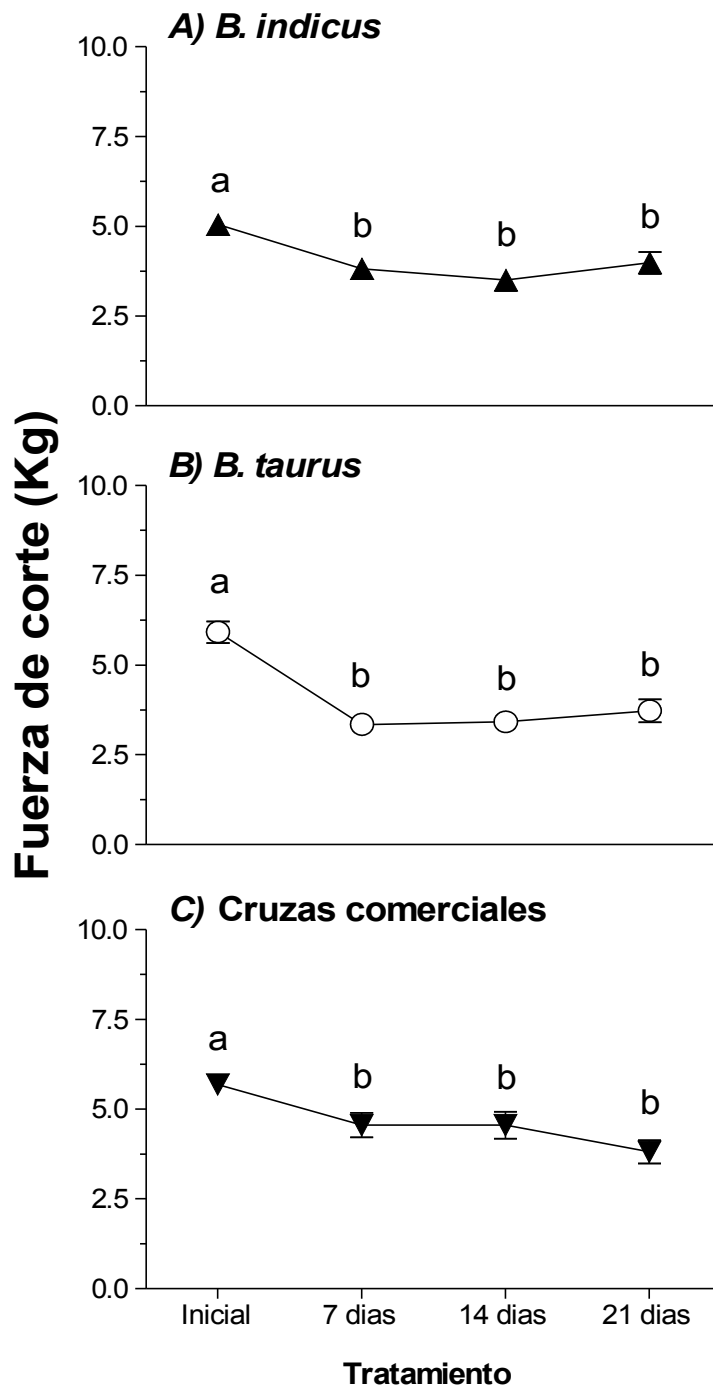
**Figura 8.** Fuerza de Corte del M. redondo mayor de Bovinos *B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales

a, b, c: Fuerza de corte con diferente letra, indica diferencias significativas entre los días de maduración ( $p < 0.05$ ).

<sup>a</sup> Día de maduración con el valor mayor de fuerza de corte

<sup>b</sup> Día de maduración con el valor de fuerza de corte intermedio

<sup>c</sup> Día de maduración con el valor menor de fuerza de corte.



**Figura 9.** Fuerza de Corte del M. romboides de Bovinos *B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales

a, b, c: Fuerza de corte con diferente letra, indica diferencias significativas entre los días de maduración ( $p < 0.05$ ).

<sup>a</sup> Día de maduración con el valor mayor de fuerza de corte

<sup>b</sup> Día de maduración con el valor de fuerza de corte intermedio

<sup>c</sup> Día de maduración con el valor menor de fuerza de corte.

## 8. *Músculo Subescapular (Sb)*

Este músculo pertenece al cuarto delantero y se origina en la fosa subescapular de la escápula. Su función es de aducir el húmero y extiende la articulación del hombro. Posee numerosas infiltraciones tendinosas, contiene 46 mg/g de grasa, 208 mg de proteína contiene pequeñas cantidades de tejido conectivo. Es ligeramente jugoso y ligeramente intenso de aroma. Se considera un músculo suave con una fuerza de corte de  $4.75 \pm 0.13$  Kg. (Jones S. et al., 2009).

La Figura 10 resume el efecto en la disminución de la dureza del M. subescapular (Sb) provocada por la maduración. En las Cruzas comerciales a los 7 días de maduración la fuerza de corte inicial disminuyó significativamente en 46% ( $p < 0.01$ ; panel C), siendo esta disminución una de las más altas que se registraron en la investigación. En contraste, la dureza inicial del M. subescapular (Sb) en *B. indicus* y *B. taurus* disminuyó significativamente a los 7 días apenas en un 25% en ambos casos (panel A y B;  $p < 0.05$ ), manteniéndose con valores similares de dureza a través de la maduración, pero siempre  $< 3.9$  Kg. de fuerza de corte ( $p > 0.05$ ).

En las Cruzas comerciales se puede aprovechar la capacidad de maduración del M. subescapular (Sb), ya que su fuerza de corte disminuye muy significativamente a los 7 días hasta dar origen a una carne suave. Belew et al, (2003) clasifican al M. subescapular (Sb) como intermedio, a diferencia de Von Seggern, (2005) que lo ubican dentro de la categoría suave ya que tiene 15 mg/g de colágeno y responde bien a la marinación con inhibidores glicolíticos como el  $\text{CaCl}_2$  (Molina et al., 2005). En consecuencia, nuestros resultados sugieren que el M. subescapular (Sb) es suave con  $< 3.9$  Kg. de fuerza de corte y con alta capacidad de maduración en las tres líneas genéticas.

## 9. *Músculo Supraespinoso (Sp)*

Este músculo perteneciente al cuarto delantero está originado en la fosa supraespinosa de la escápula, la espina y la parte inferior del cartílago de la escápula. Su función es la de extender la espaldilla y ayuda a prevenir la dislocación de la misma. Contiene 50 mg/ g de grasa, 193 mg de proteína y pequeñas cantidades de tejido conectivo. Se considera de aroma ligeramente intenso y ligeramente jugoso,

así como un músculo suave por su fuerza de corte de  $5.20 \pm 0.1$  Kg. (Jones S. et al., 2009).

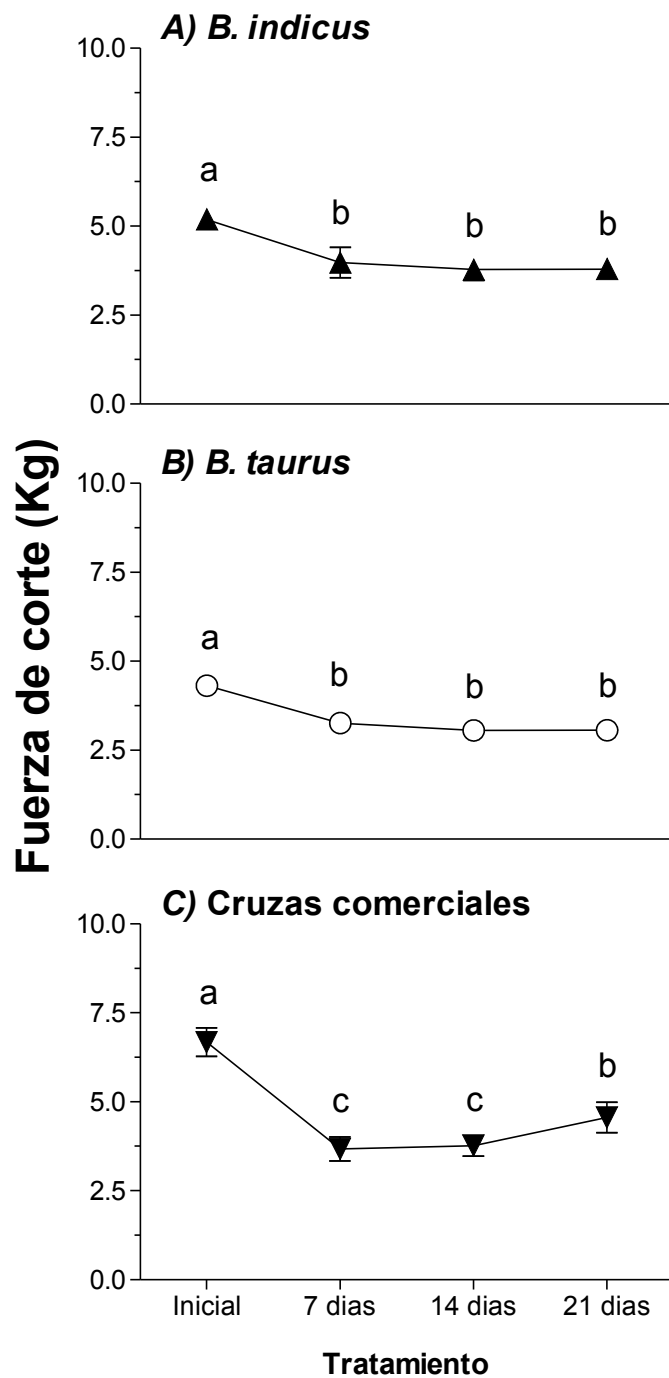
En la Figura 10 se observa el efecto de la maduración del M. supraespinoso (Sp) sobre la fuerza de corte. Únicamente en *B. taurus* (panel B) y Cruzas comerciales (panel C) se detectó un efecto significativo en la disminución de la fuerza de corte inicial después de 7 días de maduración ( $p < 0.05$ ). Mientras que en *B. indicus* la disminución de la dureza ocurre hasta los 14 días de maduración (panel A;  $p < 0.05$ ).

Es interesante el comportamiento que se presentó en la maduración del M. supraespinoso (Sp) en los bovinos provenientes de las Cruzas comerciales, ya que la disminución de la fuerza de corte se continuo hasta el día 21, en el cual la fuerza de corte inicial disminuyó en 44% ( $p < 0.001$ ). En este día de maduración el M. supraespinoso (Sp) alcanza una fuerza de corte considerada como suave ( $< 3.9$  Kg.)

Por otra parte, la fuerza de corte del M. supraespinoso (Sp) de *B. indicus* no presentó un efecto marcado en la maduración del músculo, ya que a los 14 días la fuerza de corte inicial disminuyó en 16%, pero sin una subsecuente disminución a los 21 días ( $p > 0.05$ ). Los resultados obtenidos del M. supraespinoso (Sp) en *Bos indicus* y *Bos taurus* lo ubican dentro de la categoría de músculos duros, ya que están por encima del intervalo de suavidad intermedia ( $> 5$  Kg.). A este respecto, Belew et al (2003) clasifica al M. supraespinoso (Sp) como de suavidad “intermedia” con un intervalo entre los 3.9 y 4.6 Kg. de fuerza de corte. En contraste, Von Seggern et al, (2005) mencionan que el M. supraespinoso (Sp) es un músculo que presenta valores superiores a 4.8 Kg.

Con base en los resultados de este estudio, se puede afirmar que el M. supraespinoso (Sp) es duro con  $> 4.6$  Kg. de fuerza de corte y con una baja capacidad de maduración en *B. indicus* y *B. taurus* y con mediana capacidad de maduración en Cruzas comerciales.





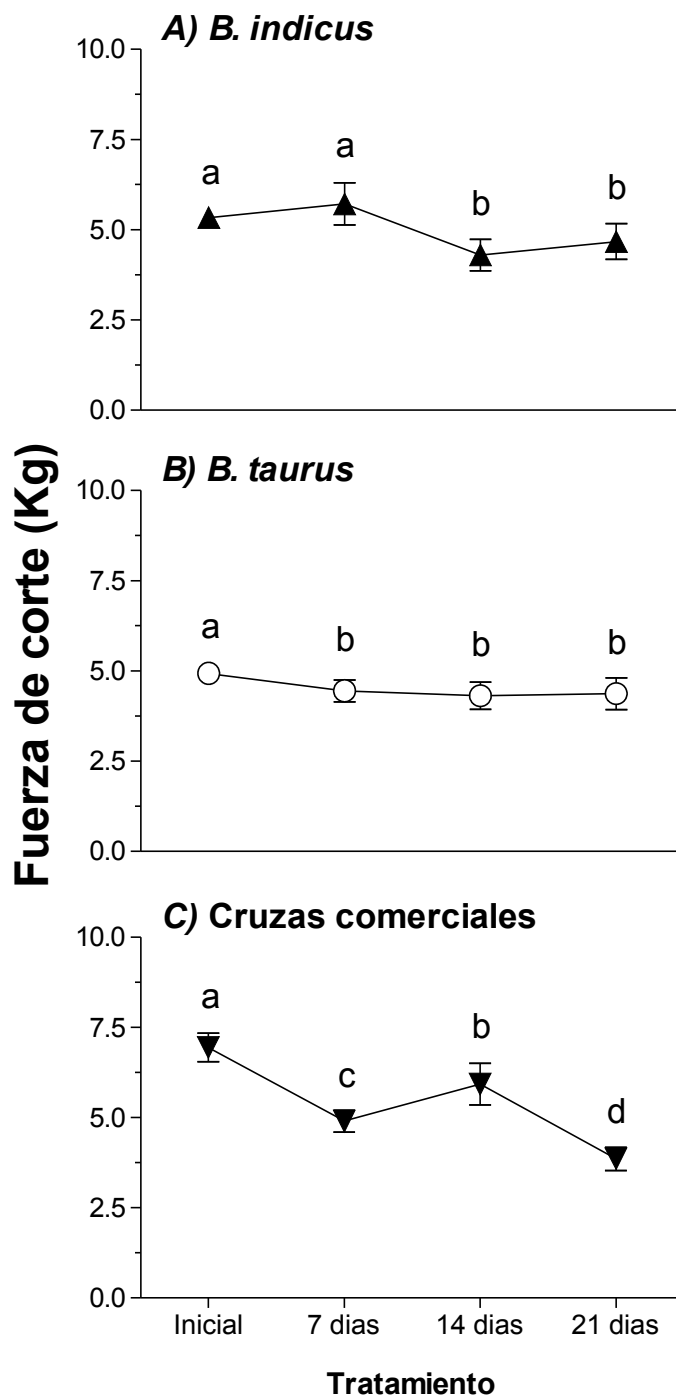
**Figura 10.** Fuerza de Corte del M. subescapular de Bovinos *B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales

a, b, c:Fuerza de corte con diferente letra, indica diferencias significativas entre los días de maduración ( $p < 0.05$ ).

<sup>a</sup> Día de maduración con el valor mayor de fuerza de corte

<sup>b</sup> Día de maduración con el valor de fuerza de corte intermedio

<sup>c</sup> Día de maduración con el valor menor de fuerza de corte.



**Figura 11.** Fuerza de Corte del M. supraespinoso de Bovinos *B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales

a, b, c: Fuerza de corte con diferente letra, indica diferencias significativas entre los días de maduración ( $p < 0.05$ ).

<sup>a</sup> Día de maduración con el valor mayor de fuerza de corte

<sup>b</sup> Día de maduración con el valor de fuerza de corte intermedio

<sup>c</sup> Día de maduración con el valor menor de fuerza de corte.

#### 10. Músculo Tríceps braquial cabeza larga (TL)

El músculo tríceps braquial cabeza larga (TL) pertenece al cuarto delantero, su origen es el borde posterior de la escápula y extiende el codo y flexiona el brazo. Contiene 56 mg/g de grasa y 196 mg de proteína contiene pequeñas cantidades de tejido conectivo, es de aroma ligeramente intenso y ligeramente jugoso, se considera un músculo suave por su fuerza de corte de 4.38 Kg. (Jones S. et al., 2009).

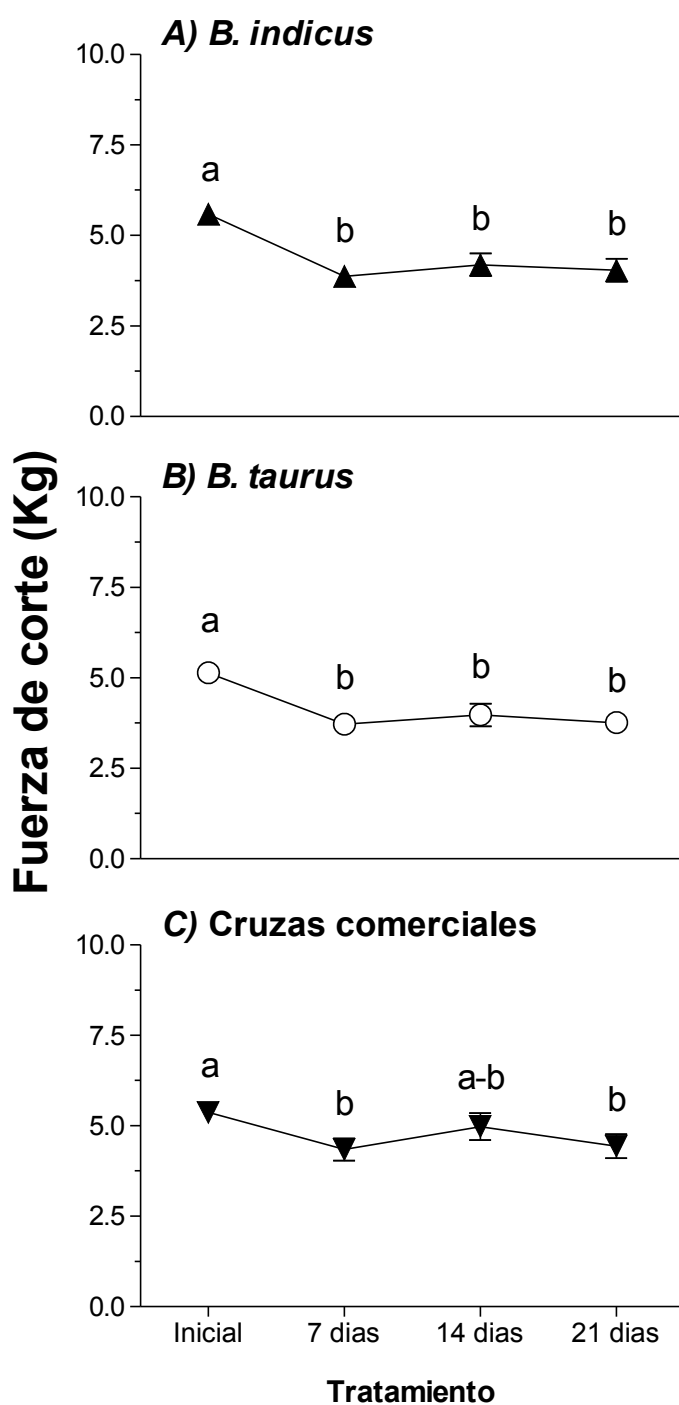
Para el M. tríceps cabeza larga (TL) *B. indicus* se registró una disminución significativa de la fuerza de corte inicial del 29% a los 7 días de maduración ( $p < 0.05$ ; panel A), sin que se obtengan valores menores de fuerza de corte en los días siguientes ( $p > 0.05$ ). Un comportamiento similar se presentó en la maduración del M. tríceps lateral cabeza larga (TL) en bovinos *B. taurus* (panel B). En ambos casos la dureza del músculo se ubica dentro del intervalo intermedio a duro ( $>4$  Kg.), tal como lo mencionan Stolowski et al, (2006). Por el contrario, en las Cruzas comerciales (panel C) la disminución inicial de la dureza es ligera ( $<20\%$ ) y no se aprecia un efecto significativo de la maduración en los días restantes ( $p > 0.05$ ). Por otro lado, se puede mencionar que 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 larga y lateral por separado, la medial quedó excluida por ser la parte más pequeña del músculo. Algunos estudios previos (Belew et al., 2003; Von Seggern et al., 2005; Calkins y Sullivan, 2007) han demostrado la existencia de un amplio intervalo de fuerza de corte del M. tríceps cabeza larga (TL), ubicándose entre 3.2 y 4.8 Kg. Otros autores han estudiado al M. tríceps braquial (TL) en dos de sus tres porciones: la porción de la cabeza larga (TL) y la cabeza lateral (TLT) (Carmack et al., 1995, Molina et al., 2005 y Bruas, 1996), sus resultados demuestran que existen diferencias importantes entre las diferentes porciones del tríceps braquial. No obstante, en este estudio no se compararon la fuerza de corte entre ambos músculos, en cambio se determinó el efecto de la maduración de forma independiente.

Los resultados del estudio sugieren que el M. tríceps cabeza larga (TL) es intermedio con 3.9 a 4.6 Kg. de fuerza de corte y una capacidad mediana de maduración en *B. indicus* y *B. taurus* y capacidad baja de maduración en Cruzas comerciales.

#### 11. *Músculo Tríceps cabeza lateral (TLT)*

En la Figura 13 se observa el efecto de la maduración a 7, 14 y 21 días en la fuerza de corte del M. tríceps lateral (TLT). Este músculo presenta valores altos de fuerza de corte y en los tres grupos genéticos presentó una disminución mínima de su dureza, aunque significativa al día 7 para *B. indicus* y Cruzas comerciales (panel A y C;  $p < 0.05$ ). En cambio, para *B. taurus* no se registró un efecto positivo sobre la dureza inicial cuando se mantuvo en maduración por 7 días a los músculos de este grupo genético. Para las Cruzas comerciales y *B. indicus* la fuerza de corte se ubicó en la categoría de músculo duro ( $< 4.5$  Kg.). La única disminución efectiva de la dureza de la carne se obtuvo al día 14 de maduración para el M. tríceps lateral (TLT) de *B. taurus*.

En conclusión, se puede afirmar que el M. tríceps lateral (TLT) es un músculo duro con  $>4.6$  Kg. y que presenta una baja capacidad de maduración en las tres líneas genéticas.



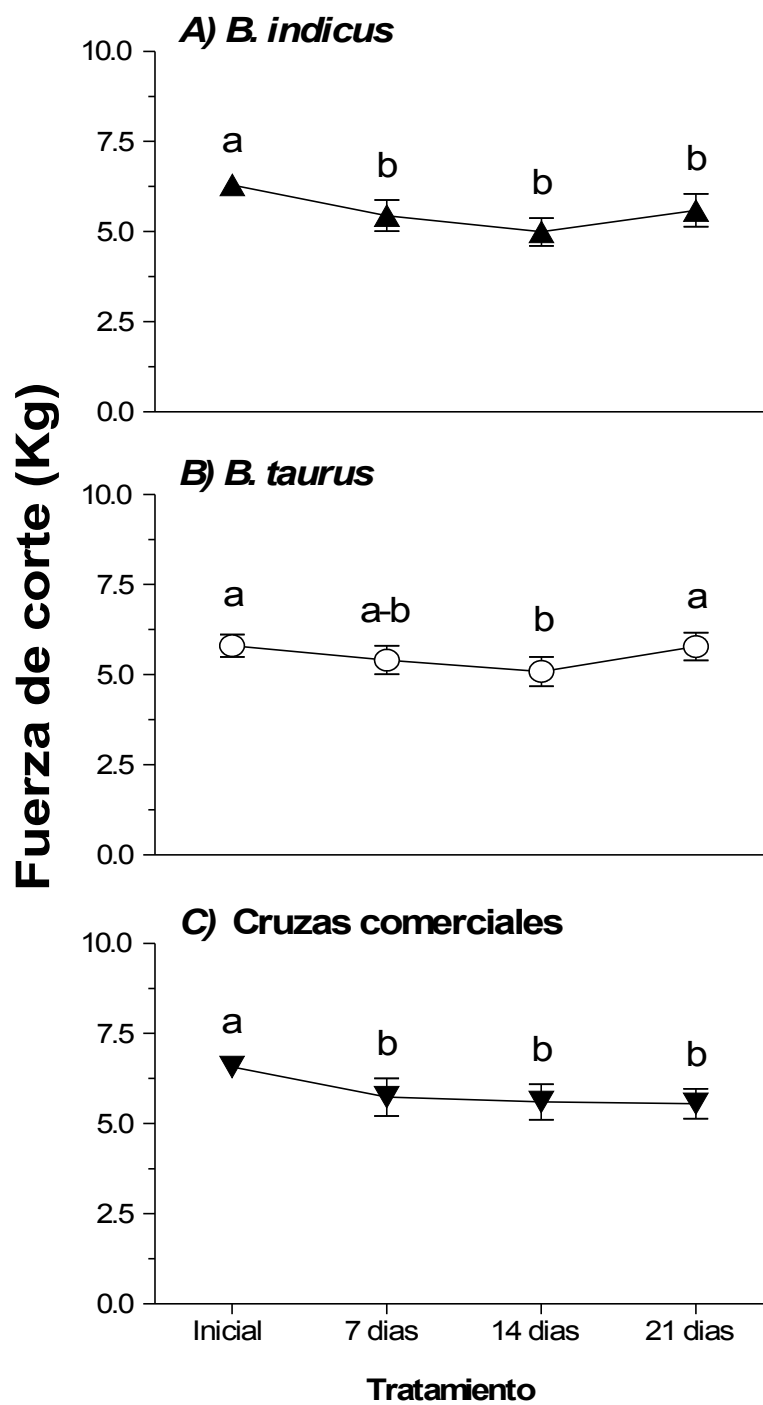
**Figura 12.** Fuerza de Corte del M. tríceps cabeza larga de Bovinos *B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales

a, b, c: Fuerza de corte con diferente letra, indica diferencias significativas entre los días de maduración ( $p < 0.05$ ).

<sup>a</sup> Día de maduración con el valor mayor de fuerza de corte

<sup>b</sup> Día de maduración con el valor de fuerza de corte intermedio

<sup>c</sup> Día de maduración con el valor menor de fuerza de corte.



**Figura 13.** Fuerza de Corte del M. tríceps cabeza lateral de Bovinos *B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales

a, b, c: Fuerza de corte con diferente letra, indica diferencias significativas entre los días de maduración ( $p < 0.05$ ).

<sup>a</sup> Día de maduración con el valor mayor de fuerza de corte

<sup>b</sup> Día de maduración con el valor de fuerza de corte intermedio

<sup>c</sup> Día de maduración con el valor menor de fuerza de corte.

#### D. Efecto del CaCl<sub>2</sub> en la Fuerza de Corte de Músculos de Bovinos

En la Figura 14 se observa que la aplicación de CaCl<sub>2</sub> en los músculos del cuarto delantero procedentes de *B. taurus* no reduce significativamente ( $p > 0.05$ ) la dureza inicial de los músculos estudiados. Sin embargo, en las Cruzas comerciales y en *B. indicus* la fuerza de corte inicial ( $7.06 \pm 0.22$  y  $6.24 \pm 0.15$  Kg., respectivamente) se reduce significativamente ( $p < 0.05$ ), ya que se obtuvieron valores de fuerza de corte de  $5.47 \pm 0.25$  y  $4.53 \pm 0.2$ , para Cruzas comerciales y *B. indicus*, respectivamente (Figura 14). No obstante, para el caso de las Cruzas comerciales los músculos continúan clasificándose como duros, ya que sus valores son ( $>4.6$  Kg.) Para *B. indicus*, los músculos tratados con cloruro de calcio pasan de una clasificación inicial dentro de la categoría de músculos duros ( $>4.6$  Kg.) hacia una intermedia 3.9 a 4.6 Kg..

Autores como Lansdell et al, (1995), Whipple et al, (1993) y Jaturasitha et al, (2004), mencionan que el uso de cloruro de calcio, llega a disminuir la resistencia al corte en carne de ganado joven o maduro de ganado *Bos indicus* y *Bos taurus* principalmente si se aplica en las primeras 24 horas *post mortem*, además de que si se aplica una congelación previa a la carne, se puede aumentar el efecto de los tratamientos con marinación. Aún empleando métodos diferentes, la fuerza de corte llega a mostrar diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) con la marinación a 150 milimoles o con la inyección a 200 milimoles. En este estudio se optó por la dosis permitida de 200 milimoles, ya que la carne tuvo un periodo de almacenamiento en congelación, por lo cual no se marinó a las 24 horas *post mortem*. A dosis de 200 milimoles, no se reportan cambios organolépticos desagradables en la carne (Wheeler et al., 1993).

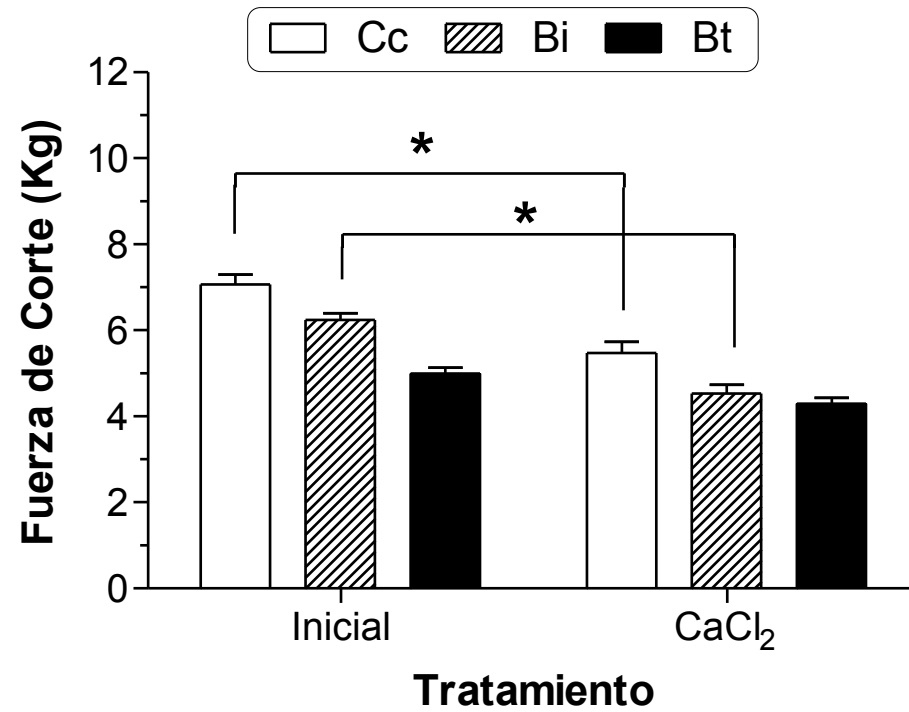
En la Figura 15 se observa el efecto de la marinación con CaCl<sub>2</sub> en seis músculos de las líneas genéticas. Para *B. indicus* (panel A), los M. braquial (Br), complejo (Cx) y tríceps lateral (TLT) el tratamiento con CaCl<sub>2</sub> disminuyó significativamente la fuerza de corte inicial ( $p < 0.05$ ), en un rango del 35 al 50%. En contraste, los músculos bíceps (Bi), subescápular (Sb) y supraespinoso (Sp)

presentaron valores similares entre la fuerza de corte inicial y la obtenida después del tratamiento con  $\text{CaCl}_2$  ( $p > 0.05$ ; Figura 15A)

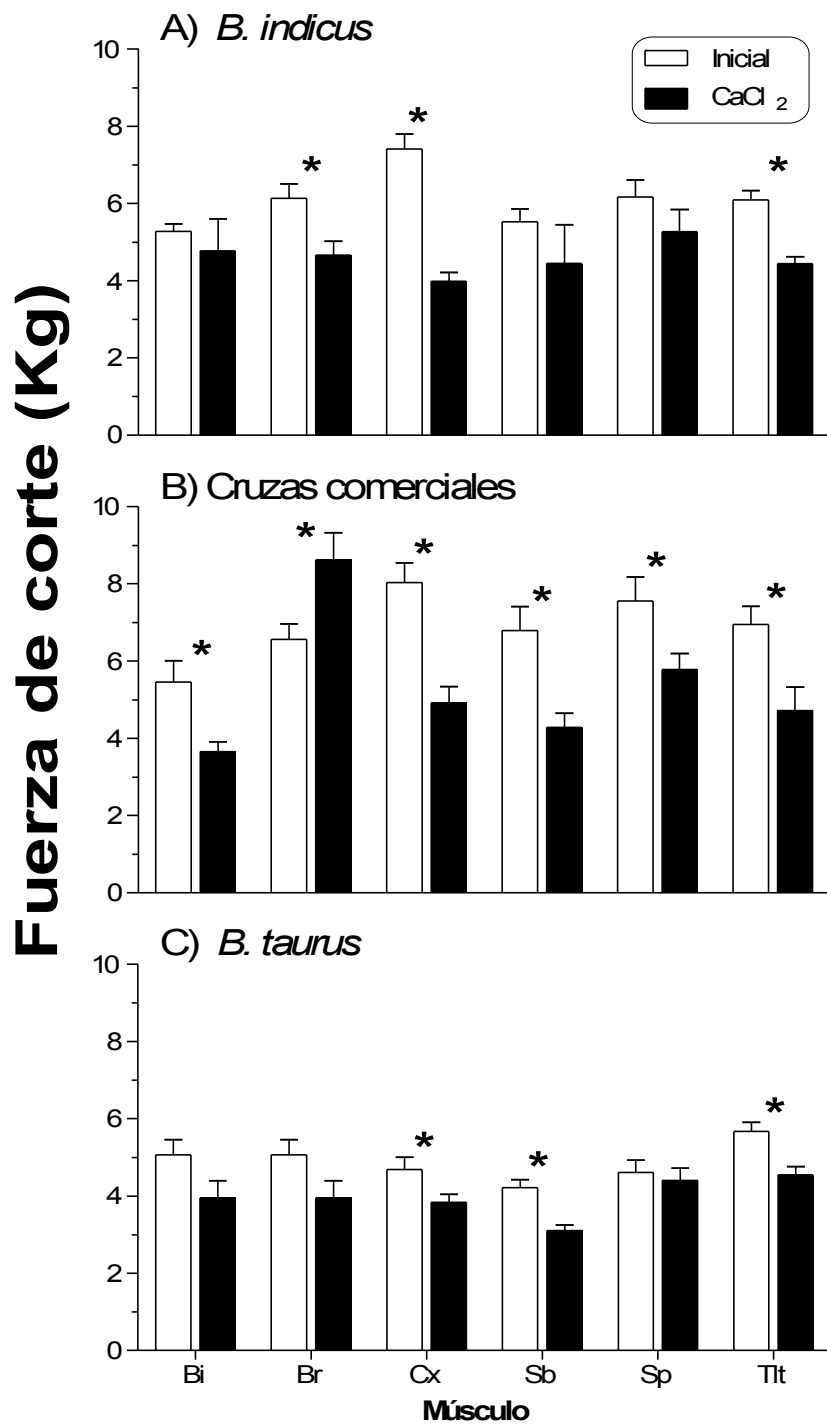
En las Cruzas comerciales (panel B), el M. braquial no mostró mejora con la marinación, de hecho, aumento la fuerza de corte en un 40% ( $p < 0.05$ ). El resto de los músculos disminuyeron su fuerza de corte significativamente ( $p < 0.05$ ). Sin embargo, continúan clasificándose como duros ( $F_c > 4.6$  Kg. Belew et al., 2003).

En *Bos taurus* (panel C), se puede observar que los músculos subescapular (Sb), complejo (Cx) y tríceps lateral (TLT) disminuyeron su fuerza de corte significativamente ( $p < 0.05$ ). El M. subescapular (Sb), disminuyó su fuerza de corte de  $4.2 \pm 0.02$  Kg. a  $3.1 \pm 0.01$  Kg. clasificándolo como músculo suave, el M complejo (Cx) se clasificó como intermedio con una fuerza de corte de  $3.8 \pm 0.02$  Kg. y el M. tríceps lateral (TLT) como duro con  $4.54 \pm 0.02$  Kg.





**Figura 14.** Efecto de la aplicación de cloruro de calcio sobre la dureza de seis músculos del cuarto delantero de tres líneas genéticas de bovinos. Se compararon los valores de fuerza de corte inicial *vs* tratamiento mediante una *t* de Student pareada, los grupos genéticos que presentaron diferencias significativas entre tratamientos \* ( $p < 0.05$ ) se unen mediante líneas.



**Figura 15.** Efecto del cloruro de calcio en 6 músculos de bovinos *B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales

\* Indica diferencias significativas entre la FC inicial y la FC después del tratamiento de marinación con CaCl<sub>2</sub> de los 6 músculos de cada una de las líneas genéticas.

### III. CONCLUSIONES

La maduración ejerció un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) en la disminución de la fuerza de corte de los músculos de ganado *B. indicus*, *B. taurus* y Cruzas comerciales.

Los músculos provenientes de ganado *B. taurus* son significativamente ( $p < 0.05$ ) más suaves en su fuerza de corte inicial que *B. indicus* y Cruzas comerciales. No obstante, con la maduración los músculos de estos biotipos mostraron valores similares a *B. Taurus*.

Para la mayoría de los músculos, con solo 7 días de almacenamiento en refrigeración, pueden obtener valores menores significativos ( $p < 0.05$ ) de fuerza de corte que van de 3.2 a 3.9 Kg, como el M. infraespinoso y el M. redondo mayor de los 3 biotipos.

A partir de los 14 y 21 de maduración no se observaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), en la disminución de la fuerza de corte de la mayoría de los músculos de las 3 líneas genéticas.

Los músculos de ésta investigación se clasificaron de acuerdo a su fuerza de corte a los 7 días de maduración de la siguiente forma: M. bíceps braquial (Bi) se clasificó como duro  $> 4.6$  Kg en *B. indicus* y Cruzas comerciales y como suave con  $< 3.9$  Kg en *B. taurus*. El M. braquial (Br) se clasificó como el músculo más duro con  $> 4.6$  Kg en las 3 líneas genéticas y en la investigación realizada. El M. complejo (Cx) se clasificó como intermedio con 3.9 a 4.6 Kg en las 3 líneas genéticas. El M. esplenio (Es) se clasificó como intermedio con una fuerza de corte que va de 3.9 a 4.6 Kg en las 3 líneas genéticas. El M. infraespinoso (In) se clasificó como el más suave de la investigación con una fuerza de corte que va de 3.2 a 3.9 Kg. El M. redondo mayor (Re) se clasificó como suave 3.2 a 3.9 Kg. en las 3 líneas genéticas. El M. romboides se clasificó como suave 3.2 a 3.9 Kg. en las 3 líneas genéticas. El M. subescápular (Sb) se clasificó como suave con una fuerza de corte  $< 3.9$  Kg. en las 3 líneas genéticas. El M. supraespinoso (Sp) mostró una clasificación de duro con una fuerza de corte  $> 4.6$  Kg en los 3 biotipos. El M. tríceps braquial en su porción cabeza larga (TL) se clasificó como

intermedio con una fuerza de corte de  $>3.9$  Kg en las 3 líneas genéticas y su porción lateral (TLT) se clasificó como dura  $>4.6$  Kg en las 3 líneas genéticas.

La mayoría de los músculos de ganado *Bos indicus* disminuyeron significativamente ( $p<0.05$ ) su dureza con la maduración a los 7 días

El músculo subescapular de las Cruzas comerciales tuvo una capacidad significativa ( $p<0.05$ ) de maduración a los 7 días.

El efecto del cloruro de calcio disminuyó significativamente ( $p<0.05$ ) la fuerza de corte de ganado *B. indicus* y las Cruzas comerciales. Sin embargo, continuaron en el rango de dureza  $>4.6$  Kg, establecido por Belew et al, 2003.

La marinación con cloruro de calcio disminuyó la fuerza de corte de los músculos de las Cruzas comerciales y *B. indicus* significativamente ( $p<0.05$ ) con excepción del M. Braquial de Cruzas comerciales que por el contrario tuvo un aumento significativo en su fuerza de corte ( $p<0.05$ ).

De la investigación se puede mencionar que la resistencia al corte en cada músculo puede variar en diferentes porciones del mismo músculo, tal es el caso del M. tríceps braquial, así como hay diferencias significativas ( $p<0.05$ ) en la fuerza de corte de cada músculo en cada una de las líneas genéticas estudiadas.

## **II. RECOMENDACIONES**

Los músculos suaves como el infraespinoso, M. redondo mayor, M. subescapular y M. romboides, se deben aprovechar y ser impulsados para su comercialización individual.

Dado que el M. subescapular de las Cruzas comerciales tiene gran capacidad de maduración y tuvo el mayor porcentaje de disminución (46%) de la fuerza de corte en ésta investigación, se recomienda su introducción y comercialización individual en el mercado mexicano.

Los músculos que a pesar del tratamiento con maduración o cloruro de calcio continuaron siendo duros, como el M. braquial y la porción lateral del M. tríceps braquial, deben ser estudiados con otras técnicas para su mejoramiento o para el procesamiento de productos cárnicos.

Para el seguimiento de este estudio se recomienda hacer un análisis sensorial de los músculos en los diferentes tratamientos, así como un análisis de perfil de textura (TPA).

## II. BIBLIOGRAFÍA

- Almazán R LV. Manual de comportamiento y bienestar en el ganado bovino. Tesis de licenciatura de la Universidad Autónoma de Tlaxcala 2004.
- Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. (AMSA). American Meat Science, Association & National Livestock and Meat Board. Chicago, USA. (1995).
- Anson M. The estimation of pepsin, trypsin, papain and cathepsin with hemoglobin. *Journal General Physiology* 1983; **22**: 79-89.
- Belew JB., Brooks JC., Mackenna DR., Savell JW., Warner-Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles. *Meat Science* 2003; **64**:507-512.
- Boles JA. Shand PJ. Effect of muscle location, fiber direction and slice thickness on the processing characteristics and tenderness of beef stir-fry strips from the round and chuck. *Meat Science* 2008; **78**:369-374.
- University of Nebraska Lincoln, Institute of Agriculture and Natural Resources Animal Science. Bovine Myology 2009. <http://bovine.unl.edu/>. Consultado el 10 de Abril de 2009.
- Bratcher CL., Johnson DD., Littell RC. and Gwartner B. The effects of quality grade, aging, and location within muscle on Warner–Bratzler shear force in beef muscles of locomotion. *Meat Science* 2005; **70**:279-284.
- Bruas RF & Brun-Bellut. Changes affecting the *Longissimus dorsi*, *Triceps brachii caput longum* and *Rectus femoris Muscle* of Young Friesian Bulls During Meat Ageing. *Meat Science*, 1996; **43**: 44-47.
- Calkins CR., Dutson TR., Smith GC., Carpenter ZL., Davis GW. Relationship of fiber type composition to marbling and tenderness of bovine muscle. *Journal of Food Science* 1981; **46**:708-715.
- Calkins CR., Sullivan G. Ranking of beef muscles for tenderness. NCBA, 2007 [www.beefresearch.org](http://www.beefresearch.org)>. Consultado el 20 de Diciembre de 2009.
- Campo MM., Sañudo C., Panea B., Alberti P., Santolaria P., Breed type and ageing time effects on sensory characteristics of beef strip loin steaks. *Meat Science* 1999; **51**:383-390.

- Carmack CF., Kastner CL., Dikerman ME., Schwenke JR., García Z CM. Sensory evaluation of beef-flavor-intensity, tenderness, and juiciness among major muscles. *Meat Science* 1995; **39**:142-147.
- Chacón A. Implicaciones Físicas y Bioquímicas de la suavidad de la carne. *Agronomía Mesoamericana* 2004; **15**:225-243.
- Chávez GA. Caracterización fisicoquímica de músculos del cuarto delantero en tres razas diferentes (*Bos indicus*, *Bos taurus* y Cruzas comerciales) de bovinos mexicanos. Tesis de Maestría de la Facultad de Veterinaria de la UNAM, 2009.
- Choi NJ., Enser M., Wood JD., and Scollan ND., Effect of breed on the deposition in beef muscle and adipose tissue of dietary n-3 polyunsaturated fatty acids. *Animal Science* 2000; **71**:509-519.
- Day AR. Como escribir y publicar trabajos científicos. Organización panamericana de la Salud. Publicación científica. 1996; No 558.
- Delgado EJ., Rubio MS., Iturbe FA., Méndez RD., Cassís L., Rosiles R. Composition and quality of Mexican and imported retail beef in México. *Meat Science* 2005; **69**:465-471.
- Diles JJ., Miller MF., Owen BL. Calcium chloride concentration, injection time, and aging period effects on tenderness, sensory, and retail color attributes of loin steaks from mature cows. *Journal Animal Science* 1994; **72**:2017-2021.
- Dransfield E. Optimization of tenderisation, Ageing and Tenderness, *Meat Science* 1994; **36**:105-121.
- Drew M., Ferguson. Shann Tzong Jiang., Helen Hearnshaw., Samantha R. Rymill, John M. Thompson. Effect of electrical stimulation on protease and tenderness of *M. longissimus* from cattle with different proportions of *Bos indicus* content. *Meat Science* 2000; **55**:265-272.
- 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.
- Geesink GH., Taylor RG., Bekhit AED., Bickerstaffe R., Evidence against the non-enzymatic calcium theory of tenderization. *Meat Science* 2001; **59**:417-422.

- Gerelt B., Ikeuchi Y., Nishiumi T., Suzuki A. Meat tenderization by calcium chloride after osmotic dehydration. *Meat Science* 2002 **60**:237-244.
- Gerelt B., Rusman H., Nishiumi T., Suzuki A. Changes in calpain and calpastatin activities of osmotically dehydrated bovine muscle during storage after treatment with calcium. *Meat Science* 2005; **70**:55-61.
- Grandin T. The design and construction of facilities for handling cattle. *Livestock Production Science* 1997; **49**:103-119.
- Gruber SL., Tatum JD., Scanga JA., Chapman PL., Smith GC. and Belk KE. Effects of *postmortem* aging and USDA quality grade on Warner-Bratzler shear force values of seventeen individual beef muscles, *Journal Animal Science* 2006 **84**:3387-3396.
- Guerrero LI., Rosmini MR., Huy YH. Ciencia y tecnología de carnes. México Limusa / Wiley 2006.
- Hill F. The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages. *Journal of Food Science* 2006; **31**:1661-1666.
- Huff EJ., Parrisch FC Jr. Bovine *Longissimus* muscle tenderness as affected by *postmortem* aging time, animal age and sex. *Journal of Food Science* 2006; **58**:713-716.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=inte04&c=5014>. Consultado el 20 de abril de 2009.
- James JM., Calkins CR. The influence of cooking rate and holding time on beef chuck and round flavor. *Meat Science* 2008; **78**:429-337.
- Jaturasitha S., Thirawong P., Leangwunta V., kreuzer M. Reducing toughness of beef from *Bos indicus* draught steers by injection of calcium chloride: Effect of concentration and time *postmortem*. *Meat Science* 2004; **68**:61-69.
- Jeremiah LE., Gibson LL. The effects of *postmortem* product handling and aging time on beef palatability. *Food Research International* 2003; **36**:929-941.
- Jerez NC., Calkins CR. and Velazco J. Prerigor injection using glycolytic in low-quality beef muscles. *Journal of Animal Science* 2003; **81**:997-1003.
- Ji JR. Takahashi K., Changes in concentration of sarcoplamic free calcium during *post mortem* ageing of meat. *Meat Science* 2006; **73**: 395-403.



- Judge MD., Aberle ED., Forrest JC., Hedrick HB., Merkel RA., Principles of Meat Science 4<sup>th</sup> Edition, Kendall/hunt publishing Company 2000.
- Koohmaraie M., Geesink GH. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Science* 2006; **74**:34-43.
- Koohmaraie M. Muscle proteases and meat Aging. *Meat Science* 1994; **36**:93-104.
- Kunitz M. Crystalline soybean trypsin inhibitor II. General properties. *Journal General Physiology* 1947; **30**: 291-310.
- Lepetit J. Collagen contribution to meat toughness: theoretical aspects. *Meat Science* 2008; **80**:960-967.
- Locker RH., Hagyard CJ. A cold shortening effect in beef muscles. *Journal Science. Food Agriculture* 1963; **14**:787-793.
- Lansdell JL., Miller MF., Wheeler TL., Koohmaraie M., Ramsey CB. Postmortem injection of calcium chloride effects on beef quality traits. *Journal Animal Science* 1995; **73**:1735-1740.
- Martínez AI., Ponce AE., Guerrero LI., Dublan GO. Cambios en las propiedades físico químicas y estructurales en la carne de ovino en refrigeración. Tesis de maestría de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, 2008.
- McCormick JR. The flexibility of the collagen compartment of muscle. *Meat Science* 1994; **36**:79-91.
- Méndez RD., Meza CO., Berruecos JM., Garcés P., Delgado EJ., Rubio MS. A survey of beef carcass quality and quantity attributes in México. *Journal Animal Science* 2009; **87**:3782-3790.
- Mills EW., Smith SH., Forrest JC., Aberle ED., Judge MD. Effects of early post-mortem ageing on intramuscular collagen stability, yield and composition. *Meat Science* 1989; **25**:133-141.
- Molina ME., Johnson DD., West RL., Gwartney BL., Enhancing palatability traits in beef chuck muscles. *Meat Science* 2005; **71**:52-61.
- Monsón F., Sañudo C. y Sierra I. Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. *Meat Science* 2004; **68**:595-602.

- Monsón F., Sañudo C. y Sierra I. Influence of breed and ageing time on the sensory meat quality and consumer acceptability in intensively reared beef. *Meat Science* 2005; **71**:471-479.
- Morón Fuenmayor OE., Zamorano GL., Ysunza F., González MN. Efecto del Clorhidrato de Zilpaterol y la vitamina D<sub>3</sub> sobre la calidad de la carne en novillas comerciales. *Revista Científica, FCV- LUZ* 2002; **12**:725-729.
- Norma Mexicana NMX-FF-078-SCFI. Productos pecuarios Carne de Bovino en Canal <http://www.sagarpa.gob.mx/v1/ganaderia/NOM/nmx-ff-078-scfi-2002.pdf>. Consultado el 16 de Noviembre de 2009.
- Olsson U., Hertman C., Tornberg E. The influence of low temperature, type of muscle and Electrical stimulation on the course of rigor *mortis*, ageing and tenderness of beef muscle. *Meat Science* 1994; **37**:115-131.
- Ouali A. Meat tenderization: Possible causes and mechanism. A review. *Journal of Muscles Foods* 1990; **1**:129-165.
- Pérez C ML, Efecto de las calpaínas sobre las propiedades físico químicas ultra estructurales y sensoriales de la carne roja. Tesis de Doctorado de la Universidad Autónoma Metropolitana, 1998.
- Platter WJ., Tatum JD., Belk KE., Chapman PL., Scanga JA., Smith GC. Relationships of consumer sensory ratings, marbling score, and shear force value to consumer acceptance of beef strip loin steaks. *Journal of Animal Science*. 2003; **81**:2741-2750.
- Purchas RW., Zou M. Composition and quality differences between the longissimus and infraspinatus muscles for several groups of pasture-finished cattle. *Meat Science* 2008; **80**:470-479.
- Purslow PP. Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat Science* 2005; **70**:435-447.
- Quiroga TG. Calidad y cortes de la canal bovina para el mercado interno y exigencias internacionales. Memorias de Seminario Internacional Cortes Calidades y Empaques de Carne Bovina. Colombia 2007.

- Riley DG, Johnson DD., Chase Jr. CC., West RL., Coleman SW., Olson TA., Hammond AC. Factors influencing tenderness in steaks from Brahman cattle. *Meat Science* 2005; **70**:347-356
- SAS Institute. SAS<sup>®</sup> User's guide, statistic. Version 9.00 edition. SAS Institute Inc., Cary. NC USA. (2002)
- Savell JW., Cross HR., Smith GC. Percentage ether extractable fat and moisture content of beef *Longissimus* muscle as related to USDA marbling score. *Journal. Science. Agriculture.* 1986; **51**:838-839.
- Savell JW., Mueller SL., Baird BE. The chilling of carcasses. *Meat Science* 2005; **70**:449-459.
- Secretaria de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación <http://www.sagarpa.gob.mx/>. Consultado el 20 de Abril de 2009.
- Seideman SC. Methods of expressing collagen Characteristics and their relationship to meat tenderness and muscle fiber types. *Journal of Food Science* 1986; **51**:273-276,.
- Shackelford SD., Wheeler TL. and Koohmaraie M., Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness rating of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus*. *Journal Animal Science* 1995; **73**:3333-3340.
- Sistema Nacional de Información e integración de mercados <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/>. Consultado el 30 de Mayo de 2009.
- Simões JA., Mendes MI., Lemos JPC. Selection of muscles as indicators of tenderness after seven days. *Meat Science* 2005; **69**:617-620.
- Spanier AM., Flores M., MacMillin KW., Bidner TD., The effect post-mortem aging on meat flavor quality in Brangus beef. Correlation of treatments, sensory, instrumental and chemical descriptors. *Food Chemistry* 1997; **59**:531-538.
- Stolowski GD., Baird BE., Miller RK., Savell JW., Sams AR., Taylor JF., Sanders JO., Smith SB. Factors influencing the variation in tenderness of seven major beef muscles from three Angus and Brahman breed crosses. *Meat Science* 2006; **73**:475-483.
- Warris PD, Meat Science An Introductory Text. School of Veterinary Science University of Bristol UK, CABI Publishing International 2000.

- Voisinet BD., Grandin T., O'Connor SF., Tatum JD., Deesing MJ. *Bos indicus* Cross feedlot cattle with excitable temperaments have tougher meat and higher incidence of borderline dark cutters. *Meat Science* 1997; **46**:367-377.
- Von Seggern DD., Calkins CR., Johnson DD., Brickler JE., Gwartney BL. Muscle profiling: Characterizing the muscles of the beef chuck and round. *Meat Science* 2005; **71**:39-51.
- Wheeler TL., Koohmaraie M., Lansdell JL., Siragusa GR., Miller MF. Effects of *postmortem* injection time, injection level and concentration of calcium chloride on beef quality traits. *Journal Animal Science* 1993; **71**:2965-2974.
- Whipple G., Koohmaraie M. Freezing and calcium chloride marination effects on beef tenderness and calpastatin activity. *Journal Animal Science* 1992 **70**:3081-3085.
- Whipple G., koohmaraie M. Calcium Chloride Marination Effects on Beef Steak Tenderness and Calpain Proteolytic Activity. *Meat Science* 1993; **33**:265-275.
- Yamayuchi T., Yamashita Y., Takeda I., Kiso Hisashi. Proteolytic Enzymes in Green Asparagus, Kiwi Fruit Miut: Occurrence and Partial Characterization. *Agriculture Biology Chemistry* 1982; **46**:1983-1986.