



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
Y ZOOTECNIA

INFLUENCIA DE LA EDAD, SEXO, DÍAS DE
ENGORDA Y GENOTIPO SOBRE LA CANTIDAD Y
SOLUBILIDAD DEL COLÁGENO EN CARNE CRUDA
DE RES DE MÉXICO

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA
JOEL DAVID SIERRA MURILLO

Asesores:
Dra. María Salud Rubio Lozano
Q.A. Juan Carlos Ramírez Orejel



México, D.F.

2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 mis padres que me han permitido llegar hasta donde estoy y ser siempre mi ejemplo a seguir.

A mi hermana, familiares y seres queridos que me han acompañado durante mi vida y que son parte de este logro.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por formarme como persona y ser mi segunda casa siempre.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por abrirme las puertas y brindarme todas las experiencias y enseñanzas que me permitirán ejercer de buena manera la profesión de médico veterinario y zootecnista.

A la Dra. María Salud Rubio Lozano por compartir sus conocimientos y experiencias siempre con esa pasión y dedicación por la ciencia de la carne y por su apoyo durante la realización de esta tesis.

Al Q.A. Juan Carlos Ramírez Orejel por todo el apoyo y perseverancia durante la realización de mi tesis y ser una excelente persona, como excelente académico en el laboratorio y en el aula de clases.

A Sagarpa-Conacyt por el financiamiento del proyecto “Indicadores de calidad en la cadena de producción de carne fresca en Mexico”

Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, a la jefa de departamento Aurora Hilda Ramírez Pérez, a la Q.A. Águeda García Pérez por su apoyo y consejos en el laboratorio. Al laboratorio de toxicología y su personal, al Dr. René Rosiles Martínez por sus oportunos consejos y enseñanzas durante mi estancia en este laboratorio.

A todas aquellas personas que me ayudaron en la realización de esta tesis, amigos y compañeros muchas gracias.

CONTENIDO

	Pagina
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
ANTECEDENTES	4
OBJETIVO E HIPOTESIS	13
MATERIAL Y METODOS	14
RESULTADOS	18
DISCUSIÓN	26
CONCLUSIONES	33
REFERENCIAS.....	35

RESUMEN

SIERRA MURILLO JOEL DAVID. Influencia de la edad, sexo, días de engorda y genotipo sobre la cantidad y solubilidad del colágeno en carne cruda de res de México (bajo la dirección de: la Dra. María Salud Rubio Lozano y el Q.A. Juan Carlos Ramírez Orejel).

El presente trabajo se llevo a cabo con la finalidad de conocer los efectos que tienen los factores de producción: sexo, genotipo, edad y días de engorda con dietas altas en energía, sobre la cantidad de colágeno y su fracción soluble e insoluble. Se utilizaron 134 muestras del músculo *longissimus dorsi* (entre la 10ma y la 12ava costilla) provenientes de bovinos productores de carne, sacrificados en varios rastros TIF de la República Mexicana (norte, centro y sur). Utilizando el método de la hidroxiprolina se determinó el contenido de colágeno total y el colágeno soluble e insoluble. Los datos se analizaron con pruebas de ANOVA para medir los efectos de los factores explicativos sobre las variables dependientes que son la cantidad, solubilidad e insolubilidad del colágeno utilizando un nivel de confianza del 95%; para la diferencia de medias se utilizó la prueba de Fisher (LSD) con un $\alpha=0.05$. Los resultados obtenidos nos revelan que la carne proveniente de animales jóvenes, tienen mayor contenido de colágeno total y mayor porcentaje de colágeno soluble que la carne proveniente de animales viejos. Cuando los animales son sometidos a un periodo de engorda mayor a 100 días,

el contenido de colágeno total e insoluble es menor al compararlo con la carne de animales con un periodo de engorda menor a este tiempo. Las hembras tuvieron el mayor contenido de colágeno total y el mayor porcentaje de colágeno insoluble. En cuanto al grupo genético solo se encontraron pequeñas diferencias en el colágeno soluble, teniendo la crucea $\frac{1}{2}$ cebú, el menor porcentaje de este. Por lo anterior concluimos que la carne con una menor cantidad de colágeno la encontramos en animales: machos viejos y engordados en un periodo mayor a 100 días. Mientras que la carne con mayor porcentaje de colágeno soluble la encontramos en animales: jóvenes y $\frac{3}{4}$ cebú.

II. Introducción

Diversas investigaciones han mostrado que la suavidad de la carne es uno de los factores determinantes para la aceptación y compra de carne de vacuno por parte de los consumidores (Peluffo y Monteiro, 2002; Vásquez *et al.*, 2007; Dubost *et al.*, 2013; Perez, 2013). Se sabe que existen diversos factores que afectan la suavidad, tales como edad, sexo, alimentación, raza, tipo de maduración, entre otros (Peluffo y Monteiro, 2002; Vasquez *et al.*, 2007), por lo cual, esta característica es muy difícil de homogeneizar o controlar y es uno de los principales problemas que enfrenta la industria de la carne (Peluffo y Monteiro, 2002).

Uno de los factores que más influyen en la suavidad de la carne es la cantidad y la solubilidad del tejido conectivo. El colágeno es la proteína más abundante del tejido conectivo (Marsh, 1977; Weston *et al.*, 2002) y su porción soluble respecto al colágeno total influye considerablemente en una mejor o peor calidad del producto, ya que existe una correlación positiva entre la cantidad de colágeno soluble y la terneza de la carne, teniendo en cuenta que cuanto menor porcentaje del soluble haya del total, será menor la terneza (Cross *et al.*, 1984).

En los estudios previos sobre carne mexicana, se han descrito tanto la carne a nivel de punto de venta (Delgado *et al.*, 2005) como las canales a nivel de rastro (Méndez *et al.*, 2009). Los estudios mostraron diferencias en cuanto a la calidad de la carne según la región. Sin embargo, no se han hecho estudios en México que correlacionen la calidad de la carne (en este caso suavidad) según los sistemas de explotación del ganado, razas, tipo de alimentación y otros factores productivos. El presente trabajo es parte de

un proyecto de investigación que estudia cómo los factores edad, sexo, días de engorda y genotipo, afectan al contenido total, soluble e insoluble del colágeno y a partir de esto predecir la calidad de la carne. Esta información actualizada servirá como un elemento de orientación para la industria cárnica mexicana.

III. Antecedentes

III.a. Producción de carne de res en México

En México la carne de res es un producto muy demandado, principalmente por ser un alimento altamente nutritivo, ya que contiene niveles importantes de proteína, grasa, vitaminas y micronutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo. El consumo *per cápita* anual en el año 2015 fue de 15.7 kg, el cual se considera bajo si se compara con años anteriores donde alcanzaba la cifra de 17 kg, esta disminución se debió esencialmente a la combinación de los altos costos de la alimentación del ganado y el menor poder adquisitivo por parte del consumidor (COMECARNE, 2015; CANFAX, 2016).

Aun así, la carne de bovino es la segunda con mayor producción nacional en el 2014 aportando 1,827,152 toneladas de carne en canal y representa el 29.9% del consumo nacional de carne, superada solo por la carne de ave que produjo 2,879,686 toneladas de carne en canal, representando el 47.1% del consumo de carne nacional (ANETIF, 2015; SIAP, 2015). Los principales estados productores de carne de bovino en México en el 2014 de mayor a menor aportación son los estados de Veracruz (13%), Jalisco (11%), Chiapas (6%), Sinaloa (5%), Baja California (5%), San Luis Potosí (5%),

Michoacán (4%) y Sonora (4%) aportando en su conjunto el 53% de la carne de bovino producida en México y el 47% restante los demás estados (AMEG, 2015).

III.b. Calidad de la Carne

En la actualidad, una de las preocupaciones más comunes del consumidor es la de tener una dieta adecuada, equilibrada y de una excelente calidad. Por lo que la industria cárnica mexicana debe continuar ofreciendo un producto de calidad. Se puede entender como calidad al conjunto de características o cualidades que posee una cosa o un producto y que permite satisfacer las necesidades del cliente (Pérez, 2013).

Diversos estudios coinciden en que existen tres tipos de calidad en la carne: calidad higiénica sanitaria, calidad nutrimental y calidad sensorial (Vásquez *et al.*, 2007; Oliva, 2012; Pérez, 2013). Esta última es una de las más relevantes para los consumidores, ya que en ella influyen sus hábitos y costumbres inculcados generaciones atrás y es por la que se dejan guiar al momento de comprar (Pérez, 2013). Esto no quiere decir que los otros tipos de calidades no sean importantes, ya que se debe asegurar que los tres cumplan con las expectativas del consumidor. El claro ejemplo está en que el consumidor mexicano ya no sólo busca satisfacer a los órganos de los sentidos, sino también cuidar su salud debido al problema actual de obesidad que se tiene en el país, buscando con ello carne con menor cantidad de grasa (Savell y Cross 1988; Aparicio, 2013).

La calidad sensorial de la carne es una combinación adecuada de los atributos de color, aroma, sabor, ternura o suavidad y jugosidad; en la actualidad, la industria de alimentos

paga más por cortes de carne de alta calidad que aseguren, de esta manera, la satisfacción del consumidor (Vásquez *et al.*, 2007). Dentro de estas características organolépticas, la suavidad o terniza está clasificada como una de las más importantes y su presencia influye significativamente en la satisfacción por parte del cliente y en la reiteración de la compra del producto (Peluffo y Monteiro, 2002; Weston *et al.*, 2002; Gonzalez *et al.*, 2014).

III.c. Factores que afectan la suavidad

III.c.1. Edad

Uno de los factores que más afecta a la suavidad de la carne, es sin duda, la edad a la que el animal es sacrificado, mientras más viejo sea, la carne será mucho más dura, en comparación con la carne de un animal sacrificado a temprana edad, la cual tenderá a ser más suave (Walter *et al.*, 1965; Berry *et al.*, 1974; Cross *et al.*, 1984; Schakelford *et al.*, 1995; Noricumbo, 1996; Delgado, 2004; Vásquez *et al.*, 2007; Oliva, 2012).

Las diversas investigaciones que se han realizado para explicar dicho fenómeno, atribuyen al tejido conectivo, como el responsable de la mayor o menor suavidad de la carne a distintas edades (Preston y Willis, 1988; Bosselmann *et al.*, 1995; Peluffo y Monteiro, 2002). El colágeno es el principal componente del tejido conectivo, y la cantidad y solubilidad de este pueden ayudar a predecir que tan suave puede ser una carne (Kopp, 1971; Cross *et al.*, 1973).

Bailey (1972) demostró que la dureza de la carne tiene una correlación positiva con la cantidad de colágeno presente en ésta y que al aumentar la edad del animal, esta

correlación aumenta. Sin embargo Hill (1966), concluyó que era la solubilidad la que disminuía con la edad y que el colágeno total no era suficiente para explicar dicho fenómeno. Diversas investigaciones (Cross *et al.*, 1984; Bosselmann *et al.*, 1995; Lawrie y Ledward, 2006) coinciden que es el grado de entrecruzamiento del colágeno, mediante enlaces covalentes, el que le da dicha insolubilización a esta proteína; y que la formación de estos enlaces aumenta, al incrementarse la edad del animal. Por lo cual, cuando el animal es joven, el grado de entrecruzamiento es limitado y este contenido de colágeno insoluble no afectara la suavidad en la carne, ya que al momento de cocinarla el colágeno presente se solubilizará fácilmente, caso contrario sucede con carne de animales viejos o de edad más avanzada, en los cuales el grado de entrecruzamiento es mayor y por tanto la insolubilidad de la molécula de colágeno aumenta, dando una dureza mayor en la carne (Delgado, 2004).

III.c.2. Alimentación y Días de engorda

Es bien sabido que se puede modificar la alimentación del ganado para obtener una carne con mayor suavidad, tal es el caso de la investigación llevada a cabo por Miller *et al.* (1983), en la cual sometieron a animales adultos a una dieta de finalización alta en energía (concentrado), después de haberlos mantenido en un plano de alimentación restringido (pastoreo). Descubrieron que la carne de estos animales viejos era similar en suavidad, fuerza de corte y porcentaje de colágeno soluble a la carne de animales jóvenes.

Varias investigaciones (Dinius y Cross, 1978; Crouse *et al.*, 1984; Melton, 1990; Muir *et al.*, 1998; Vásquez *et al.*, 2007) coinciden que la finalización en pastoreo le aporta más

características sensoriales negativas a la carne en comparación de la finalización a base de concentrados. Bennett *et al.* (1995) confirmaron estos resultados en un experimento con novillos finalizados con concentrados y el otro grupo con forrajes, en donde el primer grupo obtuvo los mejores valores en cuanto a jugosidad, suavidad, fuerza de corte y sabor.

Principalmente los mejores valores en suavidad y fuerza de corte se deben a que los animales finalizados con un plano nutricional alto tienen una mayor deposición de grasa intramuscular y una mayor solubilidad del colágeno (Bennett *et al.*, 1995; Miller *et al.*, 1983; Peluffo y Monteiro, 2002; Vásquez *et al.*, 2007).

En general los animales finalizados en un sistema intensivo a base de concentrados se sacrifican antes de que cumplan los 30 meses de edad, mientras que los que son finalizados en pastizales, usualmente sobrepasan este tiempo (Hubbert *et al.*, 1996; Noricumbo, 1996). Al incrementarse los días de engorda con dietas altas en energía en un sistema intensivo, se mejora la suavidad de la carne, debido principalmente a un aumento de la grasa intramuscular (Schnell *et al.*, 1997; Miller *et al.*, 2001). También se ha reportado un aumento de colágeno soluble, conforme aumentan los días en engorda del animal, sin que haya diferencia significativa sobre el colágeno total (Boleman *et al.*, 1996; Schnell *et al.*, 1997).

III.c.3. Sexo

En el país, los bovinos especializados en la producción de carne están conformados mayoritariamente por machos enteros (Méndez *et al.*, 2009; Aparicio, 2013), esto se

debe a que como crecen más rápido y tienen un mejor rendimiento en canal, en comparación con las hembras y machos castrados, son los preferidos por los productores, ya que obtienen una mayor remuneración económica por ellos.

Sin embargo, la carne proveniente de machos castrados es más suave que la de machos enteros y la proveniente de hembras es más suave aun, que la de los machos castrados; numerosas investigaciones respaldan esto (Seideman *et al.*,1982; Huertas-Leidenz y Rios, 1993; Peluffo y Monteiro, 2002) y se le atribuye a una mayor deposición de grasa por parte de hembras y machos castrados (Riley *et al.*,1983; Peluffo y Monteiro, 2002), y a una mayor complejidad del tejido conectivo hallada en los machos enteros, esta mayor complejidad es debida a que los machos enteros poseen mayor cantidad de tejido conectivo, relacionado a niveles altos de testosterona durante la pubertad (Kopp, 1971; Boccard *et al.*, 1979; Seideman *et al.*,1982; Crouse *et al.*, 1983; Cross *et al.*, 1984; Bures y Barton, 2012).

III.c.4. Grupo genético

Podemos definir raza como aquel grupo de animales con características comunes que se transmiten sin variación de una generación a otra. Las razas de ganado bovino se clasifican en dos grandes grupos: grupo europeo o *Bos taurus* y grupo indopaquistano o *Bos indicus* (FMVZ, 2015).

El ganado *B. taurus* tiene razas más especializadas en la producción de carne y leche, en comparación con las razas del grupo *B. indicus*, teniendo las primeras mejores valores de suavidad y sabor en la carne, y una mayor producción de leche (Aparicio,

2013). Sin embargo la utilización de ganado *B. indicus* se ha extendido en algunas zonas tropicales de Latinoamérica, debido principalmente a su alta adaptabilidad en este tipo de climas (Huffman *et al.*, 1990; FMVZ, 2015). México no ha sido la excepción y debido a su gran variedad de climas, se han realizado cruzamientos entre las razas de estos dos grupos para mejorar la productividad. En un estudio realizado en México por Méndez *et al.* (2009), se identificó una presencia del componente *B. indicus* en el 90% de las canales destinadas para el abasto.

Es bien sabido por diversas investigaciones (Koch *et al.*, 1982; Cross *et al.*, 1984; Williams *et al.*, 1987; Peluffo y Monteiro, 2002; Vásquez *et al.*, 2007) que la carne proveniente de ganado *B. indicus* es menos suave que la carne de ganado *B. taurus*, anteriormente se creía que esta menor suavidad, era por la poca capacidad que tienen los primeros de depositar grasa intramuscular (Carpenter *et al.*, 1961; Huffman *et al.*, 1990; O'Connor *et al.*, 1997), pero actualmente se sabe que tienen una menor proteólisis postmortem, debido a una elevada actividad de la enzima calpastatina, la cual es una enzima inhibitoria de las calpainas, una de las principales enzimas responsables de la degradación muscular durante el proceso de la maduración (Wheeler *et al.*, 1989; Wheeler *et al.*, 1990; Bidner *et al.*, 2002). También se han realizado investigaciones para determinar de qué manera el colágeno total y su porción soluble, pueden explicar esta diferencia de dureza entre estos dos grupos, sin obtener resultados concluyentes (Whipple *et al.*, 1990; Marais, 2007).

III.d. Tejido conectivo

El tejido conectivo es una sustancia extracelular amorfa, el cual tiene pocas células y gran cantidad de elementos incrustados de colágeno, elastina y reticulina (Lawrie y Ledward, 2006). Su principal componente es el colágeno y es la proteína más abundante en los animales, representando de un 20 a un 30% del total de proteínas corporales, encontrándose de manera muy abundante en el organismo, sobre todo en piel, hueso y tendones (Weston *et al.*, 2002; Gerrard y Grant, 2003). En cuanto a calidad de la carne, el colágeno juega un papel importante en la suavidad de la misma, ya que se sabe que mientras mayor sea el porcentaje de su fracción soluble respecto al total, la suavidad hallada en la carne también será mayor (Cross *et al.* 1984).

La estructura primaria del colágeno, está representada por subunidades polipeptídicas llamadas cadenas alfas, las cuales contienen de 1014 a 1023 aminoácidos, con una secuencia repetida de glicina-prolina-hidroxiprolina-glicina, teniendo que cada tres aminoácidos se encuentra una glicina (Gerrard y Grant, 2003; Lawrie y Ledward, 2006). La hidroxiprolina es un aminoácido característico del colágeno ya que éste no está presente en grandes cantidades en otras proteínas como se encuentra en él; en los mamíferos de sangre caliente, la hidroxiprolina representa cerca del 12.8% del colágeno (Lawrie y Ledward, 2006). Es por ello que la cuantificación de este aminoácido, se utiliza para la determinación aproximada del colágeno en el tejido conectivo (Bergman y Loxley, 1963; AOAC, 1995).

Una cadena alfa se puede unir con otras dos mediante puentes de hidrógeno formando una hélice de tres hebras, también conocida como alfa hélice o tropocolágeno, la cual

es una molécula muy fuerte y compacta, con una longitud de 280 nm y 1.5 nm de diámetro (Weston *et al.*, 2002). Estas moléculas de tropocolágeno se unen entre sí, para formar propiamente las fibrillas de colágeno, mediante enlaces covalentes, mejor conocidos como enlaces cruzados, los cuales como se mencionó anteriormente incrementan al envejecer el animal y están relacionados con la insolubilidad de la molécula de colágeno y la dureza de la carne (Cross *et al.*, 1984; Gerrard y Grant, 2003; Lawrie y Ledward, 2006).

La principal función del tejido conectivo es la de dar sostén y organización al músculo, pero también sirve como vía para el abastecimiento vascular y nervioso hacia y desde el músculo y como medio para la transmisión y absorción de la fuerza generada por la contracción muscular (Delgado, 2004; Hui *et al.*, 2010). Es considerado como el responsable de la dureza de fondo (“background toughness”) en la carne de res, ya que este cambia muy poco después de la muerte del animal (McCormick, 1994; Purslow, 2005).

El tejido conectivo forma una red en el músculo con tres niveles de organización estructural: el epimisio que es la lamina de tejido conectivo que envuelve a los músculos individualmente, el perimisio el cual es una lamina más laxa que reviste a los haces musculares o fascículos y por último el endomisio que envuelve a la célula o fibra muscular (Light y Champion, 1984). En cuanto al epimisio, no es importante atribuirle un efecto negativo sobre la terneza de la carne, ya que éste se puede desprender fácilmente del músculo, contrario a lo que sucede con el perimisio y endomisio, los cuales componen el tejido conectivo intramuscular y prácticamente no

se pueden separar del músculo (Delgado, 2004). El perimio conforma la mayoría del tejido conectivo intramuscular con un 90% (Light y Champion, 1984), por lo que se le considera la fuente de variación más importante en la terneza de la carne (Light *et al.*, 1985).

IV. Objetivo

El objetivo del presente trabajo es determinar la influencia de la edad, sexo, genotipo y días de engorda sobre la cantidad, solubilidad e insolubilidad del colágeno de la carne cruda de res procedente de rastros TIF de la República Mexicana, a través de la cuantificación de hidroxiprolina por el método colorimétrico, con la finalidad de asociar dichos resultados con la calidad de la carne.

V. Hipótesis

Se espera una diferencia significativa del porcentaje de colágeno soluble en los animales con diferentes rangos de edad, teniendo en cuenta que en los animales más jóvenes habrá un mayor porcentaje de este, con respecto a los animales de mayor edad. Mientras que el porcentaje de colágeno insoluble será menor en animales jóvenes y mayor en los viejos. El colágeno total no tendrá cambios significativos entre los grupos de edades, pues estamos usando los mismos músculos.

Al incrementarse los días de engorda se espera incrementarse el porcentaje de colágeno soluble con respecto al total, manteniéndose el colágeno total sin diferencia significativa, ya que, una dieta intensiva alta en energía provoca la producción de nuevo colágeno, el cual es soluble.

La influencia del sexo tendrá repercusión en el contenido total de colágeno, teniendo en los machos enteros mayor contenido de este, sin que este sea un factor determinante para la diferencia del porcentaje de colágeno soluble e insoluble entre sexos.

En cuanto al grupo genético, no se esperan diferencias significativas para el colágeno total y sus dos fracciones.

VI. Material y métodos

Las muestras utilizadas en este estudio, pertenecen al proyecto 109127 SAGARPA-CONACYT con nombre “Indicadores de calidad en la cadena de producción de carne fresca en México”. El estudio se llevo a cabo en los diferentes Rastros TIF del Norte, Centro y Sureste de la República Mexicana, en los estados de Sinaloa, Sonora, Baja California, Michoacán, Querétaro, Tabasco y Veracruz. De mil canales muestreadas se seleccionaron 134 muestras aleatorias (número determinado por disponibilidad económica) para la determinación de la cantidad y solubilidad del colágeno. La información referente a la procedencia de los animales (raza, sexo, edad y días de finalización con dietas de alta energía) se obtuvo mediante el levantamiento de un cuestionario a los productores. La muestra se tomó del músculo *Longissimus dorsi* (entre la 10ma y la 12ava costilla) de 2.5 cm de grosor, la cual se empacó al vacío y se trasladó al Laboratorio de Nutrición de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM en el Distrito Federal, para su posterior análisis. Las muestras fueron recortadas de la grasa subcutánea y molidas en un procesador de alimentos marca Foss Homogenizer 2094 (Tecator, Hoganas, Suecia). Después de este proceso, la carne molida se guardó en una bolsa (previamente identificada) a una temperatura de

-22°C ± 2°C. Posteriormente se determinó el contenido de colágeno soluble, insoluble y total, mediante una técnica implementada y validada que combinó la técnica de la AOAC (Asociación de Químicos Analíticos Oficiales) por el método colorimétrico para hidroxiprolina en la carne y productos cárnicos (AOAC, 1995); y la metodología llevada a cabo por Delgado *et al.* (2005).

A continuación se describe la metodología empleada para la determinación del contenido de colágeno total, soluble e insoluble:

VI.a. Preparación de la muestra

Se descongela la muestra en un refrigerador a 4°C ± 2°C aproximadamente de 14-16 hr., después se colocan en tubos de centrifuga por triplicado 4-5 g de la muestra con ayuda de una báscula. Se les agrega 12 ml de solución Ringer ¼ (1 parte de solución ringer se diluye en 3 partes de agua) a los triplicados y se colocan en un baño de agua a 77°C durante 63 minutos. Terminado el tiempo, los tubos se retiran del baño y se dejan enfriar a temperatura ambiente. Ya templados, se balancean con la solución Ringer ¼ y se centrifugan a 8500 RPM/15 min, posteriormente, el sobrenadante se pasa a tubos de vidrio con tapa de rosca. Al residuo se le adicionan 8 ml de la solución Ringer ¼ y se procede a centrifugar nuevamente bajo las mismas condiciones, se colecta el sobrenadante en los tubos respectivos. Por último, el residuo que quedó en los tubos de centrifuga se pasa a otro tubo para su posterior hidrólisis.

VI.b. Hidrólisis

A los tubos de vidrio con el residuo, se les agrega 20 mL de HCl (ácido clorhídrico) 6 mol/L y a los tubos de vidrio con el sobrenadante se les agrega 20 ml de HCl concentrado, para posteriormente colocarlos en el autoclave, verificando que tengan la tapa semicerrada. Los tubos se dejan durante 4 horas en la autoclave a una temperatura de 126°C. Concluido este tiempo, se sacan y se dejan enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente, se filtra el contenido de los tubos (residuo y sobrenadante) a un vaso de precipitado y se procede a neutralizar con sosa sólida, hasta que tengan un pH de 6 a 7. Si se llegaran a pasar del pH establecido, con la ayuda de HCl se puede bajar al valor de pH deseado. Ya neutralizadas las muestras se realiza una segunda filtración al vacío para eliminar el exceso de sosa. Por último las muestras del residuo se aforan con agua destilada a 500 mL y las muestras del sobrenadante, se aforan con agua destilada a 100 mL y se almacenan en refrigeración hasta que se lleve a cabo el desarrollo de color y su posterior lectura en el espectrofotómetro.

VI.c. Desarrollo de color

En un tubo de ensayo limpio y seco se agregan 2 mL de la muestra final, después 2 mL de agua destilada y por último 1 ml de solución oxidante para posteriormente agitar el tubo de ensayo con un agitador vortex. Después de mezclar bien se deja reposar la solución por 20 minutos a temperatura ambiente. Concluido este tiempo se agrega 1 ml de la solución de color y se procede a mezclar muy bien para inmediatamente meter el tubo de ensayo a un baño de agua a 60°C durante 15 minutos. Terminado este tiempo

se deja enfriar el tubo en agua corriente durante 3 min. Por último se miden las absorbancias de las soluciones contra el blanco en celdas de vidrio de 10 mm a una longitud de onda de 558 nm en el espectrofotómetro.

VI.d. Calibración de la curva

Para la calibración de la curva se sigue la metodología llevada a cabo anteriormente en el desarrollo de color, sólo que en lugar de agregar los 2 ml de la muestra hidrolizada, se agregan 2 ml de las soluciones de trabajo de hidroxipolina.

VI.e. Cálculos

1. Obtener de la curva patrón los μg de Hyp/ml de muestra.
2. μg Hyp/g muestra (en el sobrenadante) = μg curva*100/peso muestra [esto será S]
3. μg Hyp/g muestra (en el residuo) = μg curva*500/peso muestra [esto será R]
4. $S*7.52 = \mu\text{g/g}$ de colágeno soluble/1000 = mg/g
5. $R*7.25 = \mu\text{g/g}$ de colágeno insoluble/1000 = mg/g
6. $S + R = \text{colágeno total (CT)}$

VI.f. Análisis estadístico

Los resultados se analizaron por medio del programa estadístico STATGRAPHICS® Centurion XV 15.1.02 mediante pruebas de ANOVA para medir los efectos de los factores explicativos (tipo racial, sexo, días de finalización en corral y edad de los animales) sobre las variables dependientes que son la cantidad y solubilidad del

colágeno utilizando un nivel de confianza del 95%. Para la diferencia de medias se utilizó la prueba de Fisher (LSD) con un $\alpha=0.05$.

Con la finalidad de analizar la interacción de los factores sobre las variables dependientes se utilizó la prueba de Modelos Lineales Generalizados bajo un modelo 4x2x2x2 (tipo racial: $\leq 1/4$, $1/2$, $3/4$ y $4/4$ *Bos indicus*; días de finalización en corral: <100 días y >100 días; edad: <26 meses (jóvenes) y >26 meses (viejos); sexo: hembras y machos) con una confianza del 95%.

VII. Resultados

VII.a. Influencia del grupo genético sobre el contenido total de colágeno y su fracción soluble e insoluble.

El grupo genético no afecta el contenido de colágeno total e insoluble, sin embargo pequeñas diferencias se encontraron para el colágeno soluble (Cuadro 1).

Cuadro 1. Medias de mínimos cuadrados con error estándar y porcentaje para la cantidad de colágeno total, soluble e insoluble en cada grupo genético.

Grupo genético	n	Colágeno total mg/g	Colágeno soluble mg/g	Colágeno insoluble mg/g
Cebú	14	9.73±0.53 ^a (100%)	1.40±0.13 ^{ab} (14.39%)*	8.33±0.44 ^a (85.61%)*
$3/4$ cebú	60	9.64±0.25 ^a (100%)	1.47±0.06 ^a (15.25%)*	8.17±0.20 ^a (84.75%)*
$1/2$ cebú	47	9.58±0.29 ^a (100%)	1.17±0.07 ^b (12.21%)*	8.40±0.24 ^a (87.79%)*
$1/4$ cebú	13	9.30±0.58 ^a (100%)	1.20±0.14 ^{ab} (12.90%)*	8.09±0.48 ^a (87.10%)*

^{a,b} Literales diferentes en la misma columna indica diferencias significativas ($P<0.05$)

* Porcentaje respecto al 100% del colágeno total

VII.b. Influencia de la edad sobre el contenido total de colágeno y su fracción soluble e insoluble.

El contenido de colágeno total (Cuadro 2) en animales jóvenes fue mayor, pero el colágeno soluble supuso el 14.63% del colágeno total frente a solo el 10.41% en animales viejos. Por otro lado, el porcentaje de colágeno insoluble en los animales jóvenes fue significativamente ($P < 0.05$) menor (85.37%) que el de los viejos (89.59%).

Cuadro 2. Medias de mínimos cuadrados con error estándar y porcentaje para la cantidad de colágeno total, soluble e insoluble en los dos grupos de edades.

Edad	n	Colágeno total mg/g	Colágeno soluble mg/g	Colágeno insoluble mg/g
<26 meses	104	9.91±0.19 ^a (100%)	1.46±0.05 ^a (14.63%)*	8.45±0.16 ^a (85.37%)*
>26 meses	30	8.36±0.38 ^b (100%)	0.87±0.09 ^b (10.41%)*	7.49±0.31 ^b (89.59%)*

^{a,b} Literales diferentes en la misma columna indican diferencias significativas ($P < 0.05$)

* Porcentaje respecto al 100% del colágeno total

VII.c. Influencia de los días de engorda sobre el contenido total de colágeno y su fracción soluble e insoluble.

La carne proveniente de animales con mayores días de engorda tienen un menor contenido de colágeno total (9.40 mg/g) y una menor cantidad de colágeno insoluble (8.11 mg/g) (Cuadro 3), en comparación con aquellos que tienen menos días de engorda, en los cuales se incrementan estos valores. Mientras que el colágeno soluble no se ve afectado por la cantidad de días en engorda.

Cuadro 3. Medias de mínimos cuadrados con error estándar y porcentaje para la cantidad de colágeno total, soluble e insoluble en los dos grupos de días de engorda.

Días de engorda	n	Colágeno total mg/g	Colágeno soluble mg/g	Colágeno insoluble mg/g
>100	107	9.40±0.19 ^a (100%)	1.30±0.05 ^a (13.83%)*	8.11±0.16 ^a (86.17%)*
<100	27	10.30±0.37 ^b (100%)	1.49±0.09 ^a (14.17%)*	8.81±0.31 ^b (85.83%)*

^{a,b} Literales diferentes en la misma columna indica diferencias significativas (P<0.05)

* Porcentaje respecto al 100% del colágeno total

VII.d. Influencia del sexo sobre el contenido total de colágeno y su fracción soluble e insoluble.

El sexo tuvo un efecto significativo en el colágeno total y colágeno insoluble, teniendo las hembras las mayores cantidades de colágeno total y mayor porcentaje de insoluble que los machos (Cuadro 4). El colágeno soluble no se vio afectado por el sexo.

Cuadro 4. Medias de mínimos cuadrados con error estándar y porcentaje para la cantidad de colágeno total, soluble e insoluble en machos y hembras.

Sexo	n	Colágeno total mg/g	Colágeno soluble mg/g	Colágeno insoluble mg/g
Hembra	40	10.39±0.31 ^a (100%)	1.44±0.08 ^a (13.86%)*	8.95±0.26 ^a (86.14%)*
Macho	94	9.26±0.20 ^b (100%)	1.30±0.53 ^a (14.04%)*	7.96±0.17 ^b (85.96%)*

^{a,b} Literales diferentes en la misma columnas indica diferencias significativas (P<0.05)

* Porcentaje respecto al 100% del colágeno total

VII.e. Interacciones de segundo grado

En el Cuadro 5 se muestran las interacciones de segundo grado, detectadas entre los factores de producción animal (genotipo, edad, días de engorda y sexo) y el contenido de colágeno soluble, insoluble y total.

VII.e.1. Interacción genotipo x edad

La interacción genotipo x edad tuvo repercusiones en el contenido del colágeno soluble, insoluble y total. Los animales de genotipo cebú y $\frac{1}{4}$ cebú conforme avanza la edad aumenta su contenido en colágeno soluble (Figura 1). Caso contrario sucede en animales con genotipo $\frac{1}{2}$ cebú y $\frac{3}{4}$ cebú, ya que cuando son jóvenes tienen mayor cantidad de colágeno soluble y este disminuye a medida que envejecen (Figura 1).

Cuadro 5. Interacciones para los efectos de grupo genético, edad, días de engorda y sexo sobre el colágeno soluble, insoluble y total.

Interacciones	Colágeno soluble	Colágeno insoluble	Colágeno total
Genotipo x Edad	*	*	*
Genotipo x D. engorda	NS	NS	NS
Genotipo x Sexo	*	*	*
Edad x D. engorda	NS	NS	NS
Edad x Sexo	NS	NS	NS
D. engorda x Sexo	NS	*	*

*P<0.05 = Existe interacción entre las dos variables

NS= No hay diferencia significativa en la interacción

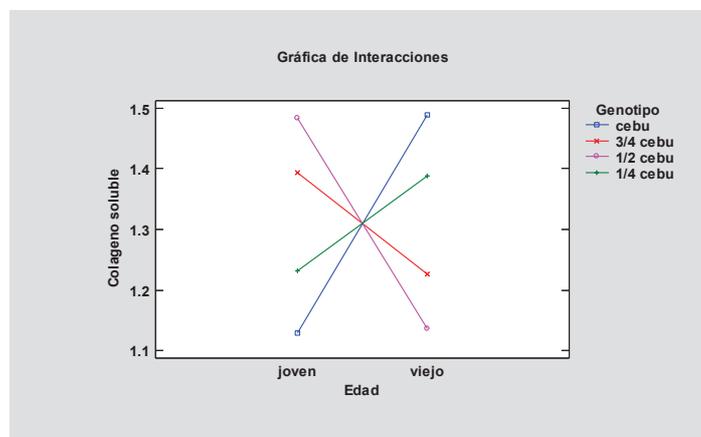
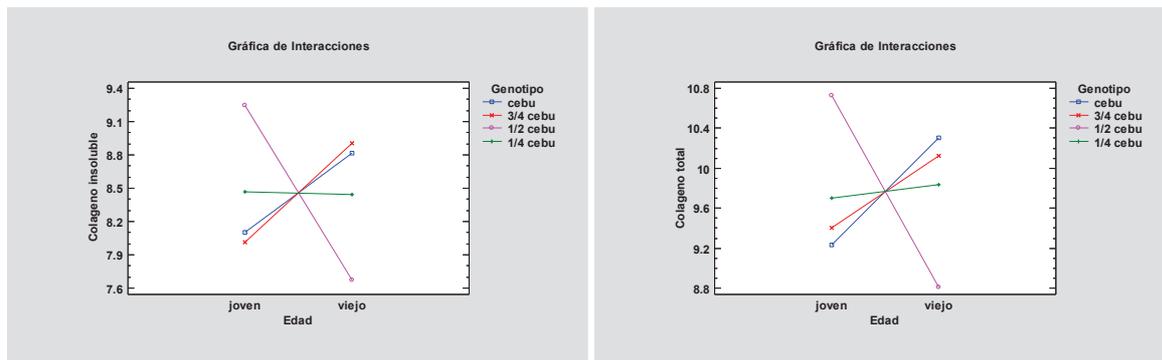


Figura 1. Interacción genotipo x edad sobre la cantidad de colágeno soluble.

El comportamiento de la interacción para el colágeno insoluble y total fue similar (Figuras 2 y 3). Los animales $\frac{1}{2}$ cebú y jóvenes tienen la mayor cantidad de estos y los animales con este genotipo pero viejos tienen la menor cantidad. Los animales $\frac{1}{4}$ cebú jóvenes y viejos tienen similar contenido de colágeno insoluble y total. Los genotipos cebú y $\frac{3}{4}$ cebú se comportan de la misma manera, ya que cuando son jóvenes, tienen una menor cantidad de colágeno insoluble y total que cuando son animales viejos y la cantidad de estos dos aumenta. Los animales cebú jóvenes tienen mayor contenido de colágeno insoluble y menor cantidad de colágeno total en comparación con los animales $\frac{3}{4}$ cebú jóvenes, sin embargo cuando estos animales son viejos, se intercambian las posiciones y los animales $\frac{3}{4}$ cebú viejos tienen mayor cantidad de colágeno insoluble y menor cantidad de colágeno total que los cebú viejos.



Figuras 2, 3. Interacción genotipo x edad sobre la cantidad de colágeno insoluble y sobre la cantidad de colágeno total.

VII.e.2. Interacción genotipo x sexo

La interacción genotipo x sexo tuvo repercusiones en el contenido del colágeno soluble, insoluble y total. Las hembras cebú tuvieron la menor cantidad de colágeno soluble y los machos con este genotipo el mayor contenido (Figura 4). Los animales $\frac{1}{4}$ cebú tuvieron similar contenido de colágeno soluble independientemente del sexo. Hembras $\frac{1}{2}$ cebú y hembras $\frac{3}{4}$ cebú, tienen más contenido de colágeno soluble, que los machos en sus respectivos genotipos. Las hembras $\frac{1}{2}$ cebú tienen mayor contenido de colágeno soluble que las hembras $\frac{3}{4}$ cebú. Sin embargo los machos $\frac{3}{4}$ cebú tienen más contenido de colágeno soluble, que los machos $\frac{1}{2}$ cebú.

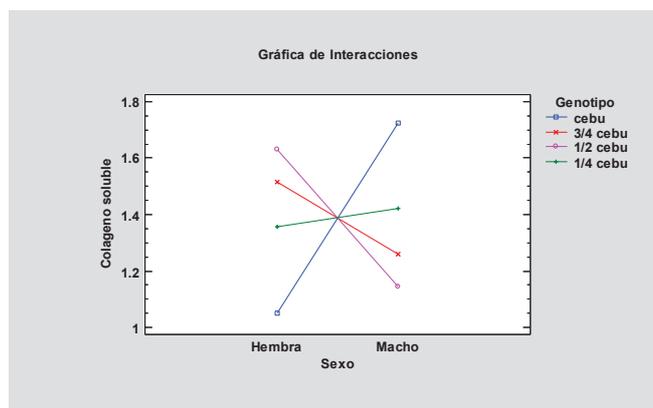
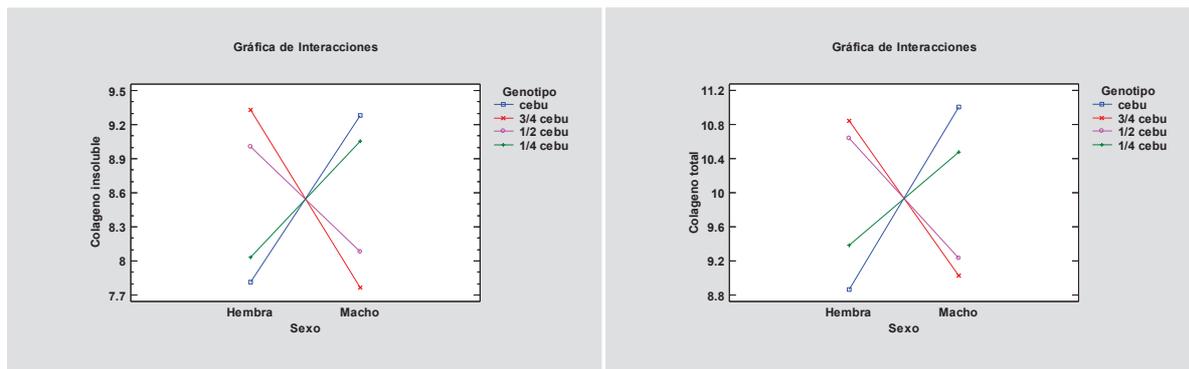


Figura 4. Interacción genotipo x sexo sobre la cantidad de colágeno soluble.

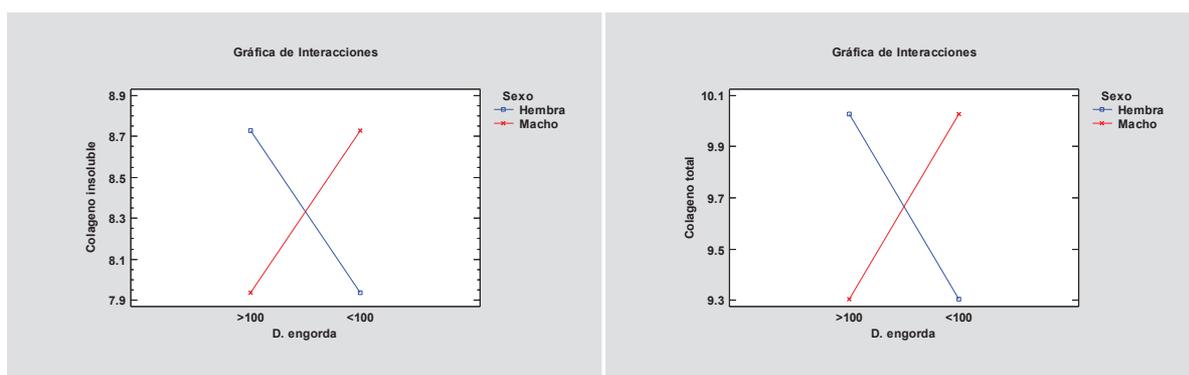
El comportamiento de la interacción para el colágeno insoluble y total fue similar (Figuras 5 y 6). Se observa que cuando los animales son $\frac{3}{4}$ cebú o $\frac{1}{2}$ cebú el contenido de colágeno insoluble y total es mucho mayor en las hembras que en los machos y que cuando los animales son cebú o $\frac{1}{4}$ cebú el contenido de colágeno insoluble y total es mucho mayor en los machos que en las hembras. Las hembras con genotipo $\frac{3}{4}$ cebú tienen mayor contenido de colágeno insoluble y total que las hembras con genotipo $\frac{1}{2}$ cebú, para los machos de estos genotipos, los $\frac{1}{2}$ cebú tienen más contenido del insoluble y total en comparación de los $\frac{3}{4}$ cebú. Los machos con genotipo cebú poseen mayor cantidad de colágeno insoluble y total que los machos con genotipo $\frac{1}{4}$ cebú, por otra parte las hembras con genotipo $\frac{1}{4}$ cebú poseen mayor cantidad de colágeno insoluble y total en comparación de las hembras totalmente cebús.



Figuras 5 y 6. Interacción genotipo x sexo sobre la cantidad de colágeno insoluble y total.

VII.e.3. Interacción días de engorda x sexo

La interacción días de engorda x sexo tuvo repercusión en el colágeno insoluble y total, ambas interacciones se comportan de manera similar (Figuras 7 y 8). Cuando las hembras tienen mayores días de engorda el contenido de colágeno insoluble y total es mayor. En el caso de los machos sucede lo contrario, ya que al incrementarse los días de engorda el contenido de colágeno insoluble y total disminuye.



Figuras 7 y 8. Interacción días de engorda x sexo sobre la cantidad de colágeno insoluble y total.

VII.f. Interacciones de tercer y cuarto grado

Algunas interacciones de tercer y cuarto grado resultaron positivas, sin embargo su explicación carece de sentido en este estudio por lo que no serán discutidas.

Cuadro 6. Interacciones de tercer grado para los efectos de grupo genético, edad, días de engorda y sexo sobre el colágeno soluble, insoluble y total.

Interacciones	Colágeno soluble	Colágeno insoluble	Colágeno total
Raza x Edad x D. engorda	*	*	*
Raza x Edad x Sexo	*	*	*
Raza x D. engorda x Sexo	*	*	*
Edad x D. engorda x Sexo	*	NS	NS
Raza x Edad x D. engorda x Sexo	*	*	NS

*P<0.05 = Existe interacción entre las dos variables

NS= No hay diferencia significativa en la interacción

VIII. Discusión

La calidad de la carne, desde el punto de vista sensorial, es la combinación adecuada de los atributos de color, aroma, suavidad, jugosidad y sabor (Pearson y Dutson, 1994; Warris, 1996, Bernués *et al.*, 2003). Dentro de estas características sensoriales u organolépticas, diversas investigaciones y agentes vinculados a la industria cárnica coinciden que la más importante para el consumidor es la suavidad encontrada al momento de degustar el producto cárnico y que de ella depende la reiteración de la

compra del mismo (Peluffo y Monteiro, 2002; Vásquez *et al.*, 2007; Dubost *et al.*, 2013; González *et al.*, 2014). Son muchos los factores que afectan a la suavidad, entre ellos encontramos al marmoleo o grasa intramuscular, que se sabe tiene un impacto de alrededor del 5% a 9% de la variación en la suavidad en el músculo. (Jeremiah, 1978; Wheeler *et al.*, 1994; Jones y Tatum, 1994). Por otro lado, se sabe que la carne procedente de ganado *Bos indicus* comparada con la de *Bos taurus* es más dura, debido a que los *B. Indicus* tienen mayor cantidad y actividad de la enzima calpastatina, que tiene como función la inhibición de otra enzima llamada calpeína, la cual se encarga de madurar y suavizar la carne durante el proceso de maduración (Crouse *et al.*, 1989; Wheeler *et al.*, 1990; Whipple *et al.*, 1990; Shackelford *et al.*, 1991; Bidner *et al.*, 2002; Riley *et al.*, 2005; Barendse *et al.*, 2008). Otro aspecto fundamental es el contenido de colágeno insoluble en la carne, el cual ha sido reportado como altamente influyente en la dureza de la misma, en el trabajo realizado por Riley *et al* (2005), observaron que por cada miligramo de aumento en el colágeno insoluble aumentaba hasta 9.0 Newtons la fuerza de corte y este aumento era lo suficientemente grande para que los consumidores detectaran una mayor dureza en la misma.

En el estudio de Méndez *et al.* (2009) reportaron que el 90% de la población de bovinos destinados al mercado de la carne en México tienen algún grado de inclusión *Bos indicus* en las cruzas; es por eso que este estudio se realizó sobre las diversas cruzas que se encuentran a nivel comercial en México. Los resultados de la presente investigación indican que el grupo genético no afectó el contenido de colágeno total e insoluble, sin embargo pequeñas diferencias se encontraron para el colágeno soluble. Las muestras de este estudio provienen de un trabajo (Jiménez, 2014) donde se midió

la fuerza de corte y los resultados para el grupo de animales $\frac{1}{2}$ Cebú fueron los más bajos, aunque, la carne de animales 100% Cebú mostró tendencia a mayor fuerza de corte, no se observó diferencia significativa de este grupo en comparación con los animales con cruza $\frac{3}{4}$ y $\leq \frac{1}{4}$ Cebú. Esto coincide con los resultados obtenidos para el contenido de colágeno pues $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{4}$ y cebú no tuvieron diferencias significativas en lo que se refiere al colágeno total, soluble y el insoluble. Sin embargo, la craza $\frac{1}{2}$ fue la que tuvo menor porcentaje de colágeno soluble, aunque no es significativamente diferente del cebú o la craza $\frac{1}{4}$. Investigaciones llevadas a cabo por Strydom *et al.* (2010) muestran que la carne con mayores concentraciones de colágeno soluble, no tienen una relación lineal con la fuerza de corte.

Mientras tanto, muchos autores han mostrado que conforme aumenta la inclusión de cebú en la cruza, aumenta la dureza de la carne (Crouse *et al.*, 1989; Johnson *et al.*, 1990; Whipple *et al.*, 1990; Koohmaraie *et al.*, 1995; Barendse *et al.*, 2008). Este efecto se explica debido a la elevada actividad de la calpastatina del genotipo *Bos indicus*, lo que causa un retardo del ablandamiento natural de la carne durante la maduración post-mortem (Crouse *et al.*, 1989; Wheeler *et al.*, 1989; Wheeler *et al.*, 1990; Whipple *et al.*, 1990; Sherbeck *et al.*, 1995; Pringle *et al.*, 1997; Bidner *et al.*, 2002; Barendse *et al.*, 2008; Café *et al.*, 2010).

El estudio de Marais (2007) contiene resultados contrarios a los enunciados en la bibliografía en general, pues encontró que el ganado Brahman tenía valores más bajos de fuerza de corte en comparación con la raza Simmental, representando al grupo *Bos taurus*; en este estudio también se realizaron mediciones para el colágeno insoluble y

aunque no hubo diferencias significativas entre estas dos razas, el menor contenido de este se encontró en el ganado Brahman, lo que pudo contribuir a menores valores en la fuerza de corte. Por otro lado, González *et al.* (2014) estudiaron el efecto de la genética Brahman sobre la expresión genética de enzimas responsables del mantenimiento y producción de enlaces cruzados en el colágeno y de cómo éstas afectan la suavidad de la carne. Se demostró que dos enzimas (una relacionada con la producción de enlaces cruzados y la otra con el mantenimiento de estos) estaban presentes mayormente en animales con genética predominantemente Brahman y que éstas se correlacionaban con una mayor fuerza de corte, y una menor suavidad y mayor tejido conectivo detectado por un panel sensorial.

Todo lo expuesto anteriormente nos indica que, tal vez las investigaciones sobre cómo afecta el genotipo *Bos indicus* al contenido de colágeno y sus dos fracciones, y como estos influyen en una mayor o menor suavidad de la carne están siendo subestimadas y se tendrían que realizar mayores investigaciones que aclaren esta situación.

Es sabido que las cruza bovinas con porcentajes altos de inclusión *Bos indicus* tienen menor grado de marmoleo y un menor grosor de grasa subcutánea en comparación con aquellas de mayor porcentaje *Bos taurus* (Carpenter *et al.*, 1961; Peacock *et al.*, 1979; Huffman *et al.*, 1990; O'Connor *et al.*, 1997) esto es debido a las diferencias de rusticidad y precocidad entre razas de los troncos *Bos indicus* y *Bos taurus*; ya que los animales *Bos taurus* son más precoces que los *Bos indicus* alcanzando el estado de madurez más rápido que los animales Cebú (Brito *et al.*, 2004). Un aspecto importante en esta discusión, es el hecho de que si hay un aumento en la grasa intramuscular, el

tejido conectivo (endo y perimisio) se adelgazan y la carne se suaviza (Savell y Cross, 1988). Esta inhabilidad en el ganado *B. indicus* puede permitir que el tejido conectivo no se adelgace a medida que la edad y el engrasamiento del animal aumentan y por lo tanto no sufre modificaciones tal como lo sugiere Nishimura *et al.* (1999).

La mayoría de los estudios demuestran que la carne es más dura a mayor edad de los animales (Hill, 1966; Cross *et al.*, 1973; Bailey, 1985; McCormick, 1994; Maltin *et al.*, 1998; Plessis y Hoffman, 2007) debido al incremento de la insolubilidad del colágeno a medida que el animal envejece, y tal como era de esperar, en nuestro estudio los animales jóvenes tienen mayor contenido de colágeno soluble (14.63%) que los viejos (10.41%), además el colágeno insoluble en los animales jóvenes fue significativamente ($P < 0.05$) menor (85.37%) que el de los viejos (89.59%). También, Bate-Smith (1948) y Wilson *et al.* (1954) encontraron que el contenido de tejido conectivo es mayor en animales jóvenes, que en viejos, como en nuestro estudio. Hill (1966) fue uno de los primeros en relacionar la mayor suavidad hallada en la carne de animales jóvenes con el contenido de colágeno soluble presente en esta y observar que a medida que envejece el animal la cantidad de colágeno soluble disminuye. Diversas investigaciones se han llevado a cabo al respecto (Boccard *et al.*, 1979; Cross *et al.*, 1984; Fang *et al.*, 1999) y la mayoría coinciden en que el colágeno forma enlaces cruzados a medida que la edad del animal aumenta (Carmichael y Lawrie, 1967; Shimokomaki *et al.*, 1972; Cross *et al.*, 1984; Bailey y Light, 1989; Bosselmann *et al.*, 1995; Lawrie y Ledward, 2006), lo que produce que se formen moléculas de colágeno más complejas y termoestables que confieren al tejido conectivo (y por ende a la carne) una mayor dureza.

Por otro lado, los resultados obtenidos en este estudio muestran que la carne proveniente de animales con mayores días de engorda tienen un menor contenido de colágeno total (9.40 mg/g) y un mayor porcentaje de colágeno insoluble en comparación con aquellos que tienen menos días de engorda, mientras que el colágeno soluble no se ve afectado por la cantidad de días en engorda. En el trabajo realizado por Nishimura *et al.* (1999) se investigaron los cambios en las propiedades y estructura del tejido conectivo durante la engorda de ganado negro japonés en el músculo *longissimus*. Ellos encontraron que en los primeros meses de engorda la fuerza de corte incrementó para después disminuir consistentemente hasta los últimos meses de engorda, mientras que el contenido de grasa intramuscular aumento gradualmente en los primeros meses de engorda para después aumentar rápidamente hasta el último mes de engorda. En cuanto a la cantidad de colágeno total, éste fue disminuyendo constantemente a través del periodo de engorda. Ayudados de microscopia electrónica de barrido, observaron los cambios ocurridos en el perimisio y endomisio a través de los días de engorda y encontraron que al final de la engorda las estructuras del endomisio y perimisio se apreciaban deformadas y las fibras de colágeno que las conformaban estaban desordenadas, además se observó una gran cantidad de marmoleo y abundante tejido adiposo entre los haces de fibras musculares, concluyendo que el tejido adiposo generado durante la engorda desorganiza la estructura del tejido conectivo intramuscular y contribuye a una mayor suavidad en la carne. Estos resultados concuerdan con lo visto también por Jiménez (2014) con estas mismas muestras, en donde a periodos de engorda mayores a 100 días, se aprecia un mayor marmoleo y una distribución de grasa más uniforme, y en el caso de los machos la

fuerza de corte también disminuye con periodos de engorda mayores a 100 días. Por tanto, la menor cantidad de colágeno total e insoluble (aunque este es mayor en porcentaje) presente en nuestro estudio para los animales con periodos de engorda mayores a 100 días, se puede asociar a un incremento de la grasa intramuscular que desestabiliza y reemplaza, en parte, la cantidad de colágeno presente en el musculo. Esta disminución relativa del colágeno puede explicarse mediante la teoría del bocado desarrollada por Smith y Carpenter (1974), que argumentan que al haber un mayor grado de marmoleo disminuye la masa (proteína) por unidad de volumen, es decir la proteína es reemplazada por la grasa, y al tener esta una menor resistencia a la fuerza de corte, la carne tendrá una mayor suavidad aparente.

El porcentaje mayor de colágeno insoluble y menor (aunque no tuvo diferencia significativa ($P>0.05$)) del colágeno soluble en los animales con mayores días de engorda, podría explicarse con lo expuesto anteriormente de cómo la edad cronológica del animal afecta estas dos fracciones, ya que al incrementarse los días de engorda, por ende también se incrementa la edad del animal, lo que provoca una disminución del colágeno soluble y un aumento en la formación de enlaces cruzados que aumentan el contenido de colágeno insoluble.

En cuanto al sexo, se tuvieron diferencias significativas en el colágeno total y colágeno insoluble, teniendo las hembras las mayores cantidades de colágeno total y el mayor porcentaje de colágeno insoluble en comparación con los machos, mientras que el colágeno soluble no se vio afectado por el sexo. Existen muy pocas investigaciones acerca de cómo el sexo influye en el colágeno, pues el mayor nivel de engrasamiento

hallado en las hembras y machos castrados, es reconocido como el mecanismo que le confiere mayor suavidad a la carne proveniente de estos animales (Riley *et al.*, 1983; Peluffo y Monteiro, 2002). Cross *et al.* (1984) encontraron que los machos tienen más colágeno total y soluble que las hembras. También en el estudio de Boccard *et al.*, (1979) observaron que los machos tuvieron mayor contenido de colágeno total que las hembras, y que la solubilidad disminuyó marcadamente entre los 12 y 16 meses de edad pero solo en los machos.

Un aspecto importante a destacar es que las cantidades de colágeno encontradas en este estudio son muy altas comparadas con otros autores (Riley *et al.*, 2005; Marais, 2007). Nuestros promedios están alrededor de 9.5 mg/g, mientras que Riley y Marais encuentran que el contenido de colágeno total está alrededor de 3.5 y 1.5 mg/g respectivamente. Pero se ha de notar que igualmente las fuerzas de corte de la carne mexicana en nuestros estudios, también están mucho más elevadas que las reportadas por otros autores. Jimenez (2014) reporta una fuerza de corte para $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ y cebú de 6.86 ± 0.54 , 5.88 ± 0.19 , 6.75 ± 0.16 , 7.10 ± 0.33 , respectivamente, mientras que Riley encontró una fuerza de corte alrededor de 5 Kg y Marais de 4.6 kg.

IX. Conclusiones

La edad de los animales fue el único factor que afectó a las tres determinaciones de colágeno y obtuvo proporciones y cantidades acordes a la literatura. Mientras tanto los

días de engorda y el sexo solo afectaron el colágeno total e insoluble y por su parte el genotipo solo tuvo repercusiones sobre el colágeno soluble.

Es importante recalcar que el valor promedio del colágeno total obtenido en esta investigación (9.5 mg/g) es más alto, al de otros estudios (Riley *et al.*, 2005; Marais, 2007), sin embargo este aumento se puede relacionar a los mayores valores en la fuerza de corte para estas mismas muestras reportados por Jiménez (2014). La metodología llevada a cabo en este estudio para la determinación de colágeno total, soluble e insoluble, fue mejorada, implementada y validada, y puede ser usada para posteriores estudios.

Existen una gran variedad de factores que afectan a la calidad sensorial de la carne alterando sus características fisicoquímicas y que determinan la aceptación o el rechazo del producto por parte del consumidor. Hay muy pocas investigaciones sobre la calidad de la carne mexicana y como se ve alterada por los diferentes factores de producción como el sexo, la genética, los días de engorda, la edad, el tipo de alimentación, el uso de promotores de crecimiento etc. Los resultados de esta investigación aportan información actualizada acerca de cómo algunos factores de producción afectan al contenido de colágeno total y a su fracción soluble e insoluble en la carne nacional y servirán como referencia para posteriores estudios vinculados con la calidad de la carne enfocados a describir las características generales de esta.

X. Referencias

1. Allain J.C., Le Lous, M.; Bazin, S. Bailey, A.J.; Delaunay, A. 1978. Isometric tension developed during heating of collagenous tissues. Relationships with collagen cross-linking. *Biochemical and Biophysics Acta*, 533,147-155.
2. AOAC. Official Methods of Analysis. 16th ed. USA: Association of Analytical Chemists, 1995.
3. Aparicio, X. 2013. Composición químico proximal de la carne cruda de res procedente de rastros TIF de México. Tesis de licenciatura. México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México.
4. Asociación Mexicana de Engordadores de Ganado Bovino, A. C. [página Web en Internet]. Estadísticas nacionales de producción. [citado 20 Octubre 2015]. Disponible en URL: <http://www.ameg.org.mx/estadisticas/nacional/produccion/>
5. Asociación Nacional de Establecimientos TIF, A.C. [página Web en Internet]. Estructura de la producción nacional de carne en canal 2014. [Citado 20 Octubre 2015]. Disponible en URL: http://www.anetif.org/pages/view/estructura_de_la_produccion
6. Bailey, A. J. 1972. The basis of meat texture. *Journal Science Food Agriculture*. 23: 995.
7. Bailey, A. J. 1985. The role of collagen in the development of muscle and its relationship to eating quality. *Journal of Animal Science*. 60(6): 1580-1587.
8. Bailey, A. J.; Light, N. D. 1989. *Connective tissue in meat and meat products*. London, England: Elsevier Applied Science.

9. Barendse, W.; Harrison, B. E.; Bunch, R. J.; Thomas, M. B. 2008. Variation at the Calpain 3 gene is associated with meat tenderness in zebu and composite breeds of cattle. *BMC Genetics*. 9: 41.
10. Bate-Smith, E. C. 1948. Observations on the Ph and related properties of meat. *Journal of the Society of Chemical Industry*. 67(3): 83-90.
11. Bennett L.L.; Hammond, A.C.; Williams M.J.; Kunkle, W.E.; Johnson, D.D.; Preston, R.L.; Miller, M.F. 1995. Performance, carcass yield, and carcass quality characteristics of steers finished on rhizome peanut (*Arachis glabrata*)-tropical grass pasture or concentrate. *Journal of Animal Science*, 73: 1881-1887.
12. Bergman, I.; Loxley, R. 1963. Two improved and simplified methods for the spectrophotometric determination of hydroxyproline. *Analytical Chemistry*, 35(12): 1961-1965.
13. Bernués, A.; Olaizola, A.; Corcoran, K. 2003. Extrinsic attributes of red meat as indicators of quality in Europe: an application for market segmentation. *Food Quality and Preference*. 14: 265-267.
14. Berry, B. W.; Smith, G. C.; Carpenter, Z. L. 1974. Beef Carcass Maturity Indicators and Palatability Attributes. *Journal of Animal Science* 38(3): 507-514.
15. Bidner, T. D.; Wyatt, W. E.; Humes, P. E.; Franke, D. E.; Blouin, D. C. 2002. Influence of Brahman-derivative breeds and Angus on carcass traits, physical composition, and palatability. *Journal of Animal Science*, 80(8): 2126-2133.
16. Bocard, R.L.; Naudé, R.T.; Cronje, D.E.; Smit, Maria C.; Venter, H.J.; Rossouw, Ellenor J. 1979. The influence of age, sex and breed of cattle on their muscle characteristics. *Meat Science*, 3(4): 261-280.

17. Boleman, S. J.; Miller, R. K.; Buyck, M. J.; Cross, H. R.; Savell, J. W. 1996. Influence of realimentation of mature cows on maturity, color, collagen solubility, and sensory characteristics. *Journal of Animal Science*, 74: 2187-2194.
18. Bosselmann, A.; Möller, C.; Steinhart, H.; Kirchgessner, M.; Schwarz, F. J. 1995. Pyridinoline cross-links in bovine muscle collagen. *Journal of Food Science*, 60(5): 953-958.
19. Brito, L.; Silva, A. E.; Unanian, M. M.; Dode, M. A.; Barbosa, R. T.; Kastelic, J. P. 2004. Sexual development in early- and late-maturing *Bos indicus* and *Bos indicus*- *Bos taurus* crossbred bulls in Brazil. *Theriogenology*. 62: 1198:1217.
20. Bures, D.; Barton, L. 2012. Growth performance, carcass traits and meat quality of bulls and heifers slaughtered at different ages. *Czech Journal of Animal Science*, 57(1): 34-43.
21. Café, L. M.; McIntyre, B. L.; Robinson, D. L.; Geesink, G. H.; Barendse, W.; Greenwood, P. L. 2010. Production and processing studies on calpain-system gene markers for tenderness in Brahman cattle: 1. Growth, efficiency, temperament, and carcass characteristics. *Journal of Animal Science*. 88 (9): 3047-3058.
22. CANFAX [página Web en Internet]. The CanFax statistical briefer [Citado 19 de Enero 2016]. Disponible en URL: <http://www.canfax.ca/Samples/StatBrf.pdf>
23. Carmichael, D. J.; Lawrie, R. A. 1967. Bovine collagen. I. Changes in collagen solubility with animal age. *International Journal of Food Science and Technology*. 2(4): 299-311.

24. Carpenter, J.W.; Palmer, A.Z.; Kirk, W.G.; Peacock, F.M.; Koger, M. 1961. Slaughter and carcass characteristics of Brahman and Brahman-shorthorn crossbred steers. *Journal of Animal Science*, 20: 336-340.
25. Consejo Mexicano de la Carne [página Web en Internet]. México: Historia de la carne [Citado 8 de Septiembre 2015]. Disponible en URL:<http://www.comecarne.org/historia-de-la-carne/>.
26. Cross, H. R.; Carpenter, Z. L.; Smith, G. C. 1973. Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. *Journal of Food Science*, 38(6): 998-1003.
27. Cross, H. R.; Schanbachery, B. D.; Crouse, J.D. 1984. Sex, age and breed related changes in bovine testosterone and intramuscular collagen. *Meat Science*, 10: 187-195.
28. Crouse, J. D.; Cross, H.R.; Siedeman, S.C. 1984. Effects of a grass or grain diet on the quality of three beef muscles. *Journal of Animal Science*, 58: 619-625.
29. Crouse, J. D.; Cundiff, L. V.; Koch, R. M.; Koohmarie, M.; Seideman, S. C. 1989. Comparisons of *Bos indicus* and *Bos taurus* inheritance for carcass beef characteristics and meat palatability. *Journal of Animal Science*. 67(10): 2661-2668.
30. Crouse, J. D.; Seideman, S.C.; Cross, H.R. 1983. The effects of carcass electrical stimulation and cooler temperature on the quality and palatability of bull and steer beef. *Journal of Animal Science*, 56(1): 81-90.

31. Delgado, E. J. 2004. Calidad y nivel de residuos de β -Agonistas adrenérgicos en carne de bovino nacional e importada en México. Tesis de maestría. D.F, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
32. Delgado, E. J.; Rubio, M.S., Iturbe, C.F., Méndez, M.D., Cassis, L.; Rosiles, R. 2005. Composition and quality of Mexican and imported retail beef in Mexico. *Meat science*, 65: 465-471.
33. Dinius, D. A.; Cross, H.R. 1978. Feedlot performance, carcass characteristics and meat palatability of steers fed concentrate for short periods. *Journal of Animal Science*, 47: 1109-1113.
34. Dubost, A.; Micol, D.; Picard, B.; Lethias, C.; Andueza, D.; Bauchart, D.; Listrat, A. 2013. Structural and biochemical characteristics of bovine intramuscular connective tissue and beef quality. *Meat Science*, 95: 555-561.
35. Eyre, D.R.; Paz, M.A.; Gallop, P.M. 1984. Cross-linking in collagen and elastin. *Annual Review of Biochemistry*, 53: 717-748.
36. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Departamento de Producción Animal: Rumiantes y SUA. [página Web en Internet]. México: Razas de ganado bovino en México [Citado 20 Febrero 2015]. Disponible en URL: <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/enlinea/bovinos/intro.htm>
37. Fang, S. H.; Nishimura, T.; Takahashi, K. 1999. Relationship between development of intramuscular connective tissue and toughness of pork during growth of pigs. *Journal of Animal Science*. 77: 120-130.
38. Financiera rural [página Web en Internet]. México: Monografía de carne de bovino [Citado 8 Septiembre 2014]. Disponible en

URL:<http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Bovino%20%28may%202014%29.pdf>

39. Gerrard, D.E.; Grant, A.L. 2003. Principles of animal growth and development. Iowa, United States of America: Kendall/Hunt Publishing *Company*.
40. Gonzalez, J. M.; Johnson, D. D.; Elzo, M.A.; White, M. C.; Stelzleni, A. M.; Johnson. 2014. Effect of Brahman genetic influence on collagen enzymatic crosslinking gene expression and meat tenderness. *Animal Biotechnology*. 25: 165-178.
41. Hill, F. 1966. The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages. *Journal of Food Science*. 31:161-166.
42. Hubbert, W. T.; Gastad, H. V.; Spangler, E.; Hinton, M. H.; Hughes, K. L.; 1996. Food safety and quality assurance. Foods of animal origin. Iowa, U.S.A.: Iowa State University press.
43. Huertas-Leidenz, N.; Ríos, G. 1993. La castración a diferentes estadios de crecimiento II. Efectos sobre las características de la canal: una revisión. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Zulia*, 10: 163-187.
44. Huffman, R.D.; Williams, S.E.; Hargrove, D.D.; Johnson, D.D.; Marshall, T.T. 1990. Effects of percentage Brahman and Angus breeding, age-season of feeding and slaughter end point on feedlot performance and carcass characteristics. *Journal of Animal Science*, 68(8): 2243-2252.
45. Hui, Y.H.; Guerrero, I.; Rosmini, M.R. 2010. Ciencia y tecnología de carnes. D.F., México: Limusa.

46. Jeremiah, L. E. 1978. A review of factors affecting meat quality. Research Station, Lacombe, Alberta, Canada: Tech. Bull.
47. Jiménez, H. P. 2014. Efecto de los días de engorda, tipo racial y edad de los animales sobre la calidad organoléptica y composición de la carne de bovino en México. Tesis de maestría. D.F, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
48. Johnson, D. D.; Huffman, R. D.; Williams, S. E.; Hargrove, D. D. 1990. Effects of percentage Brahman and Angus breeding, age-season of feeding and slaughter end point on meat palatability and muscle characteristics. *Journal of Animal Science*. 68(7): 1980-1986.
49. Jones, B. K.; Tatum, J. D. 1994. Predictors of beef tenderness among carcasses produced under commercial conditions. *Journal of Animal Science*. 72: 1492-1501.
50. Koch, R.M.; Dikeman, M.E.; Seideman, S.C. 1982. Characterization of biological types of cattle (Cycle III). Carcass composition, quality and palatability. *Journal of Animal Science*, 54(1): 35-45.
51. Koohmaraie, M.; Killefer, J.; Bishop, M. D.; Shackelford, S. D.; Wheeler, T. L.; Arbona, J. R. 1995. Calpastatin-based methods for predicting meat tenderness. En: Ouali, A., Demeyer, D.J., Smulders, F.J.M. (Eds.). *Expression of tissue proteinases and regulation of protein degradation as related to meat quality*. ECCEAMST: 395-410.
52. Lawrie, R. A.; Ledward, D. A. 2006. *Lawrie's meat science*. Boca raton, Florida, USA: CRC Press.

53. Light N.D. 1987. The role of collagen in determining the texture of meat. In: Advances in Meat Research, Vol. 4 (A.M. Pearson, T.R. Dutson and A.J. Bailey, eds.) AVI, New York p. 87-107.
54. Light N.D.; Champion A.E. 1984. Characterisation of muscle epimysium, perimysium and endomysium collagens. *Biochemical Journal*, 219: 1017-1026.
55. Light, N.D.; Champion, A.E.; Voyle, C.; Bailey A.J. 1985. The role of epimysial, perimysial and endomysial collagen in determining texture in six bovine muscles. *Meat Science*, 13: 137-149.
56. Maltin, C. A.; Sinclair, K. D.; Warris, P. D.; Grant, C. M.; Porter, A. D.; Delday, M. I.; Warkup, C. C. 1998. The effects of age at slaughter, genotype and finishing system on the biochemical properties, muscle fibre type characteristics and eating quality of bull beef from suckled calves. *Animal Science*. 66(2): 341-348.
57. Marais, G. L. 2007. Evaluation of genetic and physiological parameters associated with meat tenderness in South African feedlot cattle. University of Pretoria.
58. Marsh, B.B. 1977. The basis of tenderness in muscle foods. *Journal of Food science*, 42: 295-297.
59. McCormick, R. J. 1994. The flexibility of the collagen compartment of muscle. *Meat Science*. 36(1): 79-91.
60. Melton, S.L. 1990. Effects of feeds on flavour of red meat: a review. *Journal of Animal Science*, 68: 4421-4435.

61. Méndez, R. D.; Meza, C. O.; Berruecos, J. M.; Garcés, P.; Delgado, E. J.; Rubio, M. S. 2009. A survey of beef carcass quality and quantity attributes in Mexico. *Journal of animal Science*, 87: 3782-3790.
62. Miller, M. F.; Carr, M. A.; Ramsey, C. B.; Crockett, K. L.; Hoover, L. C. 2001. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. *Journal of Animal Science*, 79: 3062-3068.
63. Miller, R.K.; Cross, H.R.; Crouse J.D.; Tatum, J.D. 1987. The influence of diet and time on feed on carcass traits and quality. *Meat Science*, 19(4): 303-313.
64. Miller, R.K.; Tatum, J.D.; Cross, H.R.; Bowling, R.A.; Clayton, R.P. 1983. Effects of carcass maturity on collagen solubility and palatability of beef from grain-finished steers. *Journal of Food Science*, 48: 484-486.
65. Muir, P.D.; Deaker, J.M.; Bown, M.D. 1998. Effects of forage- and grain-based feeding systems on beef quality: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 41: 623-635.
66. Nishimura, T.; Hattori, A.; Takahashi, K. 1999. Structural changes in Intramuscular connective tissue during the fattening of Japanese black cattle: effect of marbling on beef tenderization. *Journal of Animal Science*. 77: 93-104.
67. Noricumbo, J. L. 1996. Finalización: engorda pasto vs grano. Repercusiones en el rendimiento y calidad de la carne. En: Curso de actualización: ganadería, industria y ciencia de la carne en México. Memorias. Depto Producción Animal Rumiantes. División de Educación Continua. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 295 pp.

68. O'Connor, S. F.; Tatum, J. D.; Wulf, D. M.; Green, R. D.; Smith, G. C. 1997. Genetic effects on beef tenderness in Bos indicus composite and Bos taurus cattle. *Journal of animal science*, 75(7): 1822-1830.
69. Oliva, R. 2012. Evaluación del grosor de grasa subcutánea, color subjetivo y objetivo, pH y marmoleo como predictores de la suavidad de carne bovina en México. Tesis de licenciatura. México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México.
70. Peacock, F. M.; Palmer, A. Z.; Carpenter, J. W.; Koger, M. 1979. Breed and heterosis effects on carcass characteristics of Angus, Brahman, Charolais and crossbred steers. *Journal of Animal science*. 49(2): 391-395.
71. Pearson, A.M.; Dutson, T. R. 1994. Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products. London, United Kingdom: Blackie Academic.
72. Peluffo, M.; Monteiro, M. 2002. Terneza: una característica a tener en cuenta. *Plan agropecuario*, 103: 18-21.
73. Pérez, M. 2013. Elementos para la integración de la cadena de carne fresca de res en México a partir de los indicadores de calidad. Tesis de licenciatura. México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México.
74. Plessis, I. D.; Hoffman, L. C. 2007. Effect of slaughter age and breed on the carcass traits and meat quality of beef steers finished on natural pastures in the arid subtropics of South Africa. *South African Journal of Animal Science*. 37(3): 143-153.
75. Preston, T. R.; Willis, M. B. 1988. Intensive beef production. Oxford, Inglaterra: Pergamon Press.

76. Purslow, P. P. 2005. Review: Intramuscular connective tissue and its role in meat quality. *Meat Science*. 70: 435-447.
77. Riley, D. G.; Johnson, D. D.; Chase Jr., C. C.; West, R. L.; Coleman, S. W.; Olson, T. A.; Hammond, A. C. 2005. Factors influencing tenderness in steaks from Brahman cattle. *Meat Science*. 70: 347-356.
78. Riley, R.R.; Savell, J.W.; Murphey, C.E.; Smith, G.C.; Stiffler, D.M; Cross, H.R. 1983. Effects of electrical stimulation, subcutaneous fat thickness and masculinity traits on palatability of beef from young bull carcasses. *Journal of Animal Science*, 56: 592-597.
79. Savell, J. W.; Cross, H. R. 1988. The role of fat in the palatability of beef, pork, and lamb. *Designing foods: Animal product options in the marketplace*. Washington, D.C: National Academy Press: 345-356.
80. Schnell, T. D.; Belk, K. E.; Tatum, J. D.; Miller, R. K.; Smith, G. C. 1997. Performance, carcass, and palatability traits for cull cows fed high-energy concentrate diets for 0, 14, 28, 42, or 56 days. *Journal of Animal Science*, 75: 1195-1202.
81. Seideman, S.C.; Cross, H.R.; Oltjen, R.R.; Schanbacher, B.D. 1982. Utilization of the intact male for red meat production: a review. *Journal of Animal Science*, 55: 826.
82. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [página Web en Internet]. México: Resumen nacional pecuario 2013 [Citado 20 Octubre 2015]. Disponible en URL: <http://www.siap.gob.mx/resumen-nacional-pecuario/>

83. Shackelford, S. D.; Koohmaraie, M.; Wheeler, T. L. 1995. Effects of slaughter age on meat tenderness and USDA carcass maturity scores of beef females. *Journal of Animal Science*, 73(11): 3304-3309.
84. Shackelford, S. D.; Koohmarie, M.; Miller, M. F.; Crouse, J. D.; Reagan, J. O. 1991. An evaluation of tenderness of the longissimus muscle of Angus by Hereford versus Brahman crossbred heifers. *Journal of Animal Science*. 69(1): 171-177.
85. Sherbeck, J. A.; Tatum, J. D.; Field, T. G.; Morgan, J. B.; Smith, G. C. 1995. Feedlot performance, carcass traits, and palatability traits of Hereford and Hereford X Brahman steers. *Journal of Animal Science*. 73(12): 3613-3620.
86. Shimokomaki, M.; Elsdon, D. F.; Bailey, A. J. 1972. Meat tenderness: age related changes in bovine intramuscular collagen. *Journal of Food Science*. 37(6): 803-808.
87. Sinex, F.M. 1968. The role of collagen in aging. New York, United States of America: Academic press.
88. Smith, G. C.; Carpenter, Z. L. 1974. Eating quality of animal products and their fat content. *Proceedings of the Symposium on Changing the Fat Content and Composition of Animal Products*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
89. Strydon, P. E.; Frylinck, L.; Smith, M. F. 2010. Variation in meat quality characteristics between Sanga (*Bos Taurus africanus*) and Sanga-derived cattle breeds and between Sanga and Brahman (*Bos indicus*). *The animal Consortium*. 5(3): 483-491.

90. Vázquez, R. E.; Ballesteros, H. H.; Muñoz, C.A. 2007. Factores asociados con la calidad de la carne. I parte: la ternera de la carne bovina en 40 empresas ganaderas de la región Caribe y el Magdalena medio. *Revista corpoica-Ciencia y tecnología agropecuaria* 8(2): 60-65.
91. Verzar, F. 1964. *Aging of the collagen fiber*. New York, United States of America: Academic press.
92. Walter, M. J.; Goll, D.E.; Kline, E. A.; Anderson, L. P.; Carlin, A. F. 1965. Effects of marbling and maturity on beef muscle characteristics. 1. Objective measurements of tenderness and chemical properties. *Food Technology*, 19: 841.
93. Warris, P.D. 1996. Introduction: What is meat quality? En: Taylor SA, Raimundo A., Severini M., Smulders FJM. *Meat quality and meat packaging*. ECCEAMST. Utrecht, 3-10.
94. Weston, A.R.; Rogers, R.W.; PAS; Althen, T.G. 2002. Review: The role of collagen in meat tenderness. *The Professional Animal Scientist*, 18: 107-111.
95. Wheeler, T. L.; Cundiff, L. V.; Koch, R. M. 1994. Effect of marbling degree on beef palatability in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *Journal of Animal Science*. 72: 3145-3151.
96. Wheeler, T. L.; Davis, G. W.; Clark, J. R.; Ramsey, C. B.; Rourke, T. J. 1989. Composition and Palatability of Early and Late Maturing Beef Breed-Types. *Journal of animal Science*, 67(1): 142-151.

97. Wheeler, T. L.; Savell, J. W.; Cross, H. R.; Lunt, D. K.; Smith, S. B. 1990. Mechanisms associated with the variation in tenderness of meat from Brahman and Hereford cattle. *Journal of Animal Science*, 68(12): 4206-4220.
98. Whipple, G.; Koohmaraie, M.; Dikeman, M. E; Crouse, J. D.; Hunt, M. C; Klemm, R.D. 1990. Evaluation of attributes that affect longissimus muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *Journal of Animal Science*, 68(9): 2716-2728.
99. Williams, S.E.; Johnson, D.D.; Hargrove, D.D.; Waekman, D.L. 1987. Palatability and carcass characteristics of Angus and Angus x Brahman steers when fed in different seasons, on different diets and slaughtered at two end points. *Journal of Animal Science*, 65: 289.
100. Wilson, G. D.; Bray, R. W.; Phillips, P. H. 1954. The effect of age and grade on the collagen and elastin content of beef and veal. *Journal of Animal Science*. 13(4): 826-831.