



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y DE LA CARNE DE TORETES DE DIFERENTE GENOTIPO FINALIZADOS EN CORRAL

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

OSCAR VICENTE VAZQUEZ MENDOZA

Bajo la supervisión:
GILBERTO ARANDA OSORIO, Ph.D.



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

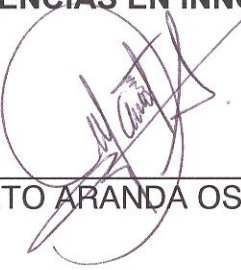
Junio 2011
Chapingo, Estado de México

**CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y DE LA CARNE DE TORETES DE
DIFERENTE GENOTIPO FINALIZADOS EN CORRAL**

Tesis realizada por **OSCAR VICENTE VAZQUEZ MENDOZA** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



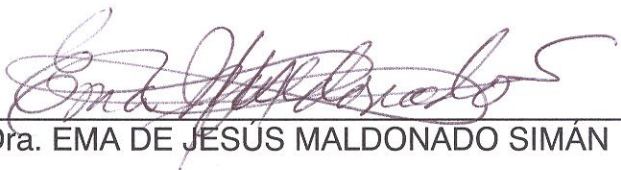
Ph.D. GILBERTO ARANDA OSORIO

ASESOR:



Ph.D. MAXIMINO HUERTA BRAVO

ASESOR:



Dra. EMA DE JESÚS MALDONADO SIMÁN

CONTENIDO

CONTENIDO	iii
LISTA DE CUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	vii
DEDICATORIAS	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
DATOS BIOGRÁFICOS	x
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Razas bovinas	3
2.1.1 Diferencias entre razas	4
2.1.2 Utilización de razas	4
2.2 Población y razas bovinas utilizadas en México	6
2.3 La industria de la carne de bovino en México	7
2.4 Importancia de los sistemas de clasificación de canales	8
2.4.1 Generalidades de los sistemas de clasificación de canales y nuevas tendencias	9
2.5 Características de la canal de relevancia propuestas por el ICAR	10
2.5.1 Peso de la canal	11
2.5.2 Clasificación de la canal	11
2.5.3 Porcentaje de rendimiento	11
2.5.4 Rendimiento de carne	12
2.5.5 Madurez	12
2.5.6 Marmoleo	12
2.5.7 Conformación	13
2.5.8 Estado de engrasamiento	13
2.5.9 Composición de la canal	14
2.6 Sistema de clasificación USDA	15
2.6.1 Grado de calidad	15
2.6.2 Grado de rendimiento	18
2.7 El músculo estriado esquelético	19

2.7.1	Transformación del músculo en carne.....	21
2.8	Aspectos de calidad de la carne.....	23
2.8.1	Atributos de calidad organoléptica.....	23
	Jugosidad.....	24
	Sabor y aroma.....	24
	Color.....	24
	Suavidad	25
2.9	Calidad nutritiva.....	27
	Perfil de ácidos grasos	28
2.9.1	Calidad higiénico-sanitaria	29
2.10	Factores que afectan la calidad de la canal y de la carne	31
2.10.1	Raza y sexo.....	31
2.10.2	Peso y edad	33
2.10.3	Régimen de alimentación	34
2.10.4	Manejo previo al sacrificio	37
2.10.5	Manejo de las canales <i>postmortem</i>	40
	Enfriamiento controlado	40
	Estimulación eléctrica.....	40
	Suspensión alternativa de la canal.....	41
	Infusiones de cloruro de calcio.....	41
2.11	Literatura citada.....	42
3.	CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y DE LA CARNE DE TORETES DE DIFERENTE GENOTIPO FINALIZADOS EN CORRAL	49
3.1	Resumen	49
3.2	Abstract	50
3.3	Introducción	51
3.4	Materiales y métodos.....	52
3.4.1	Manejo de animales y muestreo de carne.....	52
3.4.2	Características de la canal	53
	Peso de la canal caliente (PCC)	53
	Conformación y engrasamiento (ENG)	54
	Área del ojo de la costilla (AOC) y grosor de grasa dorsal (GGD)	54
	Porcentaje de grasa en riñón, pelvis y corazón (RPC).....	54

Madurez fisiológica	54
Marmoleo	55
Porcentaje de rendimiento (PR)	55
Grado de rendimiento (GR).....	55
Grado de calidad (GC)	55
3.4.3 Características de la carne	55
Medición de pH a las 24 h.....	55
Composición química	56
Resistencia al corte y pérdidas por cocción	56
3.4.4 Análisis estadístico	57
3.5 Resultados y discusión	57
3.5.1 Comportamiento y características de la canal.....	57
3.5.2 Características de la carne	64
3.6 Conclusiones	67
3.7 Literatura citada	67

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Razas de ganado bovino agrupadas en tipos biológicos por siete criterios ^Z	5
Cuadro 2. Medias ^Z de mínimos cuadrados ($\pm$ error estándar) para ganancia diaria promedio y características de la canal de los toretes evaluados.	60
Cuadro 3. Medias ^Z de mínimos cuadrados ($\pm$ error estándar) para rangos de grado de calidad USDA y grado de rendimiento USDA de las canales de los toretes evaluados.....	62
Cuadro 4. Medias ^Z de mínimos cuadrados ($\pm$ error estándar) para características de la carne de los toretes evaluados.	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clases de conformación del sistema SEUROP para clasificación de canales..	13
Figura 2. Esquema de los grados de engrasamiento del sistema SEUROP para clasificación de canales..	14
Figura 3. Relación entre madurez, marmoleo y el grado de calidad de la canal	16
Figura 4. Vista del músculo estriado esquelético bajo microscopio óptico (A), electrónico (B), y bandas presentes en el músculo (C).....	20
Figura 5. Los componentes primarios y la organización de los filamentos gruesos y delgados se presentan en la parte superior. Cuadros A, B y C ilustran la acción secuencial de la miosina y su unión con la actina, el filamento delgado se desliza sobre el grueso..	21
Figura 6. Porción del músculo <i>Longissimus dorsi</i> , color normal (izquierda) y corte oscuro (derecha).....	38
Figura 7. Hematoma en el dorso de una canal..	39

DEDICATORIAS

A mi mama Gloria Mendoza por su amor, apoyo, confianza y consejos, con los que he logrado cumplir con mis objetivos.

A mis hermanos: Raúl, Paulina e Iván, por su apoyo y por darle tanta alegría a mi vida.

Con cariño a Lute por su amor y por todos los momentos que hemos compartido juntos.

A mis compañeros y amigos del Posgrado en Producción Animal: Saraí, René, Ismael, Aldo, Israel, Paul, Pamela, Guadalupe, Ernesto, Oscar, Saúl, Saavedra, Sara y de manera especial a Ursula por su apoyo, amistad y todos esos momentos que compartimos.

Atentamente, Oscar Vicente Vazquez Mendoza

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico para poder realizar mis estudios de posgrado y culminar la presente investigación.

Al *Ph. D. Gilberto Aranda Osorio*, por su amistad y por haber compartido su conocimiento y su valioso tiempo para poder llevar a cabo ésta investigación.

Al *Ph. D. Maximino Huerta Bravo* y a la *Dra. Ema de Jesús Maldonado Simán*, por sus acertadas observaciones y sugerencias que ayudaron a mejorar y enriquecer esta investigación.

A *todos los maestros* que integran la comunidad del Posgrado en Producción Animal que de alguna manera contribuyeron en mi formación compartiendo sus valiosos conocimientos.

Al *Dr. Omar Hernández Mendo* y al estudiante de doctorado *Mauricio*, y a la Línea de Investigación en Inocuidad, Calidad de Alimentos y Bioseguridad, del Colegio de Postgraduados, por las facilidades brindadas en uso del texturómetro para medir la fuerza de corte de la carne de este estudio.

A la *Dra. Edith Ponce Alquicira*, por su disposición para asesorar esta investigación.

Al *Dr. Juan Burgueño*, por su asesoría en el análisis estadístico de esta tesis.

Al programa universitario de investigación en Sistemas de Producción de Rumiantes Productores de Carne, por el soporte económico a esta investigación.

Al Patronato Universitario a través del *M. en C. Juan Carlos García Ortiz* por las facilidades prestadas para la realización del presente estudio.

Al *Sr. Indalecio* por su apoyo en el trabajo de laboratorio, y demás personas que contribuyeron a la realización de esta investigación.

Atentamente, Oscar Vicente Vazquez Mendoza

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre	Oscar Vicente Vazquez Mendoza
Fecha de nacimiento	5 de abril de 1985
Lugar de nacimiento	Almoloya de Juárez, Estado de México
No. Cartilla militar	C-7011957
CURP	VAMO850405HMCZNS00
Profesión	Ingeniero Agrónomo Zootecnista
Cédula profesional	5912774

Desarrollo académico

Bachillerato	Preparatoria Oficial No. 6 del Estado de México
Licenciatura	Universidad Autónoma del Estado de México
Maestría	Universidad Autónoma Chapingo

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

En México la producción de bovinos productores de carne está centrada en tres principales zonas geográficas, diferenciadas por el clima prevalente, sistemas de alimentación y razas explotadas. De esta manera, en la región norte del país el terreno es árido y los bovinos son finalizados con dietas altas en grano; las razas especializadas predominantes son el Angus, Hereford y Charolais (Delgado *et al.*, 2005). Por otro lado, la producción en las regiones centro y sur, se basa en el pastoreo, con razas *Bos indicus* (Brahman, Nellore, Indobrasil, Gyr y Guzerat) y cruza con Pardo Suizo, Holstein y Criollo (Delgado *et al.*, 2005; Núñez *et al.*, 2005).

La producción de bovinos de la zona norte está orientada hacia la exportación de becerros a Estados Unidos, la cual fue de 1 millón 121 mil en 2009 (AMEG, 2010). Por lo que lo producido en las regiones centro y sur está destinado a satisfacer la demanda nacional.

El mejoramiento en el comportamiento animal, atributos de calidad de la canal y de la carne son de los principales objetivos de muchas investigaciones hechas en el área de producción de bovinos para carne (Sami *et al.*, 2004).

En mercados modernos de la carne, como el europeo, existe la demanda de canales bien conformadas, con alto porcentaje de carne magra (Albertí *et al.*, 2005). Sin embargo, en otros (*e.g.* Estados Unidos, Australia), además de los atributos anteriores, la suavidad de la carne aparece como factor determinante de aceptación y precio (Miller *et al.*, 2001), prefiriéndose animales jóvenes con alto porcentaje de marmoleo (Polkinghorne y Thompson, 2010).

Factores de producción y manejo tales como raza, edad, sexo, alimentación y manipulación previa al sacrificio, pueden determinar el potencial de calidad

algunas características de la canal y de la carne (Sañudo *et al.*, 2004). En el caso específico del genotipo, los trabajos de Albertí *et al.* (2005), Prado *et al.* (2008), Prado *et al.* (2009), y Maggioni *et al.* (2010) han reportado diferencias

en atributos (e.g. peso de canal, porcentaje de rendimiento, conformación y grasa dorsal) de la canal por efecto de grupo racial. Con relación al manejo alimenticio, largos periodos de finalización en corral, generalmente incrementan el peso vivo final, peso de la canal caliente, área del ojo de la costilla, grosor de grasa dorsal, grado de calidad, grado de rendimiento y porcentaje de rendimiento (May *et al.*, 1992; Van Koeving *et al.*, 1995; Sami *et al.*, 2004).

En México, algunas investigaciones (Méndez *et al.*, 2009; Torrescano *et al.*, 2010) se han enfocado en la descripción de las características de la canal de bovinos sacrificados en las distintas zonas geográficas del país; mientras pocas investigaciones (Núñez *et al.*, 2005) han avaluado el efecto de grupo racial sobre las características de la canal y de la carne, por lo que existe la necesidad de seguir estudiando las diversas razas que se explotan en el país en cuanto a características de interés económico. El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de raza (Cebú, Cebú × Holstein, Cebú × Suizo Americano, Cebú × Suizo Europeo, Holstein y Suizo Europeo) en las características de la canal, composición química y fuerza de corte de la carne, de toretes finalizados en corral en la región templada central de México.

En el Capítulo 2 se muestra una revisión bibliográfica, en la que se resume la información científica referente a razas bovinas y las características que las distinguen, además de las razas explotadas en México. Posteriormente se hace referencia a las características de la canal y de la carne, su importancia, y los factores que influyen en su calidad. En el Capítulo 3 se presentan los resultados de un estudio en el que se evaluó la influencia de raza (Cebú, Cebú × Holstein, Cebú × Suizo Americano, Cebú × Suizo Europeo, Holstein y Suizo Europeo) en las características de la canal, composición química y fuerza de corte de la carne, de toretes finalizados en corral.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Razas bovinas

La raza es definida como un grupo de individuos domesticados que, cuando se reproducen entre ellos, regularmente producen descendencia con características similares tanto morfológicamente (*i.e.* color de capa, presencia o ausencia de cuernos) como en sus aptitudes (Porter, 2002). En el mundo existen alrededor de 900 tipos de bovinos; en algunas regiones predominan las razas nativas, mientras que en otras, los tipos comunes son de origen externo. En países que cuentan con ganadería bovina abundante predominan aproximadamente una docena de razas, tanto en el sector cárnico como el lechero, siendo más contrastante en este último, donde la raza Holstein es la predominante y su población sigue en aumento (Gasque, 2008).

En la actualidad, las razas se clasifican por su origen en 2 grupos básicos: *Bos taurus* o bovinos de origen europeo, y *Bos indicus*, los de origen indio paquistaní (Gasque, 2008). Las razas productoras de carne del primer grupo, han sido divididas en razas continentales (*e.g.* Charolais, Simmental, Braunvieh, Gelvieh, Chianina, Belgian Blue, Limousin, Pardo Suizo, Piamontesa, etc.) y británicas (*i.e.* Angus, Hereford, Shorthorns, Red Poll, etc.). En el segundo grupo destacan Nelore, Guzarat, Gyr, Sahiwal, y razas sintéticas compuestas de las anteriores como Indobrasil y Brahman (Cundiff, 2005). Con el objetivo de reunir las mejores propiedades de ambos grupos, para características como tasa de crecimiento y adaptación a clima cálido, se han llevado a cabo diversos cruzamientos que han originado una amplia gama de razas sintéticas.

2.1.1 Diferencias entre razas

Investigaciones llevadas a cabo en Estados Unidos en las que se evaluó el comportamiento de 36 razas, dieron la base para la clasificación de éstas en tipos biológicos (Cuadro 1) de acuerdo a siete criterios: tasa de crecimiento y tamaño maduro, relación carne magra/grasa, marmoleo, suavidad de carne, edad a la pubertad de las hembras, producción de leche, y adaptación al trópico (Cundiff, 2005). Este mismo autor mencionó que en los años 70's, las razas continentales eran significativamente superiores a razas británicas en tasa de crecimiento, peso vivo al destete y al año, así como a la edad madura; sin embargo, resultados recientes indican que las razas británicas son comparables a las continentales respecto a tasa de crecimiento. No obstante, la ventaja de razas continentales sobre británicas, en rendimiento en cortes valiosos, es prevaleciente; aunque, las razas británicas, especialmente Angus, Angus Rojo, y Shorthorn, aun superan en marmoleo, a razas continentales.

Las razas *Bos taurus* tienen ventajas sobre razas *Bos indicus* o razas con influencia de *Bos indicus* (e.g. Brangus, Beefmaster), en suavidad del músculo *Longissimus dorsi*. Por otro lado, razas que han sido seleccionadas para producción de leche alcanzan una pubertad más temprana, que las que no se seleccionaron para esta característica. En este contexto, razas *Bos indicus* (i.e. Brahman, Nelore, Sahiwal, Boran) alcanzan la pubertad a mayor edad que *Bos taurus* (Cundiff, 2005).

2.1.2 Utilización de razas

La mayor ventaja de la utilización de diversas razas en un sistema de producción bovino, es la heterosis derivada de los cruzamientos entre ellas, entendiendo como heterosis, a la diferencia entre la media de las cruzas recíprocas F1 ($A \times B$ y $B \times A$) y la media de las dos razas paternas (A y B). Los efectos de la heterosis son importantes para vida productiva en vacas (30%), longevidad (15%), y en cantidad de becerros destetados (5 a 7% para tasa de reproducción y 3 a 5% para supervivencia de becerros). La heterosis tiene un

efecto intermedio para tasa de crecimiento (3 a 5%), y su impacto es pequeño (3% o menos) para características de la canal. Por otro lado, el cruzamiento entre razas *Bos indicus*, con razas *Bos taurus* (e.g. Brahman × Hereford) tiene un efecto de heterosis elevado, dos veces más en promedio, que aquella generada en cruza de razas *Bos taurus* para una cualidad dada (Cundiff, 2005).

Cuadro 1. Razas de ganado bovino agrupadas en tipos biológicos por siete criterios^Z

Grupo racial	Tasa de crecimiento y talla madura	Relación carne / grasa	Marmoleo	Suavidad	Edad a la pubertad	Producción de leche	Adaptación al trópico
Jersey	X	X	XXXX	XXX	X	XXXXX	XX
Longhorn	X	XXX	XX	XX	XXX	XX	XX
Wagyu	X	XXX	XXXX	XXX	XX	XX	XX
Angus	XXXX	XX	XXXX	XXX	XX	XXX	X
Angus rojo	XXXX	XX	XXXX	XXX	XX	XXX	X
Hereford	XXXX	XX	XXX	XXX	XXX	XX	X
Red Poll	XX	XX	XXX	XXX	XX	XXXX	X
Devon	XX	XX	XXX	XXX	XXX	XX	X
Shorthorn	XXXX	XX	XXXX	XXX	XX	XXX	X
Galloway	XX	XXX	XXX	XXX	XXX	XX	X
South Devon	XXX	XXX	XXXX	XXX	XX	XXX	X
Tarentaise	XXX	XXX	XX	XX	XX	XXX	X
Pinzgauer	XXXX	XXX	XXX	XXX	XX	XXX	X
Brauvieh	XXX	XXXX	XXX	XX	XX	XXXX	XX
Gelbvieh	XXXX	XXXX	X	XX	XX	XXXX	X
Holstein	XXXX	XXXX	XXX	XX	XX	XXXXX	X
Simmental	XXXXX	XXXX	XX	XX	XXX	XXXX	X
Maine Anjuo	XXXXX	XXXX	XX	XX	XXX	XXX	X
Salers	XXXX	XXXX	XX	XX	XXX	XXX	X
Norwegian Red	XXXX	XXXX	XXX	XX	XX	XXXX	X
Swed. Red and White	XXXX	XXXX	XXX	XX	XX	XXXX	X
Fresian	XXXX	XXXX	XXX	XX	XX	XXXX	X
Piamontesa	XX	XXXXXX	X	XXX	XX	XX	XX
Belgian Blue	XXX	XXXXXX	X	XXX	XX	XX	X
Limousin	XXX	XXXXX	X	XX	XXXX	X	X
Charolais	XXXXX	XXXXX	XX	XX	XXXX	XX	X
Chianina	XXXXX	XXXXX	XX	XX	XXXX	X	XX
Tuli	XX	XXX	XXX	XX	XXX	XXX	XXX
Romosinuano	X	XXX	XX	XX	XXX	XXX	XXX
Brangus	XXXX	XXX	XXX	XX	XXX	XXX	XXX
Beefmaster	XXXX	XXX	XX	XX	XXX	XXX	XXX
Bonsmara	XXX	XXX	XX	XX	XXX	XXX	XXX
Brahman	XXXX	XXXX	XX	X	XXXXX	XXXX	XXXX
Nelore	XXXX	XXXX	XX	X	XXXXX	XXX	XXXX
Sahiwal	XX	XXXX	XX	X	XXXX	XXXX	XXXX
Boran	XXX	XXX	XX	X	XXXX	XXX	XXXX

Z=el incremento en número de X indica un valor relativamente alto. Fuente: Cundiff, 2005.

Bajo condiciones de trópico húmedo, el uso de cruza *Bos taurus* × *Bos indicus* pueden ser óptimas, mientras que bajo el sistema de pagos del mercado de Estados Unidos, ganado con una composición 50% continental, 50% británica,

tiene características de la canal más óptimas, que aquel ganado con alto o bajo porcentaje de esta relación (Cundiff, 2005).

2.2 Población y razas bovinas utilizadas en México

En México hay alrededor de 31 millones de cabezas de ganado, de las cuales aproximadamente dos millones corresponden a bovinos productores de leche, y los restantes 29 millones corresponden a bovinos productores de carne y doble propósito (Gallardo *et al.*, 2006).

La producción de bovinos es una de las más importantes actividades ganaderas del área rural de México, se lleva a cabo prácticamente en todas las regiones agroclimáticas del país (Rojo-Rubio *et al.*, 2009). La producción de bovinos productores de carne y doble propósito, presenta la siguiente distribución: zona árida y semiárida (34%); zona templada (29%) y zona de trópico húmedo y seco (37%) (Gallardo *et al.*, 2006).

Las razas presentes en México varían de acuerdo a la zona geográfica de manera que, en las zonas árida y semiárida del norte, y templada del centro del país, se pueden encontrar biotipos especializados en la producción de carne como Charolais, Hereford, Angus, Limousin, Beefmaster, Brangus, Braford, Salers, Chianina, Criollo, además de razas lecheras como Holstein y Jersey; mientras que en la zonas de trópico húmedo y seco, se puede encontrar a Brahman, Nelore, Guzarat, Indobrasil, Gyr, Sardo Negro, Pardo Suizo, Santa Gertrudis, Simmental, y Tropicarne (Gasque, 2001). En esta última zona del país la producción bovina, se lleva a cabo bajo el sistema doble propósito, el cual se caracteriza por el cruzamiento Cebú (*Bos indicus*) como línea materna y Pardo Suizo, Braunvieh, Holstein, Jersey, Montbeliard y Simmental como líneas paternas, aunque bovinos criollos también están presentes en el sistema (Rojo-Rubio *et al.*, 2009).

2.3 La industria de la carne de bovino en México

La cadena de carne de bovino en México tiene particularidades complejas que obligan a analizar su competitividad desde varios enfoques: está en competencia contra el país líder en la producción y el mercado internacional, con empresas que están llegando hasta el nivel de los consumidores finales, y es en esa fase de la cadena en la que están ocurriendo los cambios más rápidos; los consorcios comerciales de autoservicio y los grandes importadores son quienes establecen hoy las reglas del juego; y para acceder a estos canales de comercialización, los ganaderos integrados, los rastros y mayoristas, tienen que competir en condiciones en las que el precio es importante, pero lo es también el valor agregado y los servicios que puedan ofrecer. Una tendencia clara es que las cadenas comerciales prefieren la carne deshuesada empacada al vacío, a la carne en canal, lo que hace más eficiente su operación (FIRA, 1999).

Adicionalmente, la carne de bovino es ofrecida al consumidor de manera general a altos precios en comparación a otras fuentes de proteína, este alto precio de los cortes comunes de carne bovina es resultado principalmente de problemas inherentes a la eficiencia de producción del ganado, tales como el largo periodo de gestación, baja prolificidad y reducida eficiencia alimenticia, en comparación con aves y cerdos (Wulf, 1999).

Otros factores que contribuyen también a la complejidad del análisis de competitividad, incluyen las disparidades entre mercados, como son, las diferencias en los hábitos de consumo entre Estados Unidos y México, lo que hace que productos que en el primero tienen bajo valor comercial, encuentren mayor demanda en México, como ocurre con las vísceras. El peso de los animales que llegan a sacrificio en rastros estadounidenses alcanzan 550 kg, lo que constituye una diferencia mayor de 100 kg respecto a los sacrificados en México (FIRA, 1999). Estas son algunas de las razones que explican por qué en la actualidad no se aprovecha la diferencia en precios para vender cortes finos mexicanos en Estados Unidos.

Como estrategia para contrarrestar esta tendencia, se ha impulsado la actividad primaria, mientras que en el eslabón industrial, el país cuenta con 39 rastros TIF, de los cuales 29 están acreditados por el USDA/FSIS, para exportar carne bovina a los Estados Unidos, no obstante, existen problemas que ocasionan que la infraestructura TIF se encuentre subutilizada, ya que solamente participa con 30% del sacrificio registrado, y con problemas de rentabilidad en su operación, por lo que se han detenido los cambios necesarios para adaptarse a las nuevas tendencias del mercado, y dar una mejor competencia ante la carne de importación (FIRA, 1999).

2.4 Importancia de los sistemas de clasificación de canales

El desconocimiento de las características de las canales y la falta de un sistema de clasificación, afectan directamente al consumidor, el cual no posee información respecto a la calidad de la carne que consume. La falta de una adecuada cultura en la selección de la carne, hace que la demanda sea limitada en comparación con la gran variedad de grados de calidad y cortes que pueden existir en el mercado; esto también afecta al transformador y desde luego al productor, quien desconoce las preferencias de consumo y las posibilidades económicas del mercado. El problema se agrava con el sistema de comercialización existente, el cual está en manos de acaparadores, quienes se llevan amplios márgenes de utilidad, afectando así la economía del ganadero (Nuñez *et al.*, 2005).

Las principales ventajas de tener un sistema de clasificación son las siguientes:

- 1) proveer al productor información de los requerimientos de los detallistas y finalmente, la de los consumidores, de manera que él pueda definir de manera precisa en el corto tiempo sus decisiones de mercado y en el largo plazo sus decisiones de producción;
- 2) hacer posible especificar las necesidades de los compradores de canales y reducir la variabilidad;
- 3) proveer la base para la valoración de la carne en transacciones productor-mayorista y mayorista-minorista;
- 4) hacer posible la compra a distancia y de esta forma reducir costos;
- 5) ayudar a exportadores a controlar calidad y para esquemas de promoción;
- 6)

proveer información que pueda ser transmitida a consumidores, fortalecer la demanda y ayudar en esquemas promocionales (Fisher, 2007).

2.4.1 Generalidades de los sistemas de clasificación de canales y nuevas tendencias

La clasificación es definida como un grupo de términos usados para describir las características de la canal que son útiles para quien está involucrado en el comercio de canales bovinas, aunque el término también puede hacer referencia a la asignación de diferentes valores a canales con el objetivo de fijarles un valor económico en función de los requisitos comerciales (Polkinghorne y Thompson, 2010).

Aunque en países de América del Sur, el término tipificación se utiliza específicamente para las canales bovinas y la clasificación para discriminar el sexo y estado fisiológico de los animales; en países como Estados Unidos, México, la Unión Europea, y Australia el término clasificación es usado para agrupar y calificar las canales bovinas (Polkinghorne y Thompson, 2010).

Los sistemas de clasificación pueden variar en su forma de aplicación teniendo dos vertientes, los sistemas de clasificación subjetivos basados en la calificación visual y por comparación fotográfica; y los sistemas objetivos en los que se emplean diferentes instrumentos y equipos en la medición de las características de la canal, para posteriormente hacer una valoración de su calidad y rendimiento.

El sistema de calificación visual, aunque práctico y de fácil aplicación, lleva implícita una alta carga subjetiva, que hace difícil su implementación a canales separadas en el tiempo y espacio o evaluadas por distintos calificadores (Yeates, 1967). En contraste, los métodos objetivos emplean nuevas metodologías y equipos que permiten determinar de manera más precisa y repetible las características de relevancia en la calificación de las canales bovinas, de entre los primeros métodos objetivos para la discriminación de

canales podemos mencionar, el llamado índice de carnosidad bruta (ICB) de Yeates (1967), que se basa en la relación existente entre las variables peso y longitud de la canal, se consideran como ideales aquellas canales ubicadas en la línea de regresión con ICB igual a 0; tener un peso igual al promedio de las canales de su misma longitud, aquellas canales ubicadas sobre o bajo dicha línea, presentan un ICB positivo o negativo, al ser más pesadas o más livianas que el promedio de los ejemplares de su misma longitud, ya sea a consecuencia del músculo o de la grasa de cobertura o cantidad de hueso (Luengo y Venegas, 1980).

Las nuevas tendencias en la investigación en clasificación de canales, tiene la premisa de desarrollar nuevos sistemas más objetivos, que sean capaces de agrupar de manera precisa las canales en bloques homogéneos (e.g. por grado de calidad o grado de rendimiento), para tal efecto, se han buscado nuevas alternativas como el análisis de video imágenes con equipos como CVS Beef-Cam (sistema de visión por computadora equipado para evaluar canales frías) y el VIASCAN (análisis de video imágenes para canales calientes) (Steiner *et al.*, 2009). En este sentido, varias investigaciones (Lu y Tan, 2004; Steiner *et al.*, 2009; Vote *et al.*, 2009) han evaluado la efectividad de estos sistemas para clasificar canales bovinas en diferentes grados de calidad y rendimiento en comparación con el sistema de clasificación USDA, y concluyeron que el uso de los sistemas de video-imagen tienen aplicación comercial, pueden mejorar la precisión (5 a 8%) en la estimación del grado de rendimiento, y reducir la subjetividad de los sistemas actuales de clasificación de canales.

2.5 Características de la canal de relevancia propuestas por el ICAR

El Comité Internacional de Registro Animal (ICAR), es la organización mundial para la estandarización de registro animal y evaluación productiva, su objetivo es promover el mejoramiento de los registros productivos de los animales domésticos y su evaluación a través de la formulación de definiciones y estándares para medir características de importancia económica. Esta organización ha propuesto que el peso, clasificación, porcentaje de rendimiento,

rendimiento, madurez y marmoleo de la canal son los parámetros más importantes (Journaux, 2007). No obstante, la conformación, engrasamiento y composición (ósea, muscular y grasa) son también relevantes.

2.5.1 Peso de la canal

El peso de la canal está estrechamente relacionado con la cantidad de carne comercializable; usualmente, ésta es definida por la legislación de cada país, sin embargo, se puede definir de manera general como el peso caliente de ambas mitades de la canal después de la remoción de la piel, sangre, vísceras, genitales, miembros a nivel tarso y carpo, además de la cabeza, cola, riñones, y finalmente la grasa del canal perirenal (Journaux, 2007).

2.5.2 Clasificación de la canal

La clasificación de la canal afecta de manera significativa el valor comercial de ésta, de tal manera que la clasificación es una característica con gran valor económico que debe ser usado en el análisis de productividad de la progenie. De acuerdo a las diferentes demandas del mercado, los esquemas nacionales de clasificación frecuentemente designan diferentes objetivos, por lo tanto están compuestos de diferentes parámetros. A nivel global hay dos principales esquemas de clasificación: 1) el esquema de clasificación USDA, incluye los siguientes componentes: Clase (novillo, torete, toro, vaquilla, vaca), Madurez (osificación, color y textura de la carne), Grado de calidad en 8 niveles (Prime, Choice, Select, Standard, Commercial, Utility, Cutter y Canner), incluyendo la evaluación del marmoleo y firmeza, Grado de rendimiento (una combinación de la grasa externa, grasa en riñón, pelvis y corazón, área del ojo de la costilla, y peso de la canal); 2) El esquema de clasificación de la Unión Europea, incluye los siguientes componentes: Clase (ternera, toro joven, toro, novillo, vaquillas y vaca), Conformación con 6 niveles (S-E-U-R-O-P, para la mejor y peor situación), Grado de engrasamiento con 5 niveles (1-2-3-4-5, del magro al engrasado), para ternera, el color (1 a 5 de blanco a rojo) (Journaux, 2007).

2.5.3 Porcentaje de rendimiento

Esta característica describe el porcentaje de la relación entre el peso de la canal y el peso vivo, tomado inmediatamente antes del sacrificio del animal. Como el peso vivo del animal es afectado de manera significativa por la merma, se debe estandarizar el peso vivo con 12 horas de tiempo de merma o de ayuno (Journaux, 2007).

2.5.4 Rendimiento de carne

El rendimiento en carne significa el porcentaje de carne magra en la canal bovina que es obtenida por disección; no obstante, este proceso tiene un alto costo, por lo que frecuentemente el rendimiento en carne es estimado con base en características subrogadas, las cuales pueden ser fácilmente medidas en el curso del proceso de sacrificio. En algunas áreas como E.U. son aplicados grados de rendimiento (*e.g.* Grado de rendimiento USDA) con escala numérica de 1 a 5 en números enteros, éstos grados representan el rendimiento en cortes deshuesados de la pierna, lomo, costilla, y cuello; estos cortes representan cerca del 75% del peso de la canal y el 90% del valor de la canal (Journaux, 2007).

2.5.5 Madurez

La madurez puede ser definida como una estimación de la edad fisiológica de la canal, la cual puede ser determinada por la evaluación del tamaño, forma, y osificación de los huesos y cartílagos de las vértebras torácicas, el número de incisivos permanentes, y el color y textura de la carne (Journaux, 2007).

2.5.6 Marmoleo

El marmoleo puede ser definido como las líneas o manchas de grasa en la carne, usualmente es evaluado de manera visual en el músculo del ojo de la costilla, en el corte entre la 12^{va} y 13^{va} costilla; el marmoleo contribuye a la suavidad, palatabilidad, jugosidad y sabor de la carne; comúnmente el marmoleo es evaluado por clasificación (*e.g.* 9 grados marmoleo, que van de

prácticamente desprovisto a abundante) relacionada al porcentaje de grasa intramuscular (Journaux, 2007).

2.5.7 Conformación

La conformación es equivalente a la morfología o forma de una canal, y a través de su evaluación, se pretende medir la cantidad de carne vendible o consumible, especialmente de sus partes más selectas (Sañudo *et al.*, 1997). La conformación se ha definido como el espesor de la carne y de la grasa subcutánea con relación a las dimensiones del esqueleto. El grado de redondez y de compacidad, son componentes de la conformación que es utilizada en la valoración de la canal, estos componentes son medidos por apreciación visual de los perfiles de las diferentes regiones anatómicas de la canal, mediante comparación con patrones fotográficos (Kempster *et al.*, 1982), ejemplo de ello es el sistema comunitario de clasificación de canales europeo (SEUROP, Figura 1).



Figura 1. Clases de conformación del sistema SEUROP para clasificación de canales. Fuente: MMARM, 2008.

2.5.8 Estado de engrasamiento

El estado de engrasamiento se define como la proporción de grasa que presenta la canal respecto de su peso. Es uno de los factores que producen

mayor variación en el valor comercial de una canal y por lo tanto, es uno de los criterios de calidad más importante en la clasificación comercial de las canales, ya que el nivel de grasa influye en la suavidad de la carne; las canales con más grasa se enfrían más lentamente, por lo que se hacen más suaves (Begoña, 1999). La grasa de cobertura protege a la canal de pérdidas de agua durante la conservación en refrigeración o congelación, y su reparto es el principal factor de estimación del estado de engrasamiento (Figura 2) de las diferentes piezas de la canal desde el punto de vista de apreciación del consumidor (Begoña, 1999).



Figura 2. Esquema de los grados de engrasamiento del sistema SEUROP para clasificación de canales. Fuente: MMARM, 2008.

2.5.9 Composición de la canal

La valoración cuantitativa de una canal comprende la evaluación de los principales tejidos que la componen (óseo, muscular y adiposo), determinando la cantidad y la proporción en la que se encuentran (Begoña, 1999). Desde el punto de vista económico, la relación entre estos parámetros constituye el determinante casi exclusivo del valor económico de la canal. Según Warriss (2000), la canal ideal es aquella que tiene un alto porcentaje de tejido muscular, una cantidad suficiente de grasa infiltrada y una proporción de grasa de

cobertura limitada, que reduzca las pérdidas durante el faenado de la canal y de la carne y por lo tanto, disminuye los costos de producción.

2.6 Sistema de clasificación USDA

2.6.1 Grado de calidad

El sistema de clasificación de canales USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) establece que para novillos, vaquillas y vacas productoras de carne, la calidad de la carne es evaluada tomando en consideración su marmoleo y firmeza, observados en el ojo de la costilla en relación con la madurez, la cual es determinada por la evaluación del tamaño, forma y grado de osificación de huesos y cartílagos, especialmente en los huesos sacros, lumbares y dorsales además del color y textura de la carne fresca (USDA, 1997).

El sistema de clasificación de canales USDA tiene 8 grados de calidad: Prime, Choice, Select, Standard, Commercial, Utility, Cutter y Canner, (USDA, 1997; Figura 3). A través de este espectro (*i.e.* Prime a Canner) los grados de calidad USDA tienen la intención de predecir el sabor, jugosidad, y suavidad de la mayoría de cortes que se pueden obtener de la canal; para cortes provenientes de novillos y vaquillas jóvenes, finalizados con dietas altas en grano. Los cuatro primeros grados de calidad USDA (*i.e.* Prime a Standard) tienen la propiedad de predecir en buen grado el sabor y jugosidad de la gran mayoría de cortes obtenidos, aunque la mejor predicción es sobre la suavidad de cortes medios (*e.g.* costillas y lomo) a causa de que estos son ampliamente usados para cocinar en forma de asados o en parrilladas (Smith *et al.*, 2008). Estos mismos autores señalan que los cuatro primeros grados de calidad USDA, son menos útiles en la predicción de cortes provenientes del cuello y pierna, debido a que la mayoría de los cortes derivados de estas fracciones primarias son cocinados en forma de estofados (caldos) con el objetivo de suavizar el tejido conectivo.

Marmoleo	MADUREZ				
	A	B	C	D	E
Abundante					
Moderadamente Abundante	PRIME				
Ligeramente Abundante			COMMERCIAL		
Moderado					
Modesto	CHOICE				
Pequeno				UTILITY	
Ligero	SELECT				
Trazas					
Nulo	STANDARD			CUTTER	

Figura 3. Relación entre madurez, marmoleo y el grado de calidad de la canal. Fuente: USDA, 1997.

En el sistema USDA de clasificación de canales se estima la madurez fisiológica. La determinación de los grupos de madurez entre canales bovinas (A, B, C, D, y E, los cuales son nominales, para animales faenados con una edad de 9 a 30, 30 a 42, 42 a 72, 72 a 96, y >96 meses de edad respectivamente) y su posición o grado de avance dentro del grupo de madurez (e.g. A^{00} , A^{10} , A^{20} ... A^{100}) es determinado por la evaluación de: i) el grado de osificación de los huesos divididos de la columna vertebral, la osificación (conversión de cartílago a hueso) ocurre de manera temprana en las vértebras sacras, posteriormente en las vértebras lumbares y al final en las vértebras torácicas; ii) tamaño y forma de los huesos de las costillas, los cuales usualmente crecen a lo ancho y son planos, además de que tienen menos sangre en la superficie en canales maduras; iii) el color del músculo, usualmente tiene una conversión progresiva a rojo oscuro a medida que la edad es mayor; y iv) la textura del músculo, usualmente cambia de forma paulatina de lisa a áspera conforme las canales son más maduras (Smith *et al.*, 2005).

Con relación al marmoleo (depósitos de grasa intercalada en el músculo), Smith *et al.* (2005) describió nueve grados (también llamados calificaciones), en los estándares de clasificación de calidad de carne, que van de altos a bajos como: abundante (AB), moderadamente abundante (MA), ligeramente abundante (SA), moderado (MD), modesto (MT), pequeño (SM), ligero (SL), trazas (TR) y prácticamente desprovisto (PD).

El grado de marmoleo es asignado por comparación visual con base en: a) cantidad de grasa intramuscular, el porcentaje de grasa intramuscular es de 1.77% para bajos grados de marmoleo (PD) e incrementa a razón de 1.24 % por grado para alcanzar el grado más alto (AB) con 11.69% (Smith *et al.*, 2008); b) tamaño de los depósitos individuales, en promedio, los depósitos son pequeños en bajos grados de marmoleo (PD), y a medida que incrementa el grado, el tamaño de los depósitos se ven incrementados; y c) distribución de los depósitos, prefiriéndose el marmoleo en toda el área del corte del músculo *Longissimus dorsi* (Drake, 2004; Smith *et al.*, 2005).

Las posibles combinaciones entre marmoleo y madurez de la canal, para la determinación del grado de calidad (USDA, 1997; Figura 3) son las siguientes:

- 1) Las canales con madurez A y marmoleo AB, MA, SA son clasificadas como “Prime”; aquellas con marmoleo MD, MT o SM se les asigna el grado “Choice”; las que presenten marmoleo SL se denominan “Select”; y aquellas con TR o PD son clasificadas como “Standard”.
- 2) Canales con madurez B y que tengan marmoleo AB o MA tienen categoría “Prime”; mientras que aquellas con SA son clasificadas como “Prime” o “Choice”; las que presenta MD o MT son clasificadas como “Choice”; y finalmente aquellas que presenten marmoleo SM, SL, TR, PD, son graduadas como “Standard”.
- 3) Canales con madurez C, D y E, que presenten marmoleo AB, MA, o SA, son clasificadas como “Comercial”; aquellas con marmoleo MD, MT o SM, se clasifican como “Comercial” o “Utility”; mientras que las que presenten marmoleo SL o TR se discriminan como “Utility” o “Cutter”; y

finalmente canales que presenten marmoleo PD son clasificadas como “Utility”, “Cutter” o “Canner”.

2.6.2 Grado de rendimiento

Estima la cantidad de carne producida basada en el porcentaje de cortes comerciales deshuesados que una canal probablemente puede producir. El grado de rendimiento tiene un rango de 1 a 5, en el que 1 tiene un alto rendimiento en cortes al detalle y 5 será un rendimiento bajo (Drake, 2004). El sistema USDA reporta sólo números enteros, no pudiéndose redondear al inmediato superior (e.g. un grado de rendimiento 2.7, sería igual a 2) (USDA, 1997).

El grado de rendimiento es calculado con base en: 1) la cantidad de grasa de cobertura (grasa dorsal), la cual es medida como la cantidad de grasa depositada a la altura del ojo de la costilla (corte entre 12^{va} y 13^{va} costilla), ésta tiene una correlación negativa con el grado de rendimiento; 2) la grasa en riñones, pelvis y corazón (RPC) expresada en porcentaje del peso de la canal caliente, es medida subjetivamente; 3) área del ojo de la costilla, se mide posteriormente a la exposición del músculo *Longissimus dorsi* mediante un corte entre la 12^{va} y 13^{va} costilla, el área es expresada en pulgadas cuadradas, el tamaño de este músculo esta correlacionado positivamente con la cantidad total de músculo; y 4) el peso de la canal caliente, el cual es registrado justo antes de que la canal entre al cuarto de enfriado, es un reflejo de la cantidad de cortes al detalle que pueden ser vendidos en un futuro (USDA, 1997; Drake, 2004). Estos factores son usados en la siguiente fórmula para el cálculo de grado de rendimiento:

$$GR = 2.5 + (2.5 * \text{grosor de grasa en pulgadas}) + (0.003 * \text{peso de la canal en libras}) + (0.20 * \% \text{ grasa RPC}) - (0.32 * \text{área del ojo de la costilla pulgadas}^2).$$

2.7 El músculo estriado esquelético

En los mamíferos existen tres tipos de músculos: liso, estriado cardíaco, y estriado esquelético, éste último es de particular interés, ya que representa aproximadamente el 40% en el animal adulto (Bielli, 2009). El músculo estriado esquelético es el responsable de producir el movimiento voluntario de las extremidades, tronco y cabeza de los animales; además de que es el que normalmente conocemos como carne (Frandsen *et al.*, 2009). La canal de los animales está constituida por más de 600 músculos, los cuales varían en su forma, tamaño y función, siendo esta última la responsable de las características específicas de cada uno de ellos (Sayas y Fernández, 2006).

Cuando las fibras musculares son vistas longitudinalmente en un microscopio, tienen una apariencia estriada (Figura 4), esta característica se debe a la presencia de organelos especializados llamados miofibrillas, éstas son la maquinaria contráctil del músculo (Huff *et al.*, 2010). En cada miofibrilla existe una distribución alternada de gran cantidad de bandas oscuras (A) y bandas claras (I); a su vez cada banda A está dividida por una zona H y cada banda I por una línea Z (Figura 4), estas bandas son las que brindan la apariencia estriada al músculo (Bielli, 2009). La estructura entre dos líneas Z es conocido como sarcómero (Huff *et al.*, 2010), éste es la unidad básica de contracción. Cada miofibrilla está compuesta por miles de sarcómeros (Bielli, 2009).

Las bandas menos densas (I) están hechas de delgados filamentos compuestos de proteínas estructurales (actina, troponina y tropomiosina), mientras que la banda A es densa, y está formada por filamentos gruesos con cabeza globular, cada filamento es una agrupación de moléculas (300 a 400) de miosina. Para llevar a cabo la contracción, ambos filamentos interactúan por medio de las cabezas de la miosina. Al complejo formado de esta interacción se le conoce como actomiosina (Figura 5). Durante la contracción en un músculo vivo, la cabeza globular de la miosina presenta actividad enzimática, que le permite hidrolizar ATP y liberar energía para la formación del complejo actomiosina,

para disociar esta unión es necesario el gasto de otra molécula de ATP (Huff *et al.*, 2010).

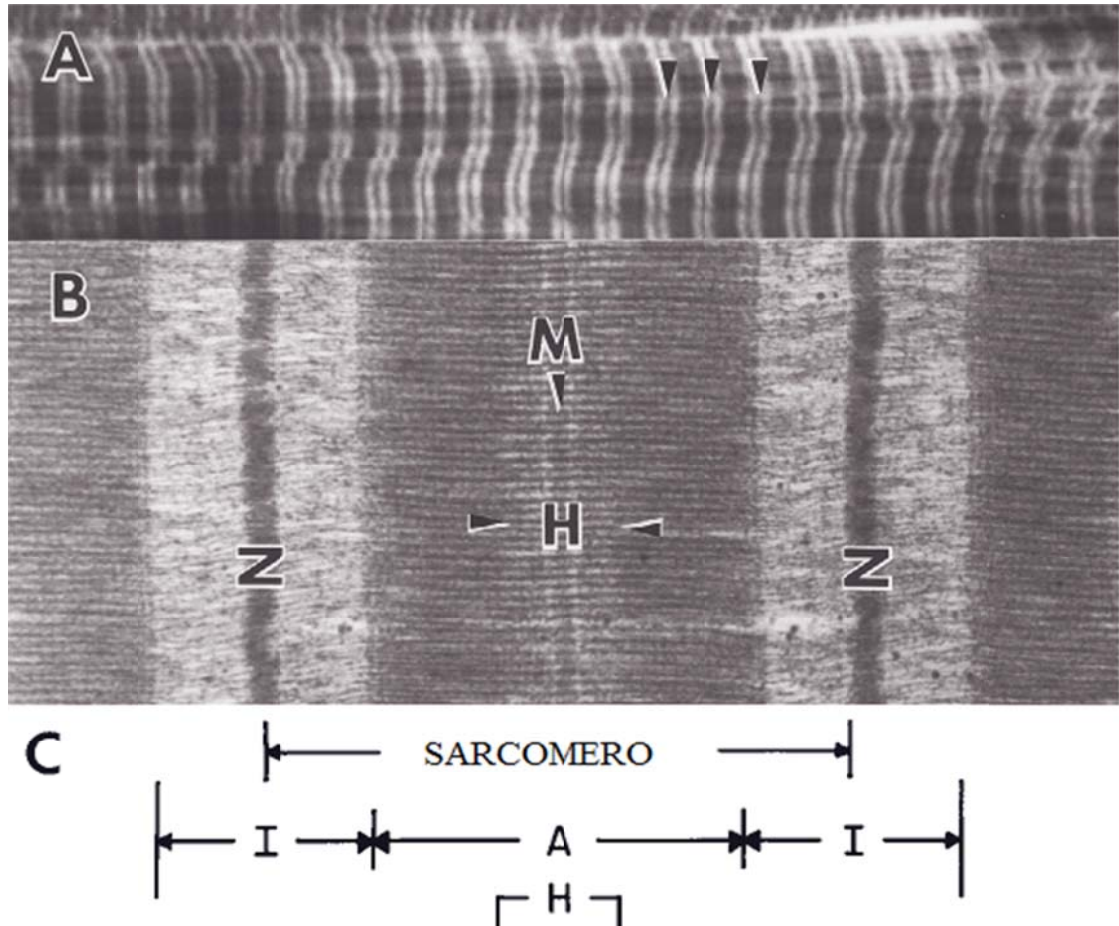


Figura 4. Vista del músculo estriado esquelético bajo microscopio óptico (A), electrónico (B), y bandas presentes en el músculo (C). Fuente: Frandson *et al.*, 2009.

En el músculo pos-rigor, el aporte de ATP es agotado, como resultado el complejo actomiosina se vuelve esencialmente permanente; en la carne, la magnitud del acortamiento de las miofibrillas tiene fuerte influencia en la suavidad de la carne, de modo que, carne con sarcomeros cortos tenderá a ser dura y la maduración será menos eficiente (Huff *et al.*, 2010).

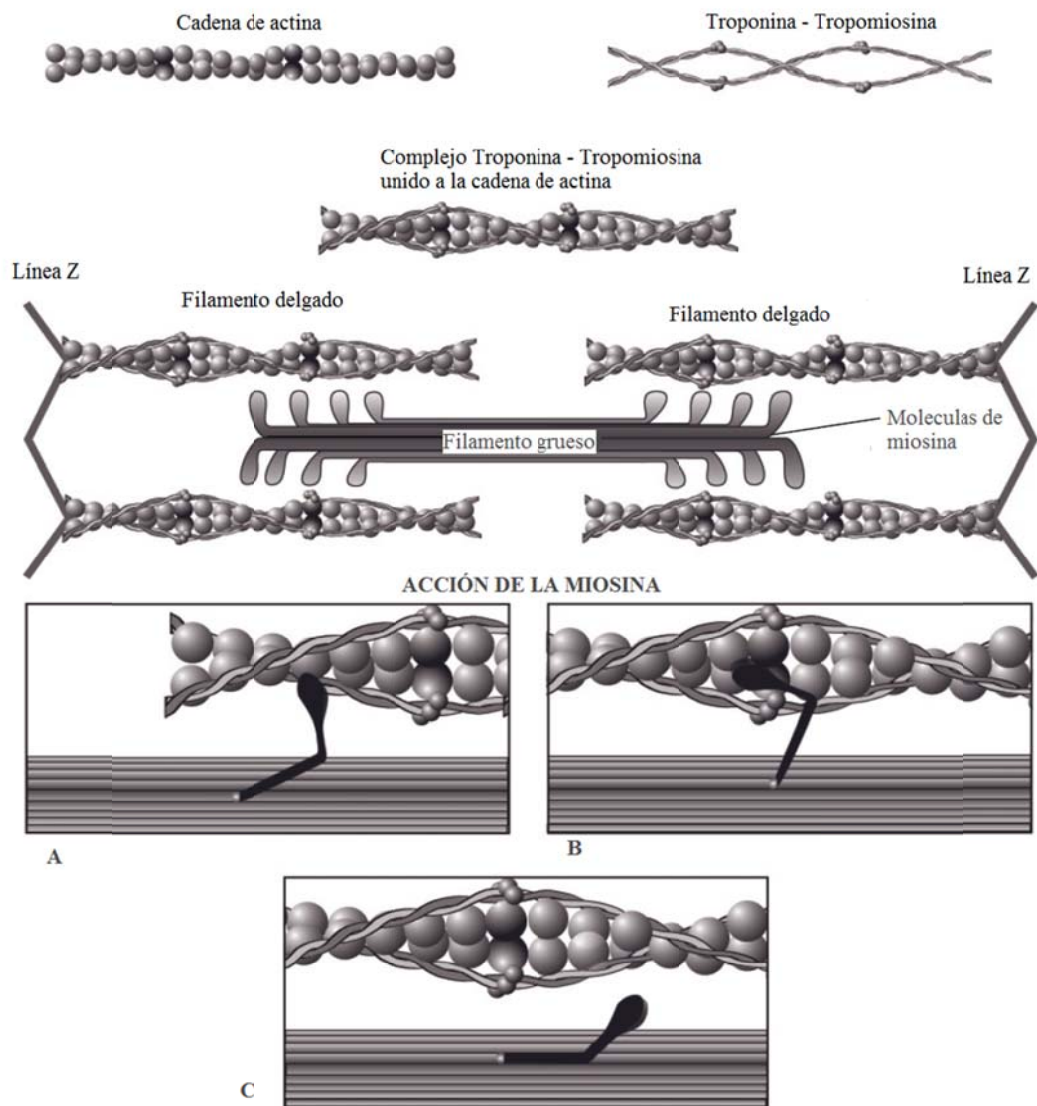


Figura 5. Los componentes primarios y la organización de los filamentos gruesos y delgados se presentan en la parte superior. Cuadros A, B y C ilustran la acción secuencial de la miosina y su unión con la actina, el filamento delgado se desliza sobre el grueso. Fuente: Frandson *et al.*, 2009.

2.7.1 Transformación del músculo en carne

La carne se define como la porción comestible de animales sanos, destinados para consumo humano. La carne está constituida primordialmente por tejido muscular y cantidades variables de tejido conectivo, epitelial, nervioso y adiposo, según la localización anatómica, edad, género y especie animal (Ponce, 2006).

El proceso posterior a la muerte que lleva a la transformación gradual del músculo en carne, se divide en tres etapas: 1) etapa pre-rigor, en esta etapa se realiza la exanguinación del animal, con este proceso, la única fuente de oxígeno para el metabolismo aerobio, es la que está unida a la mioglobina; una vez que se agota el oxígeno, el tejido muscular adopta un metabolismo anaeróbico, siendo la glucólisis la única vía para obtener energía, ya establecido éste proceso, las reservas de glucógeno disminuyen y el ácido láctico se acumula en el tejido muscular, lo que permite una caída del pH de 7.2 a un valor entre 5.4 y 5.8; en bovinos este proceso de acidificación se lleva a cabo en un periodo de 15 a 36 h (Warriss, 2000); 2) *rigor mortis*, se presenta poco después de la muerte en donde el tejido muscular se encuentra en un estado de rigidez sostenida y es inextensible; esta condición es irreversible como consecuencia del agotamiento de las reservas de ATP, que impiden la ruptura del complejo actomiosina; 3) resolución de la rigidez cadavérica, en este estado el músculo recupera cierta elasticidad, debido a la pérdida de integridad del tejido, mejorando la textura y formando precursores del aroma de la carne; el aumento en la suavidad de la carne en esta etapa, se debe a la degradación de proteínas estructurales de la carne como titina, nebulina, actina y miosina; las proteasas endógenas que debilitan la estructura miofibrilar, pertenecen a dos sistemas enzimáticos, las catepsinas y las calpainas, mismos que actúan en forma cooperativa (Ponce, 2006).

Las catepsinas o proteínas lisosomales ácidas, degradan a proteínas como la miosina y la actina; por su parte las calpainas, son conocidas como proteasas (neutras) activadas por el calcio, este grupo consta de dos tipos: 1) las m-calpainas que requieren altas concentraciones de calcio (300 μM), y las μ -calpainas que requieren menos calcio (5 μM); ambos tipos de enzimas se encuentran en el sarcoplasma y su actividad óptima sucede a un pH de 6.6 a 6.8 (Ponce, 2006). Estas enzimas no son específicas, pero se ha hipotetizado que su actividad es la proteólisis de las proteínas del cito-esqueleto que son, la titina, nebulina y desmina (Huff *et al.*, 2010).

2.8 Aspectos de calidad de la carne

Resulta difícil definir exactamente lo que los consumidores conciben por calidad de la carne, más aún en países donde se ha mercadeado la carne sin reconocer los deseos del consumidor; sin embargo, las nuevas tendencias obligan a admitir tres tipos o conceptos de calidad: a) la calidad organoléptica o sensorial; b) la calidad nutricional, dictada mayormente por el valor nutritivo; y c) la calidad higiénico-sanitaria o inocuidad del alimento. Atributos específicos de la carne que en la actualidad son tomados en cuenta para estimar la calidad de la carne pueden incluir, su seguridad (*i.e.* no cause daño a la salud), el valor nutritivo, sabor, textura, capacidad de retención de agua, color, contenido de lípidos, composición de lípidos (*i.e.* ácidos grasos saturados e insaturados), estabilidad oxidativa y uniformidad (Andersen *et al.*, 2005). Smith *et al.* (2008) mencionaron que la calidad de la carne (cruda o no cocida) definida por el consumidor está en relación a las características de apariencia (*e.g.* relaciones de músculo con grasa o hueso; cantidad de marmoleo; color del músculo y grasa; que esté libre de defectos) en primera instancia.

2.8.1 Atributos de calidad organoléptica

La experiencia del mercado en otros países demuestra que la calidad percibida por la mayoría de los clientes finales, se refiere en mucho al carácter sensorial de la carne bovina; es decir, los atributos que se perciben del producto con los órganos de nuestros sentidos. Entre los atributos que más influyen en la satisfacción del comensal destacan: suavidad, jugosidad y el sabor de la carne cocida (Judge *et al.*, 1989). La calidad de un buen bistec asado es decidida por el consumidor por características de palatabilidad (*e.g.* sabor, jugosidad, suavidad) (Smith *et al.*, 2008). De esta afirmación se deduce que la palatabilidad de la carne engloba a todos los factores organolépticos que pueden influir en el gusto del consumidor. En este sentido la palatabilidad de la carne cocida es determinada por efectos agregados de las diferencias en sabor, jugosidad y suavidad experimentada por la persona que la consume (Smith *et al.*, 2008).

Jugosidad

Los jugos de la carne juegan un papel importante en la impresión general de la palatabilidad que adquieren los consumidores (Judge *et al.*, 1989). Los jugos contienen muchos de los componentes del sabor y ayudan al ablandamiento y fragmentación de la carne durante la masticación. Independientemente de otros atributos de la carne, la falta de jugosidad limita su aceptabilidad y virtudes sensoriales (Huerta, 2002). La jugosidad de la carne cocida es determinada por la humedad y grasa (marmoleo) que permanecen en la carne bovina después del cocinado (Smith *et al.*, 2008).

Sabor y aroma

Muchas de las reacciones psicológicas y fisiológicas que despierta la carne derivan de su sabor y aroma. El sabor percibido por las papilas gustativas de la lengua, involucra cuatro sensaciones básicas: salado, dulce, ácido y amargo. El aroma se detecta por numerosos materiales volátiles que estimulan las terminales nerviosas en los pasajes nasales. La sensación total es la combinación de los estímulos gustativos y olfatorios. Los componentes de la carne responsables por el sabor y el aroma no han sido totalmente identificados; sin embargo, muchos constituyentes de los tejidos musculares, conectivos y adiposos (grasa) se tornan componentes volátiles durante la cocción, lo que puede explicar en parte estas características. Los músculos que utiliza más el animal tienen un sabor más intenso porque tienen más derivados de compuestos fosfóricos que almacenan energía (Huerta, 2002). Smith *et al.* (2008) mencionaron que las diferencias en el sabor conveniente de la carne están determinadas por las proteínas en el músculo, así como el tipo y cantidad de grasa intramuscular (marmoleo).

Color

El color ocupa un lugar preferente entre los factores que definen la calidad del alimento, puesto que éste puede ser factor de rechazo, sin valorar otras

propiedades como aroma, textura y sabor, por lo que es importante considerar las características específicas que contribuyen al color de la carne, debido a que éste, es uno de los parámetros de calidad que más influyen en la elección del consumidor al momento de adquirir carne (Hui *et al.*, 2006). Con relación a la carne fresca, el color tiene gran importancia en su comercialización, razón por la que varias investigaciones (Barbut, 2001; Bekhit y Faustman, 2005) se han realizado para identificar los factores que controlan la estabilidad del mismo. El color de la carne es el resultado de la presencia de dos pigmentos: mioglobina y hemoglobina; sin embargo, sólo el contenido de mioglobina es utilizado como indicador de color. El sistema Hunter se utiliza en la determinación de color en alimentos y considera tres parámetros **L**, **a** y **b**, donde **L** mide las tonalidades de blanco (100) hasta negro (0), **a** mide las tonalidades de rojo (+) hasta verde (-) y **b** las de amarillo (+) hasta azul (-) (Acevedo, 2004). Este sistema es de uso común por la facilidad en la interpretación de datos.

Suavidad

La suavidad se puede entender como la resistencia que presenta la carne a ser cortada y es el atributo de aceptación más importante, y un determinante primario de su calidad. La suavidad se relaciona directamente a cuatro factores: a) la degradación de la fibra muscular; b) el estado contráctil del músculo; c) la cantidad de tejido conectivo; y d) la cantidad de grasa intramuscular o marmoleo (Kempt *et al.*, 2010).

Para Smith (2001), la suavidad de la carne cocida está determinada por cinco diferencias estructurales e histológicas: a) la cantidad de tejido conectivo; b) el grado de complejidad del colágeno y la reticulina, proteínas constituyentes del tejido conectivo por el cruce de sus enlaces químicos; c) la longitud de los sarcómeros (unidad de la fibrilla muscular que en todo su conjunto, permite el estiramiento y encogimiento de los músculos); d) el tamaño y los depósitos de grasa intramuscular (marmoleo); y e) la actividad de enzimas proteolíticas endógenas. Entre los factores citados, el marmoleo o grasa intramuscular se

considera un atributo determinante de la jugosidad de la carne y por tanto, también se relaciona con la suavidad, razón por lo cual la industria de Canadá y Estados Unidos le da mucho peso, en la clasificación de canales por calidad (Huerta, 2002).

La suavidad es inversamente proporcional a la fuerza de corte, medida normalmente con la cuchilla de Warner Bratzler (CWB). Uno de los factores que más afecta la calidad organoléptica es la edad del animal, ya que la inmadurez al sacrificio generalmente se relaciona con carnes suaves (Lawrence *et al.*, 2001). La madurez muscular se basa en que a medida que avanzan en edad los animales, éstos presentan músculos que se van haciendo de un color más intenso y de una textura más áspera; la dureza de carnes de animales maduros se atribuye a una mayor complejidad en la estructura molecular del tejido conectivo (Huerta, 2002).

Aunque se ha establecido en varios experimentos que la edad avanzada del animal se correlaciona positivamente con una mayor fuerza de corte de la carne, algunos trabajos no han encontrado diferencia en animales de distinta edad. Lawrence *et al.* (2001) evaluaron el efecto de la edad del animal por clasificación dental (0, 2, 4, 6 y 8 incisivos permanentes) en valores de resistencia al corte por Warner-Bratzler, calificación de suavidad por panel adiestrado, no encontrando diferencias entre los grupos dentales.

Uno de los factores que afectan de manera significativa la suavidad de la carne es el manejo *postmortem*. De acuerdo con Smith (2001), en la actualidad se disponen de al menos ocho intervenciones *postmortem* que pueden utilizarse para mejorar la suavidad: a) oreo de canales a altas temperaturas por 1 a 3 h antes de la refrigeración; b) colgado de la canal por la pelvis para mantener estirados los músculos del lomo y pierna antes de entrar en *rigor mortis* (tenderstretch); c) estimulación eléctrica de canales en pre-rigor; d) inyección de calcio a canales o cortes; e) ablandamiento mecánico pasando cortes o canales por agujas o lancetas; f) inmersión de carnes en soluciones salinas o ácidas (marinadas); g) uso de enzimas proteolíticas de origen vegetal como la papaína,

bromelína o ficína; y h) maduración de carnes en condiciones húmedas (empacada en alto vacío) o en seco (mantenidas por un tiempo expuesta al aire sin empaque).

Con respecto al tiempo de maduración, Lawrence *et al.* (2001) reportaron que cuando cortes del músculo *Longissimus* fueron madurados por 14 días posteriores al sacrificio no se encontraron diferencias en suavidad.

2.9 Calidad nutritiva

Desde el punto de vista nutricional, la carne es una buena fuente de proteína de alto valor biológico (aminoácidos esenciales) para la salud humana, también es un importante fuente de vitaminas del complejo B, particularmente B1 (tiamina), niacina, B2 (riboflavina), B6, B12 (cianocobalamina) y vitamina A (retinol). La carne roja es la mayor fuente de hierro, cobre, zinc y selenio dietarios; sin embargo, proporciona baja cantidad de carbohidratos, fibra, vitaminas K y C. (Warriss, 2000; Lawrie y Leward, 2006).

Por otro lado, la carne roja tiene alto contenido de ácidos grasos saturados (mirístico = C14:0, palmítico = C16:0 y esteárico = C18:0). El consumo elevado de estos ácidos ha sido asociado a un incremento de colesterol en plasma sanguíneo (Lawrie y Leward, 2006), lo que trae consigo riesgos de sufrir enfermedades cardíacas. No obstante, la carne también tiene alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (*e.g.* oleico, linoleico, linolénico y araquidónico) y ácido linoleico conjugado (ALC), los cuales tienen efectos benéficos en la reducción del colesterol; en especial el ALC se encuentra en rangos de 0.37 a 1.08 g (100 g)⁻¹ en carne bovina y funciona como anti-cancerígeno, anti-aterogénico y modulador del sistema inmune (McAfee *et al.*, 2010).

De acuerdo con McAfee *et al.* (2010) es necesario hacer más investigación sobre la relación entre consumo de carne roja y riesgo de enfermedades cardiovasculares.

Perfil de ácidos grasos

Los ácidos grasos están compuestos por largas cadenas de carbonos que varían desde 2 hasta 22. Hay dos tipos generales, basados en la presencia o ausencia de dobles enlaces ($C=C$) entre los átomos de carbono: saturados e insaturados. Los ácidos grasos insaturados pueden tener un solo doble enlace (mono-insaturados) o con dos o más dobles enlaces son conocidos como poli-insaturados (Warriss, 2000). Ejemplo de ácidos grasos saturados son butírico, palmítico y esteárico, para el caso de mono-insaturados se tiene al ácido oleico; dentro de los ácidos grasos poli-insaturados, se tiene al linoleico ($C_{18:2}$), linolénico ($C_{18:3}$) y araquidónico ($C_{20:4}$), ellos son conocidos como esenciales porque el ser humano no puede sintetizarlos; estos últimos, son constituyentes necesarios de la membrana celular, mitocondria y otros sitios de actividad metabólica, además de que son esenciales para el desarrollo cerebral especialmente en el feto (Lawrie y Ledward, 2006). En el ácido linolénico el primer doble enlace se ubica en el tercer átomo de la cadena de carbono y es llamado ácido graso $n-3$, mientras que para el ácido linoleico su primer doble enlace está ubicado en el sexto átomo de carbono, por lo que se conoce como ácido graso $n-6$; los términos omega 3 y omega 6 también son usados para referirse a estos ácidos grasos (Warriss, 2000).

La composición de ácidos grasos y nivel de colesterol en la carne bovina han recibido especial atención debido a sus implicaciones en la salud humana (e.g. enfermedades cardiovasculares) y calidad del producto (e.g. sabor, olor, productos de la oxidación de lípidos al momento de la cocción, reacciones de Maillard) (Wood, 2003; Orellana *et al.*, 2009). En recientes años los consumidores han sido advertidos acerca de la reducción de consumo de grasas saturadas y de alcanzar en su dieta una relación de ácidos grasos poliinsaturados: saturados mayor a 4; para el caso de los poliinsaturados se ha enfatizado en tener una alta relación de ácidos grasos $n-6:n-3$ (i.e. 4 a 5:1) (Warriss, 2000; Wood *et al.*, 2003) con el objetivo de reducir el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares.

Aproximadamente el 50% de la grasa intramuscular de la carne bovina está compuesta de ácidos grasos insaturados (oleico, *n*-3 y *n*-6); la relación ácidos grasos poliinsaturados (AGPI): ácidos grasos saturados (AGS), es aproximadamente 0.11 en la carne de bovino, esto está muy por debajo de la relación deseada (*i.e.* 0.4) (Scollan *et al.*, 2006).

En la carne de ganado bovino la composición de ácidos grasos esta principalmente influenciada por la edad, régimen de alimentación y el genotipo (Alfaia *et al.*, 2006), con relación al sistema de alimentación Realini *et al.* (2004) encontraron que animales finalizados en pastoreo tienen una mayor concentración de ácidos grasos insaturados: oleico, linoleico, linolénico y araquidonico, que animales finalizados con concentrado.

2.9.1 Calidad higiénico-sanitaria

La inocuidad de los alimentos en general y la carne en particular es de las mayores preocupaciones para consumidores, procesadores, minoristas, agencias gubernamentales, instituciones educativas, profesionales de la salud pública, e investigadores (Hui *et al.*, 2001). Las modernas prácticas de producción animal hacen uso de amplias cantidades de antibióticos, desparasitantes, hormonas y otras drogas, de las cuales pueden quedar residuos en la carne con potenciales efectos negativos para la salud humana (Hui *et al.*, 2001).

Por otro lado, los agentes patógenos que contaminan la carne bovina y que son potenciales fuentes de infección para el ser humano, tienen dos vías de entrada, la primera es a través de la vida del animal (enfermedades endógenas) el cual puede ser infectado por microorganismos como *Bacillus anthracis*, *Mycobacterium tuberculosis* y *Brucella* spp., las cuales causan ántrax, tuberculosis bovina y brucelosis, respectivamente (Hui *et al.*, 2001; Lawrie y Ledward, 2006). Estas enfermedades son clasificadas como zoonóticas, por lo que son un riesgo para la salud pública.

La segunda forma de contaminación es consecuencia directa del proceso de matanza y preparación de la canal; un amplio rango de microorganismos son introducidos dentro de las superficies húmedas de la carne, las cuales son ricas en nutrientes que sirven como caldo de cultivo para la multiplicación microbial, de estos microorganismos, afortunadamente, sólo un 10% es capaz de sobrevivir durante el almacenamiento, distribución, y en la sala de cortes de carne (Hui *et al.*, 2001).

Dentro de los microorganismos patógenos más comunes que podemos encontrar en la carne están: *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp., *Escherichia coli* 0157 H7 patógena, *Campylobacter* spp., *Yersinia enterocolitica*, *Listeria monocytogenes*, y *Aeromonas hydrophila* (Hui *et al.*, 2001). Aunque recientemente se ha puesto especial atención en otros microorganismos como *Vibrio cholerae* (causante del cólera) por su potencial de expandirse con rapidez y convertirse en pandemia, de la misma manera se ha investigado y monitoreado el prion proteínico causante de la encefalopatía espongiforme bovina (“enfermedad de las vacas locas”), que aunque su presencia es escasa, cuando éste es transmitido al ser humano por medio de carne contaminada, suele ser mortal (Beier *et al.*, 2004). Con el objetivo de mejorar la calidad microbiológica y seguridad de la carne, se han implementado varios procedimientos de descontaminación en plantas de procesamiento y rastros, como agua caliente presurizada, cloro, peróxido de hidrógeno, ácidos orgánicos, como acético y láctico, adicionalmente otros métodos físicos pueden ser empleados como luz ultravioleta, rayos X y ultrasonido (Warriss, 2000).

A pesar de que en la actualidad los procedimientos de evaluación de microorganismos son ampliamente utilizados en la industria, en recientes años se ha incrementado la incidencia de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA's), lo que es un indicio claro de que estos métodos no son suficientemente efectivos, por lo que se han buscado nuevas metodologías de prevención, que involucren la identificación de peligros y riesgos, así como puntos donde el control debe ser ejercido, además de seleccionar las opciones para dicho

control, y la forma en que serán implementadas y monitoreadas, a esta serie de pasos se le conoce como “Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control” (HACCP, por sus siglas en inglés) (Lawrie y Ledward, 2006). Este protocolo en la actualidad es básico en cualquier planta de procesamiento de alimentos certificada (e.g. rastros TIF), es un requisito básico para el comercio internacional, pues tiene como objetivo asegurar la inocuidad de los productos comercializados u ofrecidos al público.

2.10 Factores que afectan la calidad de la canal y de la carne

Son varios los factores que condicionan la calidad de la carne y la canal bovina, todos ellos son de relevancia y tienen gran importancia en el desarrollo de sistemas biológica y económicamente rentables, en la producción de carne de calidad. En primer lugar habrá que tomar en cuenta aquellos propios del animal como son la raza, el sexo, edad y peso al sacrificio (Drake, 2004; Polkinghorne *et al.*, 2008), en segundo lugar se deben considerar factores propiamente productivos, como sistema de manejo (e.g. inyecciones), el régimen de alimentación (*i.e.* finalización en pastoreo o con dietas altas en grano), uso de aditivos (e.g. promotores de crecimiento), manejo previo al sacrificio, como el transporte y manejo en planta frigorífica. En tercer lugar, se debe considerar el manejo *postmortem* de las canales, como la higiene en el proceso de matanza y preparación de la canal, el proceso de enfriado y maduración, y por último para el caso de la carne, el uso de sistemas de empaque al vacío.

2.10.1 Raza y sexo

Los esquemas actuales de clasificación son usados para describir las canales y asignar a ellas una categoría basados en criterios tales como engrasamiento y conformación (Warriss, 2000). Sistemas específicos como el de EE.UU. suelen tomar mediciones como marmoleo (grasa intramuscular), área del músculo *Longissimus dorsi*, grosor de la grasa de cobertura, grasa interna (%), edad fisiológica y peso de la canal, para estimar el rendimiento en cortes al detalle de

una canal y la palatabilidad de la carne (*i.e.* suavidad, jugosidad, sabor) (USDA, 1997).

El efecto de la raza ha sido estudiado ampliamente, por ejemplo Sañudo *et al.* (1998) reportaron que en bovinos, la raza tiene una fuerte influencia en la conformación, el rendimiento en canal y el engrasamiento, mientras que en color, dureza, jugosidad y sabor, el efecto va de pequeño a nulo. Por su parte Warriss (2000) mencionó que la carne de mejor calidad es obtenida de razas cárnicas tradicionales como Hereford y Aberdeen Angus en comparación de razas lecheras como Holstein o Jersey; este autor también señaló que las canales de razas productoras de carne tienen mejor conformación y desarrollo muscular, adicionalmente estas razas tienen una rápida depositación de grasa subcutánea e intramuscular (marmoleo), lo cual se relaciona con una buena palatabilidad de la carne (*e.g.* jugosidad, suavidad).

La carne de ganado con giba (*Bos indicus*) tiende a ser más dura que la carne de ganado *Bos taurus*, la razón de esto, es que la actividad proteolítica del sistema miofibrilar es menor en el ganado *Bos indicus* a causa de diferencias en actividad de la calpaina y calpastatina (Warriss, 2000). Por otra parte Polkinghorne *et al.* (2008) mencionaron que estudios recientes en el músculo *Longissimus lumbarum*, indican una relación negativa entre la calidad de la carne y el nivel de *Bos indicus* en el animal sacrificado.

Con respecto al efecto del sexo en la calidad de la canal y de la carne Sañudo *et al.* (1998) mencionaron que este factor tiene una fuerte influencia en el engrasamiento de la canal, pero moderada en características de conformación, rendimiento en canal, color, dureza, sabor y jugosidad de la carne. Warriss (2000) mencionó que el sexo es el factor de mayor influencia en la deposición de grasa; con relación a lo magro de las canales, este autor mencionó que toros jóvenes>vacas de desecho>novillos; para la variable conformación este mismo autor mencionó que toros jóvenes>novillos>vaquillas.

Respecto a la concentración de ácidos grasos, la grasa de novillos tiene una alta proporción de ácidos grasos saturados en comparación a la grasa de vaquillas o toros, en los que se ha encontrado una alta concentración de ácido oleico (Lawrie y Ledward, 2006).

El color amarillo de la grasa de cobertura de la canal es una característica indeseable en los mercados actuales, debido a la mala percepción que tienen los consumidores con respecto esta carne, pues suele pensarse que proviene de animales viejos o enfermos, por lo que este factor es tomado en cuenta en los sistemas de clasificación de canales prefiriéndose un color blanco antes que amarillo, esta característica es dependiente de la edad, raza y género del animal, aunque el factor más importante que determina esta característica es el régimen de alimentación (Dunne *et al.*, 2009).

2.10.2 Peso y edad

La edad de ganado al sacrificio ha sido reportada como un factor que tiene un bajo efecto en la conformación de la canal y jugosidad de la carne; sin embargo, tiene un alto efecto en rendimiento en canal, engrasamiento, color (grasa y carne), dureza y sabor (Sañudo *et al.*, 1998). Esta afirmación concuerda con lo reportado por Huff y Parrish (1993) quienes concluyeron que la edad del animal y la maduración *postmortem* tienen más influencia en la suavidad de la carne que el sexo del animal. En este sentido, Park *et al.* (2008) mencionaron que un incremento en la osificación (estimador de la edad fisiológica) tiene un pequeño pero consistente efecto negativo en la palatabilidad de la carne, indicando su utilidad como predictor de esta variable.

En el sistema actual de comercialización, es difícil que esté disponible la edad exacta del ganado, por lo que se emplean medidas alternativas para su estimación, como la dentición o el grado de osificación de los huesos y cartílagos de la columna vertebral (Polkinghorne *et al.*, 2008). Como ya se mencionó anteriormente, la edad del animal tiene influencia en características de calidad de la canal y de la carne. En este sentido, la edad del animal es una

variable clave en la determinación del grado de calidad en el sistema de clasificación de canales de EE.UU. o como predictor de la palatabilidad de la carne en el sistema de clasificación de Australia (USDA, 1997; Smith *et al.*, 2008).

Con relación al peso al sacrificio, no ha sido claramente determinado la forma en que afecta la palatabilidad de la carne (Polkinghorne *et al.*, 2008). Sin embargo, con relación a la canal Drake (2004) mencionó que animales sacrificados con un peso alto resultan en mayor grosor de grasa dorsal, calificación de marmoleo alta, un mayor grado de rendimiento y en general el contenido de grasa es mayor. Este mismo autor mencionó que los animales con pesos altos al sacrificio generalmente son viejos, aunque no necesariamente, por lo que en el sistema de clasificación USDA, aunque un animal tenga una buena calificación en marmoleo, su edad y su elevado grado de rendimiento (*i.e.* excesiva grasa de cobertura) son indeseables, pues trae consigo castigos en el precio, lo que perjudica directamente al productor.

2.10.3 Régimen de alimentación

El tipo y cantidad de los alimentos suministrados, el aporte de nutrientes y sus interrelaciones, además de los aditivos incluidos en la ración, influyen en aspectos tales como rendimiento de la canal, estado de engrasamiento, color, olor y suavidad de la carne, consistencia y color de la grasa (Owens y Gardener, 2000). Esta afirmación coincide con Sañudo *et al.* (1998) quienes mencionaron que el régimen de alimentación tiene un alto impacto en rendimiento en canal, engrasamiento; pero el efecto es bajo en dureza, color, sabor y jugosidad de la carne.

Los días en corral de engorda generalmente son determinados por el grosor de la grasa dorsal, la conformación, o el óptimo económico; con el incremento en los días de alimentación, aumentan, el marmoleo, grado de calidad, grasa de cobertura, peso de la canal y grado de rendimiento (Drake, 2004). En el sistema USDA de clasificación de canales, un elevado grado de rendimiento numérico

(i.e. 5) es indeseable, por estar relacionado a un alto contenido de grasa en la canal.

Owens y Gardner (2000) revisaron los efectos de la fuente de grano y el procesamiento del mismo, en dietas de finalización, sobre las características de la canal, y encontraron que toros finalizados con dietas a base de sorgo tiene un mayor grado de rendimiento comparados con aquellas finalizadas con maíz. Con relación al procesamiento del grano, animales alimentados con grano rolado al vapor, tuvieron una mayor área del músculo *Longissimus dorsi*, mayor grosor de grasa de cobertura, pero bajos marmoleo y grado de calidad.

La adición de grasa a nivel de 2.4% de MS en la dieta de finalización estuvo relacionada a un incremento en el porcentaje de rendimiento, área de músculo *Longissimus dorsi*, grado de calidad, calificación de marmoleo y grado de rendimiento (Owens y Gardner, 2000).

Varios estudios han reportado que la inclusión de vitamina E por arriba de los requerimientos en las dietas de finalización, estabiliza el color de la carne (e.g. el color ideal es el rojo cereza) por más tiempo, y por lo tanto puede extender la vida de anaquel, esto es resultado de la acumulación de α -tocoferol en el músculo, el cual actúa como antioxidante al retrasar la oxidación de los lípidos y la mioglobina; aunque no se han encontrado mejoras en características de la canal (Dikeman, 2007).

Con el objetivo de incrementar el contenido de ácidos grasos insaturados en la carne, algunos investigadores (Scollan *et al.*, 2006) han reportado que la inclusión de ALC o ácidos grasos poli-insaturados protegidos en la dieta de rumiantes, a pesar de la biohidrogenación ruminal, tienen potencial para incrementar el contenido de ácidos grasos benéficos en la carne y disminuir la relación $n6:n3$.

El uso de implantes es una práctica común en la finalización del ganado, pues se obtienen altas ganancias diarias de peso y se mejora la eficiencia alimenticia

(Dikeman, 2007), también se obtienen canales más pesadas, mayores áreas del músculo *Longissimus dorsi*, se reduce el porcentaje de grasa en riñones, pelvis y corazón, además del grado de rendimiento (Drake, 2004).

El implantar animales reduce la calificación de marmoleo en un grado y medio, comparado con los no implantados (Duckett *et al.*, 1999). Con relación al efecto del uso de implantes en la calidad de la carne, Watson (2008), en un meta-análisis que incluyó 50 años de investigación, concluyó que los implantes hormonales, tienen efectos negativos en la suavidad y palatabilidad de la carne, además, el uso de programas agresivos de implantes puede incrementar la incidencia de cortes oscuros (Dikeman, 2007).

El sistema de finalización (e.g. pastoreo o dieta alta en grano) tiene un fuerte impacto en las características de calidad de la carne (Priolo *et al.*, 2001); sin embargo, el régimen de alimentación también afecta las características de la canal bovina, por ejemplo Realini *et al.* (2004) encontraron que el ganado finalizado en corral de engorda es más pesado y tiene una mejor conformación que aquel finalizado en pastoreo, de la misma manera, presenta una mayor deposición de grasa dorsal y área del ojo de la costilla.

El color de la grasa de cobertura es una característica fuertemente influenciada por la finalización de ganado en pastoreo, bajo este sistema de alimentación, la grasa se presenta de color amarillo (característica indeseable), esta condición es causada por los carotenos presentes en el forraje verde; una estrategia para contrarrestar esta condición es finalizar el ganado al menos 90 días con dieta alta en grano (Dunne *et al.*, 2009). El color de la carne de ganado finalizado en pastoreo generalmente es más oscura, en el caso del sabor de la carne, este puede también ser influenciado por la finalización en pastoreo, derivado de la diferente concentración de ácidos grasos y su proceso oxidativo (Priolo *et al.*, 2001).

Realini *et al.* (2004) encontraron una mayor concentración de α -tocoferol en músculos de ganado finalizado en pastoreo vs dieta alta en grano, condición

que puede incrementar la vida de anaquel de la carne; estos autores también reportaron que la carne de bovino, de los dos sistemas de alimentación no difirió en el valor de resistencia al corte Warner-Bratzler (estimador de la suavidad de la carne) en el día uno en el músculo *Longissimus dorsi*; sin embargo, a los 7 y 14 días *postmortem* estos valores fueron más bajos para la carne de ganado finalizado en pastoreo.

Con relación a la diferencia en perfil de ácidos grasos, por efecto de sistemas de finalización, varias investigaciones (Realini *et al.*, 2004; Nuernberg *et al.*, 2005; Orellana *et al.*, 2009) han reportado que la grasa de ganado finalizado en pastoreo, presenta un elevado contenido de ácidos grasos *n*-3 (omega 3), ALC, y reducido contenido de ácidos grasos saturados, en comparación al ganado finalizado con dieta alta en grano.

2.10.4 Manejo previo al sacrificio

Los resultados de un manejo inadecuado de ganado destinado al sacrificio, influyen produciendo variaciones en el peso de los animales y en la carne que de ellos se obtenga, y por lo tanto tiene consecuencias de importancia económica, ya que la calidad del producto y por supuesto su cantidad, están directamente vinculadas a su valor económico (Castro y Robaina, 2003).

Cuando se habla de manejo previo al sacrificio, se deben tener en cuenta las actividades a las que son sometidos los animales, desde la granja de origen hasta el matadero (movilización, carga, transporte, descarga, arreo y alojamiento en corrales de descanso, y arreo a la sala de matanza) (Hui *et al.*, 2006). Esta serie de actividades son causas potenciales de estrés para el animal, entendiendo al estrés como un estado de adaptación caracterizado por el desequilibrio de la homeostasis por factores internos o externos, el estrés puede ser detonado por estímulos agresivos que afectan al animal como miedo, hambre, condiciones climáticas severas (e.g. calor, frío o viento); sed y dolor (Hui *et al.*, 2006).

El estrés, puede ser de origen físico como temperaturas extremas, vibración, ruido, confinamiento y hacinamiento; o psicológico derivado de la ruptura de los grupos sociales, o la mezcla con otros animales desconocidos (Warriss, 2000). Castro y Robaina, (2003) señalaron que la mayor consecuencia del mal manejo del ganado bovino, y que se refleja en la calidad de la carne, es la presencia de cortes conocidos como: “oscuro, firme y seco” o DFD (Dark-Firm-Dry; Figura 6). Esta condición es producto de un inadecuado grado de acidez (pH) de la carne.

El descenso del pH (*i.e.* 7 a 5.5) ocurre normalmente a las 24 horas *postmortem*, producto del desdoblamiento del glucógeno a ácido láctico; cuando un animal cae en estrés antes de la matanza, se agota el glucógeno muscular provocando que el pH final de la carne sea alto (*i.e.* >6); por consecuencia, las proteínas se encuentran fuera de su punto isoelectrónico, siendo capaces de absorber grandes cantidades de agua dando una apariencia seca (Warriss, 2000; Hui *et al.*, 2006).



Figura 6. Porción del músculo *Longissimus dorsi*, color normal (izquierda) y corte oscuro (derecha). Fuente: Castro y Robaina, 2003.

El músculo que producirá una carne con pH normal contiene aproximadamente de 10 a 20 mg g⁻¹ (1 a 2 %) de glucógeno; sin embargo, una disminución a 8 mg g⁻¹ resulta en un elevado pH (Warriss, 2000). Los cambios en color y textura no le hacen perder a la carne su aptitud para el consumo; sin embargo, el color oscuro tiene impacto en la comercialización del producto, al crear rechazo del consumidor; esta condición reduce la vida de anaquel de la carne, ya que un pH

elevado (e.g. >6) favorece el crecimiento bacteriano (Castro y Robaina, 2003). Este último aspecto es de alto impacto en el comercio internacional ya que mercados como la Unión Europea y EE.UU., exigen que el pH de la carne que importan sea menor a 6 a las 24 horas y menor a 5.8 a las 36 horas, respectivamente (Castro y Robaina, 2003).

Los daños en las canales consecuencia de un mal manejo del ganado previo al sacrificio son los machucamientos y abscesos, aunque pueden existir manejos previos en la unidad de producción (e.g. inyecciones) que se evidencian al sacrificio, demeritando así la calidad de las canales. Los machucamientos son hematomas (acumulación de sangre; Figura 7) que ocurren por ruptura de vasos sanguíneos, consecuencia de contusiones violentas o golpes (Castro y Robaina, 2003). Algunas investigaciones han reportado que la prevalencia de machucamientos va de 2 a 18 % dependiendo el manejo (Warriss, 2000).



Figura 7. Hematoma en el dorso de una canal. Fuente: Castro y Robaina, 2003.

Los efectos directos de machucamiento y fibrosis (por inyecciones) son el demérito de la calidad de la canal, restándole uniformidad, provocando que sean calificadas en grados bajos, además que se incrementa el riesgo sanitario debido a que la sangre es un excelente medio de cultivo para la reproducción microbiana (Castro y Robaina, 2003).

2.10.5 Manejo de las canales *postmortem*

Uno de los principales efectos del agotamiento de ATP en el tejido muscular es la pérdida de extensibilidad debida a la formación del complejo actomiosina, el cual es esencialmente irreversible; en este contexto, la temperatura juega un rol determinante en la magnitud de dicho acortamiento, estableciéndose como el rango óptimo, aquel que esté entre 10 y 15°C, ya que se ha demostrado que temperaturas <10°C y >30°C, da lugar a condiciones conocidas como acortamiento por frío y calor respectivamente (Ferguson *et al.*, 2001).

El manejo adecuado de las canales *postmortem*, tiene por objetivo minimizar el grado de acortamiento miofibrilar y maximizar la extensión de la proteólisis, aunque asegurando el cumplimiento de los estándares microbiológicos. Para lograr estos objetivos, existen varias opciones comerciales que incluyen: enfriamiento controlado, estimulación eléctrica, suspensión alternativa de la canal (Tendercut y Tenderstretch) e inyección con cloruro de calcio (Ferguson *et al.*, 2001).

Enfriamiento controlado

Idealmente el *rigor mortis* debe ser completado en un rango de temperatura de entre 10 y 20°C, con el objetivo de minimizar el grado de acortamiento miofibrilar, sin embargo, en la práctica esto es difícil de lograr, debido a que la tasa de enfriamiento difiere entre estructuras anatómicas de la canal, además la cobertura de grasa y el flujo de aire en la cámara de enfriado, también influyen de manera significativa (Ferguson *et al.*, 2001).

Estimulación eléctrica

La estimulación eléctrica es usada para acelerar la llegada del rigor por la aceleración de la glucólisis *post mortem*; su aplicación permite que las canales sean enfriadas de manera rápida, con mínimo riesgo de que ocurra el acortamiento por frío; uno de los efectos más marcados de la estimulación eléctrica, es la rápida caída del pH respecto a canales no estimuladas. Otros

beneficios demostrados, son el aumento en la proteólisis *postmortem*, mejorando con esto la suavidad de la carne; en la práctica las canales son estimuladas una hora después de la muerte del animal, aunque en países (Australia, Uruguay) en los que la estimulación eléctrica es usada rutinariamente, ésta se aplica a las canales 5 minutos (<45 V) después de la muerte, no obstante, su aplicación 40 minutos *postmortem* aún es efectiva (Ferguson *et al.*, 2001).

Suspensión alternativa de la canal

Es un método físico usado para minimizar el grado de acortamiento miofibrilar, comercialmente existen dos métodos de suspensión de la canal, el Tenderstreich, consiste en el colgado de la canal por el hueso pélvico o el ligamento sacro-ciático, y ha demostrado prevenir el acortamiento fibrilar de músculos del cuarto trasero y por ende su suavidad; también se ha demostrado que los músculos tratados con Tenderstreich, tienen una baja respuesta a la maduración, por lo que el mayor beneficio comercial de estos métodos, son la reducción de los tiempos de almacenamiento para alcanzar el nivel de suavidad deseado (Ferguson *et al.*, 2001).

El Tendercut es un método de colgado en el que huesos y ligamentos son cortados en puntos específicos en la canal, con el objetivo de incrementar la tensión de los músculos del cuarto trasero y prevenir el acortamiento fibrilar, la principal ventaja sobre el Tenderstreich, es que las medias canales pueden ser colgadas de manera convencional (Ferguson *et al.*, 2001).

Infusiones de cloruro de calcio

La infusión con CaCl_2 inmediatamente después del sacrificio, ha demostrado en ovinos y bovinos una dramática aceleración de la suavización *postmortem*, la base de este efecto, es que el aumento en iones de calcio incrementa la actividad del sistema proteolítico de las calpainas (Ferguson *et al.*, 2001).

2.11 Literatura citada

- Acevedo S., M. 2004. Evaluación de los atributos principales de la calidad de la carne de res de origen local e importada según se ofrece al consumidor. Tesis de Maestría. Universidad de Puerto Rico. Puerto Rico. 71 p.
- Albertí, P., G. Ripoll, F. Goyache, F. Lahoz, J. L. Olleta, B. Panea, and C. Sañudo. 2005. Carcass characterization of seven Spanish beef breeds slaughtered at two commercial weights. *Meat Science* 71: 514-521.
- Alfaia, C. M. M., V. S. S. Ribeiro, M. R. A. Lourenço, M. A. G. Quaresma, S. I. V. Martins, and A. P. V. Portugal. 2006. Fatty acid composition, conjugated linoleic acid isomers and cholesterol in beef from crossbred bullocks intensively produced and from Alentejana purebred bullocks reared according to Carnalentejana-PDO specifications. *Meat Science* 72: 425-436.
- AMEG (Asociación Mexicana de Engordadores de Ganado Bovino). 2010. Carne de Bovino, Indicadores Económicos de la Industria. 13a. Ed. México. pp: 23.
- Andersen, H. J., N. Oksbjerg, J. F. Young, and M. Therkildsen. 2005. Feeding and meat quality a future approach. Review. *Meat Science* 70: 543-554.
- Barbut, S. 2005. Effect of illumination source on the appearance of fresh meat cuts. *Meat Science* 59: 187-191.
- Begoña A., M. 1999. Efecto de la raza y de la alimentación en los parámetros productivos y de calidad de la canal y de la carne en añejos de razas Charolés y Serrana Soriana. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid, España. 248 p.
- Beier, R. C., S. D. Pillai, and T. D. Phillips. 2004. Preharvest and Postharvest Food Safety: Contemporary Issues and Future Directions. Blackwell Publishing and the Institute of Food Technologists. Iowa, U.S.A. 455 p.
- Bekhit, A. E. D. and C. Faustman. 2001. Metmyoglobin reducing activity. *Meat Science* 71: 407-439.
- Bielli, A. 2009. Estructura del músculo. *In: Introducción a la Ciencia de la Carne*. Bianchi, G., y O. D. Feed. (eds.). Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. pp: 51-73.
- Castro D., L. E., y R. M. Robaina P. 2003. Manejo de Ganado Previo a la Faena y su Relación con la Calidad de la Carne. INAC. Montevideo, Uruguay. 31 p.
- Cundiff, L. V. 2005. Beef cattle: breeds and genetics. *In: Encyclopedia of Animal Science*. Pond, W. G., and A. W. Bell. (eds.). Marcel Dekker, Inc. New York, E.U. pp: 74-76.

- Delgado, E. J., M. S. Rubio, F. A. Iturbe, R. D. Méndez, L. Cassís, and R. Rosiles. 2005. Composition and quality of Mexican and imported retail beef in Mexico. *Meat Science* 69: 465-471.
- Dikeman, M. E. 2007. Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. Review. *Meat Science* 77: 121-135.
- Drake, D. J. 2004. Understanding and Improving Beef Cattle Carcass Quality. ANR, Publication 8130, Oakland, California U.S.A. 23 p.
- Duckett, S. K., D. G. Wagner, F. N. Owens, H. G. Dolezal, and D. R. Gill. 1999. Effect of anabolic implants on beef intramuscular lipid content. *Journal of Animal Science* 77: 1100-1104.
- Dunne, P. G., F. J. Monahan, F. P. O'Mara, and A. P. Moloney. 2009. Color of bovine subcutaneous adipose tissue: a review of contributory factor, associations with carcass and meat quality and its potential utility in authentication of dietary history. *Meat Science* 81: 28-45.
- Ferguson, D. M., H. L. Bruce, J. M. Thomson, A. F. Egan, D. Perry, and W. R. Shorthose. 2001. Factors affecting beef palatability – farmgate to chilled carcass. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41: 879-891.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura). 1999. Oportunidades de desarrollo de la industria de la carne de bovino en México. Boletín informativo. 36 p.
- Fisher, A. 2007. Beef carcass classification in the EU: an historical perspective. *In: Evaluation of Carcass and Meat Quality in Cattle and Sheep.* Lazzaroni, C., S. Gigli, and D. Gabiña. (eds.). Wageningen Academic Publishers. The Netherlands. pp: 19-30.
- Frandsen, R. D., W. L. Wilke, and A. D. Fails. 2009. Anatomy and Physiology of Farm Animals. 7a. (ed.). Wiley-Blackwell. Iowa, USA. pp: 131-142.
- Gallardo N, J. L., E. Luna M., y M. Albarrán D. 2006. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de bovino en México 2006. Coordinación General de Ganadería. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Estudios%20de%20situacion%20actual%20y%20perspectiva/Attachments/3/sitbov06.pdf> . Consultada el 25 de abril de 2011.
- Gasque G, R. 2008. Enciclopedia Bovina. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F., México. pp: 305-306.
- Gasque, R. 2001. Razas de ganado bovino en México. <http://www.fmvz.unam.mx/fmvz/enlinea/bovinos/home.htm>. Consultada el 25 de abril de 2011.
- Huerta L., N. 2002. Caracterización de ganado y carne bovina como base científica de la clasificación de canales en el trópico americano. *In: XI*

- Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal. ULA, Trujillo (ed.). 102 p.
- Huff L, E., W. Zhang, and S. T. Lonergan. 2010. Biochemistry of postmortem muscle – Lessons on mechanism of meat tenderization. Review. Meat Science 86: 184-195.
- Huff, E. J., and F. C. Parrish. 1993. Bovine *longissimus* muscle tenderness as affected by *postmortem* aging time, animal age and sex. Journal of Food Science 58(4): 713.
- Hui, Y. H., I. Guerrero L., y M. Rosmini R. 2006. Ciencia y Tecnología de Carnes. LIMUSA. D.F. México. 634 p.
- Hui, Y. H., W-K. Nip, R. W. Rogers, and O. A. Young. 2001. Meat Science and Applications. Marcel Dekker, Inc. New York, U.S.A. 679 p.
- Journaux, L. 2007. Beef carcass grading and meat quality measurements in different countries and how ICAR is going to use such information. In: Evaluation of Carcass and Meat Quality in Cattle and Sheep. Lazzaroni, C., S. Gigli, and D. Gabiña. (eds.). Wageningen Academic Publishers. The Netherlands. pp: 49-59.
- Judge, M. D., E. D. Aberle, J. C. Forrest, H. B. Hedrick, and R. A. Merkel. 1989 Principles of Meat Science. 2a. (ed.). Kendall/Hunt Pub. Co. Dubuque, Iowa. USA. 271 p.
- Kempster, A. J., A. Cuthbertson, and G. Harrington. 1982. Carcass evaluation in livestock breeding, production and marketing. Granada Pub. Ltd. Great Britain. pp: 3-55.
- Kempt, C. M., P. L. Senky, R. G. Bardsley, P. J. Buttery, and T. Parr. 2010. Tenderness – An enzymatic view. Review. Meat Science 84: 248-256.
- Lawrence, T. E., J. D. Whatley, T. H. Montgomery, L. J. Perino, and M. E. Dikeman. 2001. Influence of dental carcass maturity classification on carcass traits and tenderness of *Longissimus* steaks from commercially fed cattle. Journal of Animal Science 79: 2092-2096.
- Lawrie, R. A., and D. A. Ledward. 2006. Lawrie's Meat Science. 7a. (ed.). CRC Press LLC, Boca Raton, U.S.A. 442 p.
- Lu, W., and J. Tan. 2004. Analysis of image-based measurements and USDA characteristics as predictors of beef lean yield. Meat Science 66: 483-491.
- Luengo, J., y H. Venegas. 1988. Aplicación práctica del índice de carnosidad bruta de Yeates en novillos doble propósito (Chile). Avances en Producción Animal 13(1-2): 129-139.
- Maggioni, D., J. de A. Marques, P. P. Rotta, D. Perotto, T. Ducatti, J. V. Visentainer, and I. N. Prado. 2010. Animal performance and meat quality of crossbred young bulls. Livestock Science 127: 176-182

- May, S. G., H. G. Dolezal, D. R. Gill, F. K. Ray, and D. S. Buchanan. 1992. Effects of days in feed, carcass grade traits and subcutaneous fat removal on *postmortem* muscle characteristics and beef palatability. *Journal of Animal Science* 70: 444-453.
- McAfee, A. J., E. M. McSorley, G. J. CusKelly, B. W. Moss, J. M. W. Wallace, M. P. Bonham, and A. M. Fearon. 2010. Red meat consumption: An overview of the risks and benefits. *Meat Science* 84: 1-13.
- Méndez, R. D., C. O. Meza, J. M. Berruecos, P. Garcés, E.J. Delgado, and M. S. Rubio. 2009. A survey of beef carcass quality and quantity attributes in Mexico. *Journal of Animal Science* 87: 3782-3790.
- Miller, M. F., M. A. Carr, C. B. Ramsey, K. L. Crockett, and L.C. Hoover. 2001. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. *Journal of Animal Science* 79: 3062-3068.
- MMARM (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino). 2008. La Clasificación de Canales de Vacuno Pesado. Base Legislativa y Manual Gráfico. ARTEGRAF, S. A. Madrid, España. 51 p.
- Nuernberg, K., D. Dannenberger, G. Nuernberg, K. Ender, J. Voigt, N. D. Scollan, J. D. Wood, G. R. Nute, and R. I. Richradson. 2005. Effect of a grass-based and a concentrated feeding system on meat quality characteristic and fatty acid composition of *Longissimus* muscle in different cattle breeds. *Livestock Production Science* 94: 137-147.
- Núñez G, F. A., J. A. García M., J. Hernández B., y J. A. Jiménez C. 2005. Caracterización de canales de ganado bovino en los Valles Centrales de Oaxaca. *Técnica Pecuaria México* 43(2): 219-228.
- Orellana, C., F. Peña, A. García, J. Pera, J. Martos, V. Domenech, and R. Acero. 2009. Carcass characteristics, fatty acid composition, and meat quality of Criollo Argentino and Braford steers raised on forage in a semi-tropical region of Argentina. *Meat Science* 81: 57-64.
- Owens, F. N., and B. A. Gardner. 2000. A review of the impact of feedlot management and nutrition on carcass measurements of feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 77: 1-18.
- Park, B. Y., I. H. Hwang, S. H. Cho, Y. M. Yoo, J. H. Kim, J. M. Lee, R. Polkinghorne, and J. M. Thompson. 2008. The effect of carcass suspension and cooking method on the palatability of three muscles as assessed by Korean and Australian consumers. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 1396-1404.
- Polkinghorne, R., J. M. Thompson, R. Watson, A. Gee, and M. Porter. 2008. Evolution of the meat standards of Australia (MSA) beef grading system. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 1351-1359.
- Polkinhorne, R. J., and J. M. Thompson. 2010. Meat standards and grading. A world view: Review. *Meat Science* 86: 227-235.

- Ponce A, E. 2006. Cambios bioquímicos pre y postmortem. *In: Ciencia y Tecnología de Carnes*. Hui, Y.H., I. Guerrero L., y M. R. Rosmini. (eds.). LIMUSA. México. pp: 111-135.
- Porter, V. 2002. *Mason's World Dictionary of Livestock Breeds, Types and Varieties*. 5a. ed. CABI Publishing. Wallingford, U.K. 380 p.
- Prado, I. N., R. N. Prado, P. P. Rotta, J. V. Visantainer, J. L. Moletta, and D. Perotto. 2008. Carcass characteristics and chemical composition of the *Longissimus* muscle of crossbreed bulls (*Bos Taurus indicus* vs *Bos Taurus Taurus*) finished in feedlot. *Journal of Animal and Feed Sciences* 17: 295-306.
- Prado, J. M., I. N. Prado, J. V. Visantainer, P. P. Rotta, D. Perotto, J. L. Moletta, I. M. Prado, and T. Ducatti. 2009. The effect of breed on the chemical composition and fatty acid profile of the *Longissimus dorsi* muscle of Brazilian beef cattle. *Journal of Animal and Feed Sciences* 18: 231-240.
- Priolo, A., D. Micol, and J. Agabriel. 2001. Effects of grass system on ruminant, meat color and flavor. A review. *Animal Research* 50: 185-200.
- Realini, C. E., S. K. Duckett, G. W. Brito, M. Dalla Rizza, and D. Mattos. 2004. Effect of pasture vs concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. *Meat Science* 66: 567-577.
- Rojo-Rubio, R., J. F. Vázquez-Armijo, P. Pérez-Hernández, G. D. Mendoza-Martínez, A. Z. M. Salem, B. Albarrán-Portillo, A. Gonzáles-Reyna, J. Hernández-Martínez, S. Rebollar-Rebollar, D. Cardoso-Jiménez, E. J. Dorantes-Coronado, and J. G. Gutiérrez-Cedillo. 2009. Dual purpose cattle production in Mexico. *Tropical Animal Health Production* 41: 715-721.
- Sami, A. S., C. Agustini, and F. J. Schwarz. 2004. Effects of feeding intensity and time on feed on performance, carcass characteristics and meat quality of Simmental bulls. *Meat Science* 67: 195-201.
- Sañudo, C., A. Sánchez, and M. Alfonso. 1998. Small ruminant production systems and factors affecting lamb meat quality. *Meat Science* 49(1): 29-64.
- Sañudo, C., E. S. Macie, J. L. Olleta, M. Villarroel, B. Panea, and P. Albertí. 2004. The effects of slaughter weight breed type and ageing time on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Science* 66: 925-932.
- Sañudo, C., y M. M. Campo. 1997. Calidad de la canal por tipos. *In: "Vacuno de Carne: Aspectos Claves"*. Buxadé C. (ed.). Mundi-Prensa. Madrid. pp: 465-492.
- Sayas B, E., y J. Fernández L. 2006. Ultraestructura e histología. *In: Ciencia y Tecnología de Carnes*. Hui, Y.H., I. Guerrero L., y M. R. Rosmini. (eds.). LIMUSA. México. pp: 89-110.

- Scollan, N., J. Hocquette, K. Nuernberg, D. Dannenberger, I. Richardson, and A. Moloney. 2006. Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science* 74(1): 17-33.
- Smith, G. C. 2001. Global sources of and markets for beef (and perhaps, for buffalo meat); factors affecting palatability of beef and of meat from the water buffalo. *In: Proceeding VI World Buffalo Congress. The buffalo. An alternative for Animal Agriculture in the Third Millennium.* Huerta-Leidenz, N., J. Vergara-López, and A. Rodas-Gonzalez (eds.). Astro data S.A. Maracaibo. 1 (Lectures): 172-201.
- Smith, G. C., J. D. Tatum, and K. E. Belk. 2008. International perspective: Characterization of United States Department of Agriculture and Meat Standards Australia system for assessing beef quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 1465-1480.
- Smith, G. C., J. D. Tatum, K. E. Belk, and J. A. Scanga. 2005. Beef carcass quality and yield grading in the USA, Canada and Australia. 2a Jornada Técnica de la Fundación ANETIF. Mexico City, 13-14 june. pp: 1-8.
- Steiner, R., A. M. Wyle, D. J. Vote, K. E. Belk, J. A. Scanga, J. W. Wise, J. D. Tatum, and G. C. Smith. 2003. Real-time augmentation of USDA yield grade application to beef carcasses using video image analysis. *Journal of Animal Science* 81: 2239-2246.
- Torrescano U, G. R., A. Sánchez E., M. G. Vásquez P., R. Paz P., y D. A. Pardo G. 2010. Caracterización de canales y carne de bovino de animales engordados en la zona centro de Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 1(2): 157-168.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1997. United States Standards for Grades of Carcass Beef. Agricultural Marketing Service, Livestock Seed Division. Washington, USA. 17 p.
- Van Koevinger, M. T., D. R. Gill, F. N. Owens, H. G. Dolezal, and C. A. Strasia. 1995. Effect of time on feed on performance of feedlot steers, carcass characteristics, and tenderness and composition of *Longissimus* muscles. *Journal of Animal Science* 73: 21-28.
- Vote, D. J., M. B. Bowling, B. C. N. Cunha, K. E. Belk, J. D. Tatum, F. Montossi, and G. C. Smith. 2009. Video image analysis as a potential grading system for Uruguay beef carcasses. *Journal of Animal Science* 87: 2376-2390.
- Warriss, P. D. 2000. *Meat Science: An Introductory Text.* CABI Publishing. Wallingford, U.K. 310 p.
- Watson, R. 2008. Meta-analysis of the published effects of HGP use on beef palatability in steers as measured by objective and sensory testing. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 48: 1425-1433.

- Wood, J., R. Richardson, G. Nute, A. Fisher, M. Campo, E. Kasapidou, P. Sheard, and M. Enser. 2003. Effects of fatty acids on meat quality: A review. *Meat Science* 66: 21-32.
- Wulf, M. D. 1999. Techniques to identify palatable beef carcasses: Marb tenderness classification, SDSU colorimeter and near-infrared spectrophotometry (NIR) systems. *In: the range beef cow symposium XVI.* pp: 24-30.
- Yeates, N. 1967. *Avances en Zootecnia*. Acribia. Zaragoza, España. 270 p.

3. CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y DE LA CARNE DE TORETES DE DIFERENTE GENOTIPO FINALIZADOS EN CORRAL

3.1 Resumen

Con el objetivo de evaluar el efecto de tipo de raza en el promedio de ganancia diaria de peso (GDP) y características de la canal y de la carne de toros finalizados en corral, 90 toretes [Cebú (C) n=5; Suizo Europeo (SE) n=8; Holstein (H) n=9; Cebú × Suizo Americano (C × SA) n=19; Cebú × Suizo Europeo (C × SE) n=28; y Cebú × Holstein (C × H) n=21] fueron alimentados *ad libitum* con una dieta con relación forraje:concentrado 20:80, por un periodo de 17 a 147 d. El criterio de sacrificio fue el grado de terminación y peso al mercado (500 kg). Los toros cruzados presentaron mayor ($p<0.05$) GDP, peso vivo final, madurez fisiológica, mientras el grado de rendimiento USDA, y grasa en riñón pelvis y corazón fue menor ($p<0.05$) que bovinos H y SE. Existió diferencia ($p<0.05$) de H respecto a otros genotipos en peso de canal caliente (29%< en H), conformación (R vs U-), marmoleo (Ligero vs Trazas) y grado de calidad USDA (Select vs Standard). El área del ojo de la costilla difirió ($p=0.015$) entre razas (SE > cruzas = C > H). La fuerza de corte (Warner-Braztler) fue mayor ($p<0.05$) en C con 1.6 kg respecto a otras razas. No obstante, todas las estirpes presentaron carne dura (> 4.9 kg). Toretos C, SE y C × H tuvieron mayores pérdidas por cocción que H, C × SA y C × SE. No hubo efecto ($p>0.05$) de raza en porcentaje de rendimiento, grosor de grasa dorsal, engrasamiento, composición química y pH de la carne. Los resultados indicaron que el ganado cruzado tiene ventajas en GDP, peso final, conformación y menor acumulación de grasa (RPC). Sin embargo, en los mercados donde el consumidor valore la calidad de la carne (marmoleo, madurez, etc.), el ganado Holstein tendrá mayor potencial.

Palabras clave: Bovinos carne, razas, finalización, calidad de la canal y de la carne.

CARCASS AND BEEF CHARACTERISTICS OF BULLOCKS OF DIFFERENT GENOTYPE FINISHED UNDER FEEDLOT CONDITIONS

3.2 Abstract

In order to evaluate the effect of breed type on average daily gain (ADG) and carcass and beef characteristics of bullocks finished under feedlot conditions, 90 bullocks [Zebu (Z) n=5; European Brown Swiss (EBS) n=8; Holstein (H) n=9; Zebu × American Brown Swiss (Z × ABS) n=19; Zebu × European Brown Swiss (Z × EBS) n=28; and Zebu × Holstein (Z × H) n=21] were fed ad libitum with a 20:80 diet forage:concentrate, for a 17 to 147 d period. The slaughter criteria encompassed the degree of finishing and the final liveweight to market (500 kg). The crossbred bullocks showed higher ($p<0.05$) ADG, final liveweight, and physiological maturity, while the USDA yield grade and kidney, pelvic and heart fat were lower ($p<0.05$) than the H and ABS. There were differences ($p<0.05$) between H and the other genotypes in hot carcass weight (29% < in H), conformation (R vs U-), marbling (Slight vs Traces) and USDA quality grade (Select vs Standard). The ribeye area was different ($p=0.015$) among breeds (EBS > crossbreeds = Z > H). The shear force (Warner-Bratzler) was higher ($p<0.05$) in Z with 1.6 kg in respect to other breeds. Nevertheless, all genotypes showed tough meat (> 4.9 kg). Cattle Z, EBS and Z × H had larger ($p<0.05$) cooking losses than H, Z × EBS and Z × EBS. There was no effect ($p>0.05$) of breed on dressing percentage, backfat depth, degree of fatness, chemical composition and pH of beef. The results indicate that crossbred cattle have advantages in AGD, final liveweight, conformation and lower fat accumulation (KPH). However, in markets where beef quality (marbling, maturity, etc.) is taken into account by the consumer, Holstein cattle will have better potential.

Keywords: Beef cattle, breeds, finishing, carcass and meat quality.

Master of Science Thesis, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Oscar Vicente Vazquez Mendoza.

Advisor: Gilberto Aranda Osorio, Ph. D.

3.3 Introducción

En México se han identificado tres principales zonas agroclimáticas, localizadas en el norte, centro y sur del país; las condiciones climáticas de cada región tienen una gran influencia en la agricultura y también determinan el tipo de ganado y sistema de producción en el que pueden ser explotados. En este contexto, la producción de ganado bovino para carne, se distribuye: 20% norte, 35.4% centro y 44.6% sur; con la características de que una porción significativa de lo producido en la región norte se exporta en pie a E.E.U.U., de manera que lo producido en las regiones centro y sur se destina a cubrir la demanda nacional (Gallardo *et al.*, 2006).

La calidad de la carne ha sido definida de muchas formas y varía de acuerdo al usuario final (empacador, detallista o consumidor), aunque actualmente puede considerarse como la suma de todos los factores de calidad, en términos de propiedades sensoriales, nutritivas, higiénicas, toxicológicas, tecnológicas y sociales; siendo de mayor relevancia, las nutritivas y sensoriales (Hocquette *et al.*, 2007). Bajo estas condiciones, en el mundo existen mercados con diferentes exigencias de calidad. Por un lado, se demandan canales bien conformadas, con alto porcentaje de carne magra y con cierto grado de engrasamiento (Albertí *et al.*, 2005). Mientras que en otros, lo importante es la madurez fisiológica en la canal y marmoleo, para estimar el grado de calidad, mismo que está estrechamente relacionado con la suavidad de la carne (Polkinghorne y Thompson, 2010).

Los factores de producción y manejo tales como raza, edad, sexo, alimentación y prácticas previas al sacrificio, pueden determinar el potencial de calidad de la canal y de la carne (Sañudo *et al.*, 2004). En el caso específico del genotipo, trabajos de Prado *et al.* (2008), Albertí *et al.* (2008), Maggioni *et al.* (2010) han reportado diferencias en atributos de la canal (*e.g.* conformación, grasa dorsal, marmoleo) y carne (*e.g.* proteína y grasa) entre grupos raciales y sus cruza.

En el caso de México sólo algunas investigaciones (Méndez *et al.*, 2009; Torrescano *et al.*, 2010) han descrito las características de la canal y carne de bovinos sacrificados en las distintas zonas de geográficas del país. Sin embargo, son limitadas las investigaciones (Núñez *et al.*, 2005) que han estudiado el efecto de grupo racial sobre las características de la canal y de la carne; no habiéndose reportado información nacional, en la que los animales se hayan finalizado bajo el mismo régimen de alimentación y manejo. Por lo que el objetivo de este estudio fue evaluar la influencia de raza (Cebú, Cebú × Holstein, Cebú × Suizo Americano, Cebú × Suizo Europeo, Holstein y Suizo Europeo) en las características de la canal, composición química y fuerza de corte de la carne, de toretes finalizados en corral en la región templada centro de México.

3.4 Materiales y métodos

3.4.1 Manejo de animales y muestreo de carne

El estudio fue llevado a cabo en la Granja Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada en Texcoco Estado de México, México. La Granja se localiza en los 19° 29' latitud norte y 98° 53' longitud oeste, a una altitud de 2,250 msnm. El clima de la zona es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw), la precipitación promedio anual es de 644.8 mm y la temperatura media anual varía entre 12 y 18 °C (García, 1983).

Se utilizaron 90 toretes provenientes de las regiones templada y tropical de México teniendo la siguiente distribución racial: Cebú (C) n=5 (peso inicial de 385.6 ± 24.7 kg); Suizo Europeo (SE) n=8 (365.1 ± 112.4 kg); Holstein (H) n=9 (401.7 ± 63.4 kg); Cebú × Suizo Americano (C × SA) n=19 (399.6 ± 49.9 kg); Cebú × Suizo Europeo (C × SE) n=28 (423.4 ± 46.4 kg); y Cebú × Holstein (C × H) n=21 (428.7 ± 32.6 kg). Los toretes fueron sometidos a un periodo de adaptación de 10 días; a la llegada a corral se alimentaron con paja de avena *ad libitum*, posteriormente se fue adicionando 1 kg día⁻¹ animal⁻¹ de dieta de finalización, hasta los 10 días. A los tres días de llegada,

los animales se implantaron con acetato de trembolona y benzoato de estradiol (Synovex® Plus Fort Dodge Animal Health), se vacunaron contra *Pasterella* y *Clostridium* (Trinagle Bac 8 V® Fort Dodge Animal Health), y para complejo respiratorio bovino (Pyramid 4+Presponse SQ®, Fort Dodge Animal Health). Se desparasitaron con ivermectina (Ivomect® F, Merial).

La dieta de finalización fue formulada de acuerdo al NRC (2000) y consistió de: rastrojo de maíz (20%), desecho de panadería (24%), maíz molido (43%), pasta de soya (8%), grasa de sobrepaso (1%; Enervit®, Zuavit), premezcla de minerales (1.5%), buffer (0.5%; 18.2% Na, 8.4% Mg) y clorhidrato de zilpaterol (Zilmax®, Intevet) a una concentración de 6.7 mg kg⁻¹. La composición nutricional estimada fue: 13.2% de proteína cruda; 1.9 y 1.29 Mcal kg⁻¹ de MS de energía neta para mantenimiento y ganancia, respetivamente; 0.7% de calcio y 0.3% de fósforo. Todos los animales fueron finalizados en un solo corral, bajo condición comercial y sacrificados a diferentes tiempos de finalización (17 a 147 días) de acuerdo a su grado de terminación. Para el cálculo de ganancia diaria promedio de peso (GDP), los animales fueron pesados al inicio y al final del periodo de finalización. El peso vivo final (PVF) se obtuvo después de 12 h de ayuno.

Los toretes fueron sacrificados en un rastro frigorífico ubicado a 15 km del módulo experimental, siguiendo las prácticas estándar de la industria cárnica mexicana (NOM-033-ZOO-1995), después del retiro de piel, evisceración y lavado, las canales fueron identificadas. De la media canal izquierda a nivel de 11ª y 13ª costilla, se extrajo una muestra del ojo de la costilla, la cual se transportó en termo y se puso en refrigeración a 4 °C por 24 h para su posterior análisis.

3.4.2 Características de la canal

Peso de la canal caliente (PCC)

Se registró en el rastro antes de que se rasurara la canal.

Conformación y engrasamiento (ENG)

La medición se hizo a nivel de rastro, después del lavado de las canales; para la calificación de conformación se emplearon estándares fotográficos de acuerdo al sistema SEUROP (S=superior, E=excelente, U=muy buena, R=buena, O=menos buena, P=mediocre) con 18 calificaciones (S+, S, S-; E+, E, E-; U+, U, U-; R+, R, R-; O+, O, O-; P+, P, P-). Para el engrasamiento se usó una escala de cinco grados (1=no grasa; 2=poco cubierto; 3=cubierto; 4=graso y 5= muy graso) (EC 103/2006).

Área del ojo de la costilla (AOC) y grosor de grasa dorsal (GGD)

Se hizo un corte longitudinal entre la 12^a y 13^a costilla, donde se expuso el ojo de la costilla, y se midió su área con una planilla cuadrículada calibrada en pulgadas cuadradas, posteriormente los datos se transformaron a centímetros cuadrados. El grosor de grasa se midió a 3/4 del largo del ojo de la costilla, perpendicular a la cara externa de la canal, con un Vernier (PRETUL®, Ver-6p, México) y se expresó en milímetros (USDA, 1997).

Porcentaje de grasa en riñón, pelvis y corazón (RPC)

Se midió de manera visual la acumulación de grasa en la región pélvica y torácica en la canal y se expresó como un porcentaje del peso de la canal caliente (USDA, 1997).

Madurez fisiológica

Se estimó por el grado de osificación de las vértebras sacras, dorsales y lumbares utilizando la siguiente escala, [A¹⁰⁰⁻¹⁹⁹ (9 a 30 meses), B²⁰⁰⁻²⁹⁹ (30 a 42 meses), C³⁰⁰⁻³⁹⁹ (42 a 72 meses), D⁴⁰⁰⁻⁴⁹⁹ (72 a 96 meses), E⁵⁰⁰⁻⁵⁹⁹ (>96 meses)] (USDA, 1997).

Marmoleo

El marmoleo se calificó por comparación con estándares fotográficos, de acuerdo al sistema USDA (1997), con la siguiente escala (100= Trazas; 200= Ligero; 300= Pequeño; 400= Modesto; 500= Moderado).

Porcentaje de rendimiento (PR)

El porcentaje de rendimiento se determinó dividiendo el peso de la canal caliente entre el peso vivo final, multiplicado por cien.

Grado de rendimiento (GR)

Se calculó de acuerdo a la fórmula $[GR = 2.5 + (2.5 \times GGD \text{ pulgadas}) + (0.2 \times RPC\%) + (0.0038 \times PPC \text{ libras}) - (0.32 \times AOC \text{ pulgadas}^2)]$ del sistema de clasificación USDA (1997), utilizando las variables peso de la canal caliente, área del ojo de la costilla, grosor de grasa dorsal y porcentaje de grasa en riñón, pelvis y corazón.

Grado de calidad (GC)

Se calculó de acuerdo al sistema de clasificación USDA (1997), mediante la relación entre madurez fisiológica y marmoleo, se empleó la siguiente escala (1=Standard; 2=Select; 3= Choice).

3.4.3 Características de la carne

Medición de pH a las 24 h

Se obtuvo una muestra de 5 cm de ancho del músculo *Longissimus dorsi*, de la media canal izquierda, de entre 11ª y 13ª costilla, la cual fue mantenida a 4 °C por 24 h, posteriormente se midió el pH, empleando un medidor de pH portátil con compensación de temperatura automática (HANNA® instruments, HI 99163, EU). Después la muestra fue dividida en dos porciones iguales, identificada y almacenada a -20 °C para sus posteriores análisis.

Composición química

Muestras representativas del músculo *Longissimus dorsi* fueron homogenizadas en un molino para café (BRAUN®, México), posteriormente se les determinó humedad (H; 934.01), cenizas (CEN; 942.05), proteína cruda (PC; 928.08) y grasa (G; 991.36) de acuerdo a los métodos del AOAC (2000). La humedad (g de agua/100 g de muestra) fue determinada por secado de 5 g de muestra a 100 °C hasta peso constante. La grasa (g de grasa/100 g de muestra) fue calculada por la pérdida de peso de la muestra después de una extracción continua de una hora con hexano, utilizando el equipo Soxtec (Tecator®, Soxtec System HT 1043, Suecia). La proteína (g de proteína/100 g de muestra) fue analizada de acuerdo al método de Kjeldahl. El porcentaje de proteína se determinó multiplicando el porcentaje de nitrógeno por 6.25.

Resistencia al corte y pérdidas por cocción

La resistencia al corte por Warner-Bratzler (RCWB) y porcentaje de pérdidas por cocción (PPC) se determinaron de acuerdo lo establecido por AMSA (1995). Para ello filetes de 2.5 cm de grosor, de un día de maduración, fueron asados en una parrilla (Toastermaster® cool-edge-grill, EE.UU.) hasta que alcanzaron una temperatura interna de 70 °C, la cual fue monitoreada con un termómetro (Brannan®, UK), cuando se alcanzó dicha temperatura, los filetes fueron removidos de la parrilla y se les permitió enfriar a temperatura ambiente (20 a 25 °C). Para realizar las mediciones de RCWB, seis trozos de 2.5 cm de largo y 1.27 cm de diámetro fueron removidos de cada filete, paralelos al sentido de las fibras musculares, empleando un sacabocados. Cada trozo fue cortado perpendicular al sentido de las fibras musculares usando un texturometro (TAXT Express Standard, Stable Micro Systems Surrey, UK) equipado con cizalla Warner Bratzler, la fuerza de corte se reportó en kg. Para el cálculo del porcentaje de pérdidas por cocción, cada filete fue pesado antes y después de dicho proceso $[(\text{peso de carne cruda} - \text{peso de carne cocida}) / \text{peso de carne cruda} \times 100]$.

3.4.4 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados usando el procedimiento GLM de SAS (2004). Para las variables categóricas GC y GR, los datos fueron transformados a rangos, mediante el procedimiento RANK de SAS (2004). Se consideró a la raza como único efecto principal y días de finalización, peso de la canal caliente, raza $\times$ días de finalización y peso inicial, como covariables. Las covariables no significativas ($p > 0.05$) fueron removidas del modelo. Cuando existieron diferencias, las medias de mínimos cuadrados fueron comparadas empleando la opción PDIFF de SAS (2004) $\alpha = 0.05$. Los modelos estadísticos después de remover covariables no significativas fueron los siguientes:

Para variables PVF y PCC:

$$Y_{ij} = \mu + \text{raza}_i + b_1(\text{DF} - \mu_{\text{DF}}) + b_2(\text{R} \times \text{DF} - \mu_{\text{R} \times \text{DF}}) + b_3(\text{PI} - \mu_{\text{PI}}) + e_{ij}$$

Para el resto de variables:

$$Y_{ij} = \mu + \text{raza}_i + b_1(\text{DF} - \mu_{\text{DF}}) + b_4(\text{PCC} - \mu_{\text{PCC}}) + e_{ij}$$

Dónde: Y_{ij} son los valores que toman cada una de las variables respuesta evaluadas; μ es la media general; raza_i es el efecto fijo de la i -ésima raza (C, C $\times$ H, C $\times$ SA, C $\times$ SE, H, SE); b_1 , b_2 , b_3 y b_4 son respectivamente los coeficientes de regresión lineal asociados con días de finalización (DF), interacción raza (R) por días de finalización (R $\times$ DF), peso inicial (PI) y peso de canal caliente (PCC) respectivamente; μ_{DF} , $\mu_{\text{R} \times \text{DF}}$, μ_{PI} , μ_{PCC} son las medias de las covariables DF, R $\times$ DF, PI y PCC respectivamente; e_{ij} es el residual de los modelos $\sim NI(0, \sigma_e^2)$.

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Comportamiento y características de la canal

Los efectos lineales de días de finalización, su interacción con raza, y peso inicial, fueron significativos ($p < 0.05$) para las variable PVF y PCC. De manera

conjunta DF y PCC influyeron ($p < 0.05$) en el GGD; aunque de manera individual, DF afectó ($p < 0.05$) a marmoleo, CEN y pH, mientras que PCC influyó ($p < 0.05$) en el PR, AOC y grasa en RPC. Los efectos encontrados hacen de estos componentes, dos factores a considerar cuando se estudian características de la canal y carne en bovinos. En general todas las variables fueron incrementadas linealmente conforme aumentaron los DF y PCC. La relevancia de estos factores en las características de la canal, ya ha sido bien detallada en estudios previos (Steen y Kilpatrick, 1995; Owens y Gardner, 2000; Sami *et al.*, 2004).

Las medias de mínimos cuadrados para ganancia diaria promedio de peso y las características de la canal de los toretes evaluados se muestran en el Cuadro 2. La raza tiene efecto en la GDP, de manera que, toretes C $\times$ SA superaron ($p < 0.05$) con 300 g y 400 g de GDP a SE y H respectivamente. Sin embargo, no hubo diferencia con C, C $\times$ H, y C $\times$ SE. Las ganancias diarias de peso de este experimento coinciden con lo reportado en la literatura para bovinos SE (Campo *et al.*, 2000), H (Keane y Drennan, 2008) C y sus cruzas con *Bos taurus* (Schutt *et al.*, 2009b). La semejanza en GDP entre animales cruzados ha sido reportada por Rodriguez-Voigt *et al.* (1997) y Maggioni *et al.* (2010).

Las diferencias existentes entre razas en muchas características bioeconómicas, son resultado de los diferentes objetivos (*i.e.* carne o leche) productivos para los que han sido seleccionadas (Crockett *et al.*, 1979). Aunque el comportamiento superior (GDP) de cruzas, respecto a bovinos puros, puede ser consecuencia de la heterosis y complementariedad derivada de los cruzamientos (Crouse *et al.*, 1989; Schutt *et al.*, 2009b). Pese a lo anterior, las variaciones en ganancia de peso también pueden estar influenciadas por diferencia de edad, tamaño, nutrición previa a la entrada a corral (Owens *et al.*, 1993), consumo y digestión de alimento, metabolismo, y termorregulación (Schutt *et al.*, 2009b), en este sentido, éstos últimos autores mencionaron que el ganado *Bos indicus*, tiene una rápida tasa de

fermentación, corto tiempo de retención del alimento en tracto digestivo, mayor digestibilidad del nitrógeno y alta eficiencia de uso de energía respecto a *Bos taurus*; por lo que la similitud entre C y las cruzas en GDP puede ser atribuida a éstas cualidades del ganado cebuino.

El peso vivo final fue diferente ($p=0.017$) entre genotipos, en donde toretes C $\times$ SE y C $\times$ SA pesaron 12 kg más ($p<0.05$) que C $\times$ H, que a la vez fueron similares ($p>0.05$) a SE y C; pero éstos últimos superaron ($p<0.05$) a H con 55 kg en promedio. Rodríguez-Voigt *et al.* (1997) también encontraron que las cruzas de Cebú con Pardo Suizo, tienen mayor peso final que las cruzas con Holstein (48 kg), y raza pura Criollo Rio Limón (58 kg). El menor peso vivo final de H respecto a razas especializadas en carne ha sido puntualizado por Clarke *et al.* (2009).

Usualmente el peso vivo final representa la combinación del peso inicial, GDP y días en corral (Short *et al.*, 1999; Owens y Gardner., 2000); en este estudio fue evidente que la menor GDP que mostró la raza H a lo largo del periodo de finalización es la causa de su menor PVF.

El peso de la canal caliente fue en promedio 29% más ligera ($p<0.05$) en H en comparación al resto de los animales; estos resultados coinciden con lo reportado por Clarke *et al.* (2009) quienes encontraron que toretes H tienen menor PCC que bovinos especializados en carne (248 vs 353 kg). No hay diferencias entre Cebú y los animales cruzados. Nuñez *et al.* (2005) tampoco encontraron diferencias en PCC en toros Cebú y sus cruzas con Holstein y Pardo Suizo. El menor PCC de H es reflejo del bajo PVF que mostró esta raza.

Cuadro 2. Medias^Z de mínimos cuadrados ($\pm$ error estándar) para ganancia diaria promedio y características de la canal de los toretes evaluados.

Variables	Raza						P
	C	C × H	C × SA	C × SE	H	SE	
N	5	21	19	28	9	8	
Ganancia diaria promedio (kg día ⁻¹)	1.6 $\pm$ 0.1 ^{ab}	1.7 $\pm$ 0.1 ^a	1.8 $\pm$ 0.1 ^a	1.7 $\pm$ 0.1 ^a	1.4 $\pm$ 0.1 ^b	1.5 $\pm$ 0.1 ^b	0.0005
Peso o final (kg)	495.0 $\pm$ 7.5 ^{ab}	490.9 $\pm$ 3.6 ^b	506.4 $\pm$ 3.3 ^a	499.9 $\pm$ 2.8 ^a	435.6 $\pm$ 12.8 ^c	486.0 $\pm$ 6.3 ^b	0.0172
Peso de la canal caliente (kg)	299.2 $\pm$ 10.2 ^a	283.1 $\pm$ 4.8 ^a	295.6 $\pm$ 4.5 ^a	292.4 $\pm$ 3.7 ^a	227.8 $\pm$ 17.6 ^b	300.3 $\pm$ 8.6 ^a	0.0089
Rendimiento (%)	59.2 $\pm$ 1.5	58.0 $\pm$ 0.6	58.1 $\pm$ 0.6	58.0 $\pm$ 0.5	59.0 $\pm$ 0.1	60.4 $\pm$ 1.0	0.3533
Grosor de grasa dorsal (mm)	5.2 $\pm$ 0.7	4.8 $\pm$ 0.3	4.6 $\pm$ 0.4	5.2 $\pm$ 0.3	6.1 $\pm$ 0.5	4.1 $\pm$ 0.6	0.1302
Área del ojo de la costilla (cm ²)	81.1 $\pm$ 2.8 ^{bc}	83.6 $\pm$ 1.4 ^{ab}	81.5 $\pm$ 1.5 ^{bc}	82.4 $\pm$ 1.2 ^b	77.2 $\pm$ 2.1 ^c	89.1 $\pm$ 2.4 ^a	0.0155
Madurez fisiológica ^Y	220.0 $\pm$ 13.6 ^{ab}	224.3 $\pm$ 6.6 ^a	221.0 $\pm$ 6.9 ^{ab}	203.4 $\pm$ 5.7 ^b	184.4 $\pm$ 10.1 ^c	180.6 $\pm$ 10.7 ^c	0.0010
Grasa en riñón, pelvis y corazón (%) ^X	2.3 $\pm$ 0.2 ^{ab}	2.1 $\pm$ 0.1 ^b	1.8 $\pm$ 0.1 ^b	2.0 $\pm$ 0.1 ^b	2.7 $\pm$ 0.1 ^a	2.1 $\pm$ 0.2 ^a	0.0125
Marmoleo ^W	137.1 $\pm$ 26.1 ^{bc}	186.9 $\pm$ 13.7 ^b	171.2 $\pm$ 13.7 ^{bc}	151.9 $\pm$ 11.1 ^c	238.1 $\pm$ 19.9 ^a	148.6 $\pm$ 22.7 ^{bc}	0.0039
Conformación SEUROP ^V	10.0 $\pm$ 0.7 ^a	9.2 $\pm$ 0.4 ^a	10.0 $\pm$ 0.4 ^a	10.0 $\pm$ 0.3 ^a	7.9 $\pm$ 0.6 ^b	10.0 $\pm$ 0.6 ^a	0.0166
Engrasamiento SEUROP ^U	2.2 $\pm$ 0.2	2.2 $\pm$ 0.1	2.3 $\pm$ 0.1	2.3 $\pm$ 0.1	2.3 $\pm$ 0.2	2.3 $\pm$ 0.2	0.9551

^ZMedias en la misma fila sin letra^{abc} en común son diferentes ($p < 0.05$).

^YSistema USDA de clasificación de canales bovinas (USDA, 1997): A¹⁰⁰⁻¹⁹⁹ (9-30 meses), B²⁰⁰⁻²⁹⁹ (30-42 meses), C³⁰⁰⁻³⁹⁹ (42-72 meses), D⁴⁰⁰⁻⁴⁹⁹ (72-96 meses), E⁵⁰⁰⁻⁵⁹⁹ (>96 meses).

^XExpresado como porcentaje del peso de la canal caliente.

^WSistema USDA de clasificación de canales bovinas (USDA, 1997): 100= Trazas, 200=Ligero, 300= Pequeño, 400=Modesto, 500=Moderado.

^VSistema SEUROP (EC 103/2006), escala de 1 a 18, con tres subniveles por letra (i.e. 1=mediocre P- y 18=superior S+).

^USistema SEUROP (EC 103/2006), escala de 1 a 5 (1=no graso, 2=poco cubierto, 3=cubierto, 4=graso y 5= muy graso).

C=Cebú; C × H=Cebú × Holstein; C × SA= Cebú × Suizo Americano; C × SE= Cebú × Suizo Europeo; H= Holstein; SE= Suizo Europeo.

El grupo genético no afectó ($p=0.143$) PR. Otros estudios tampoco encontraron diferencia entre toros Cebú y sus cruzas con toros de biotipo europeo (Maggioni *et al.*, 2010) o entre cruzas (Rodríguez-Voigt *et al.*, 1997). Sin embargo, Moreira *et al.* (2003) reportaron diferencias entre toros Nelore y sus cruzas con genotipos europeos (57.23% vs 53.4%) finalizados en pastoreo. Albertí *et al.* (2008) hallaron que toros H tienen menor PR (55.7% vs 59.6%) que bovinos especializados en carne. No hubo diferencia entre genotipos para GGD ($p=0.218$) y ENG ($p=0.955$). Estos resultados coinciden con Rodríguez-Voigt *et al.* (1997), pero difieren de Maggioni *et al.* (2010) quienes reportaron a Cebú con menor GGD respecto a cruzas (1.9 mm vs 3.4 mm).

El porcentaje de rendimiento aumenta con la madurez, consecuencia de un incremento en la deposición de grasa, y es mayor en animales alimentados con dietas altas en grano, que con forrajes (Owens *et al.*, 1993). Aunque en una reciente revisión se encontró que el porcentaje de rendimiento está correlacionado en mayor magnitud con el AOC que con la grasa (Owens y Gardner, 2000). Con base en lo anterior, se puede pensar que el efecto de raza sobre PR, GGD y ENG pudo haber sido enmascarado por el sistema de finalización, en especial por el uso de implante anabólico (acetato de trembolona y benzoato de estradiol) y la inclusión de β -agonista (clorhidrato de zilpaterol) en la dieta, los cuales han sido bien definidos por disminuir la deposición de grasa interna y externa en la canal, y promover un desarrollo muscular elevado (Dikeman, 2007).

Con relación al AOC, ésta difirió ($p=0.015$) entre grupos genéticos, con toretes SE con la mayor área (89.1 cm²), animales Cebú y cruzados con valores intermedios (82.1 cm² en promedio) y toretes H con el menor ($p<0.05$) tamaño. Áreas del ojo de la costilla de estas magnitudes, ya han sido reportadas en toros Cebú y sus cruzas con Holstein, Criollo, y Pardo Suizo (Nuñez *et al.*, 2005). La conformación de la canal fue inferior (R vs U-; $p<0.05$) en H respecto a los otros genotipos. Estos resultados confirman lo

reportado por Albertí *et al.* (2008) quienes señalaron a toros H como los de menor calificación.

Cuadro 3. Medias^Z de mínimos cuadrados ($\pm$ error estándar) para rangos de grado de calidad USDA y grado de rendimiento USDA de las canales de los toretes evaluados.

Raza	Grado de calidad ^Y			Grado de rendimiento ^X	
	N	Mediana	Promedio de rango	Mediana	Promedio de rango
C	5	1	35.0 $\pm$ 8.1 ^b	1	42.5 $\pm$ 4.8 ^b
C $\times$ H	21	1	43.7 $\pm$ 3.9 ^b	1	42.5 $\pm$ 2.3 ^b
C $\times$ SA	19	1	49.1 $\pm$ 4.1 ^b	1	42.5 $\pm$ 2.5 ^b
C $\times$ SE	28	1	39.6 $\pm$ 3.4 ^b	1	45.7 $\pm$ 2.0 ^b
H	9	2	66.0 $\pm$ 6.0 ^a	1	57.5 $\pm$ 3.6 ^a
SE	8	1	45.8 $\pm$ 6.4 ^b	1	48.1 $\pm$ 3.8 ^a
<i>P</i>			0.006		0.013

^ZMedias en la misma fila sin letra^{ab} en común son diferentes ($p < 0.05$).

^YSistema USDA de clasificación de canales bovinas (USDA, 1997): 1=Standard; 2=Select; 3= Choice.

^XSistema USDA de clasificación de canales bovinas (USDA, 1997): GR = 2.5+(2.5 $\times$ GGD pulgas) + (0.2 $\times$ RPC%) + (0.0038 $\times$ PPC libras) – (0.32 $\times$ AOC pulgadas²).

C=cebú; C $\times$ H=Cebú $\times$ Holstein; C $\times$ SA= Cebú $\times$ Suizo Americano; C $\times$ SE= Cebú $\times$ Suizo Europeo; H= Holstein; SE= Suizo Europeo.

Tanto la conformación, como el área del ojo de la costilla, son medidas del grado de desarrollo muscular en la canal (Piedrafita *et al.*, 2003) y el peso de la misma (Owens y Gardner., 2000). Con base en estos indicios, es válido especular que la menor AOC en H derivó de su menor PCC; la conformación pudo tener la misma causa. Sin embargo, recientes investigaciones han determinado que el largo de la canal tiene una correlación negativa con la conformación (Piedrafita *et al.*, 2003). En este sentido Albertí *et al.* (2008) hallaron que toretes H tienen mayor longitud de canal que otras razas especializadas en carne.

Los bovinos H y SE exhibieron menor ($p < 0.05$) madurez fisiológica al sacrificio que los otros genotipos. La madurez fisiológica de los animales cruzados en este estudio coincide con la madurez (USDA B) reportada por Méndez *et al.* (2009) para bovinos sacrificados en la región sur de México.

Las diferencias encontradas pudieron ser reflejo de diferencias en edad cronológica, la cual es determinada por el manejo alimenticio previo a la entrada a corral; usualmente en las regiones centro y sur de México los bovinos son criados bajo sistemas extensivos de pastoreo, complementados con subproductos agrícolas, que hacen posible que los animales alcancen un peso adecuado para finalización (400 kg) a edades de hasta 30 meses. No obstante, en una revisión Dunshea *et al.* (2005) mencionaron que la madurez fisiológica se incrementa de manera significativa con el empleo de hormonas promotoras de crecimiento; por lo que las diferencias de madurez en este estudio pudieron también estar influenciadas por la respuesta fisiológica de los animales a éste factor.

La grasa en RPC fue mayor ($p<0.05$) en H y SE respecto a cruzas C $\times$ SE y C $\times$ SA, mientras que C presentó un valor intermedio. El marmoleo fue diferente ($p=0.003$) en H (Ligero), respecto al resto de los animales (Trazas). Estos resultados constatan lo encontrado en estudios previos llevados a cabo en México (Méndez *et al.*, 2009) en los que bovinos de las regiones centro y sur, tienen bajo porcentaje RPC (1.1%) y mínima cantidad de marmoleo (prácticamente desprovisto). La característica de ganado cebuino y sus cruzas por deponer baja cantidad de grasa respecto al ganado europeo tanto en RPC como intramuscular (marmoleo) ha sido observada por Crouse *et al.* (1989).

El grado de calidad USDA fue diferente ($p=0.006$) en H respecto (Select vs Standard) a las otras razas (Cuadro 3). El grado de calidad se incrementa linealmente con el peso de la canal y peso vivo inicial; también crece de manera paralela al marmoleo (Owens y Gardner., 2000) en bovinos de baja madurez fisiológica (Polkinghorne y Thompson, 2010). En este estudio los dos componentes, alta calificación de marmoleo y baja madurez fisiológica, estuvieron presentes en toros H, por consiguiente su alto grado de calidad.

En el sistema USDA un grado de rendimiento elevado es poco deseable por estar relacionado con un menor rendimiento en cortes valiosos de la canal

(Polkinghorne y Thompson, 2010). En este estudio el grado de rendimiento USDA fue similar ($p>0.05$) entre H y SE, pero ambos superaron ($p<0.05$) 18% a los otros grupos genéticos. El grado de rendimiento incrementa como el PCC, GGD y porcentaje de grasa en RPC; por lo que el mayor grado de rendimiento en H y SE, se debió a que toretes SE presentaron alto peso de canal caliente, mientras que bovinos H tuvieron el mayor valor (6.1 mm) de grosor de grasa dorsal y alto porcentaje de RPC.

3.5.2 Características de la carne

Las características de la carne, composición química, fuerza de corte y pérdidas por cocción se presentan en el Cuadro 4. El grupo genético no influyó en el contenido de humedad ($p=0.121$), cenizas ($p=0.150$), proteína cruda ($p=0.664$), grasa ($p=0.573$), pH a las 24 h ($p=0.756$) de la carne. Estos resultados concuerdan con lo observado en otros estudios (Delgado *et al.*, 2005; Prado *et al.*, 2008; Maggioni *et al.*, 2010) que usaron animales Nelore y sus cruza con bovinos Angus, lo que demuestra que el grupo genético no afecta estos parámetros, excepto para grasa. La diferencia en contenido de grasa entre razas cebuinas (Nelore) y cruza con Angus es por la característica de esta última raza por presentar alto contenido de grasa intramuscular (Prado *et al.*, 2008). En este estudio, la ausencia de efecto de grupo racial quizá se debió al uso de la combinación de implante anabólico y uso de β -agonista en la dieta, los cuales disminuyen de manera significativa la acumulación de grasa en músculo (Dikeman, 2007).

Cuadro 4. Medias^z de mínimos cuadrados ($\pm$ error estándar) para características de la carne de los toretes evaluados.

Variables	Raza						P
	C	C $\times$ H	C $\times$ SA	C $\times$ SE	H	SE	
N	4	17	11	20	9	8	
Humedad (%)	74.1 $\pm$ 0.7	74.3 $\pm$ 0.3	74.4 $\pm$ 0.4	74.0 $\pm$ 0.3	75.2 $\pm$ 0.5	75.4 $\pm$ 0.2	0.121
Cenizas (%)	1.1 $\pm$ 0.1	1.1 $\pm$ 0.1	1.1 $\pm$ 0.1	1.1 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.1	1.2 $\pm$ 0.1	0.150
Grasa (%)	1.7 $\pm$ 0.5	1.7 $\pm$ 0.2	1.7 $\pm$ 0.3	2.0 $\pm$ 0.2	1.6 $\pm$ 0.3	1.3 $\pm$ 0.3	0.573
Proteína cruda (%)	20.3 $\pm$ 0.7	20.8 $\pm$ 0.4	20.6 $\pm$ 0.4	20.3 $\pm$ 0.3	19.8 $\pm$ 0.5	20.8 $\pm$ 0.5	0.664
Resistencia al corte WB (kg)	8.0 $\pm$ 0.3 ^a	6.2 $\pm$ 0.2 ^b	6.3 $\pm$ 0.2 ^b	6.3 $\pm$ 0.2 ^b	6.1 $\pm$ 0.3 ^b	6.8 $\pm$ 0.3 ^b	<0.001
Pérdidas por cocción (%)	41.1 $\pm$ 2.5 ^a	35.9 $\pm$ 1.1 ^a	32.8 $\pm$ 1.1 ^b	33.3 $\pm$ 0.9 ^b	33.3 $\pm$ 1.5 ^b	35.9 $\pm$ 1.8 ^a	0.022
pHu (24 h)	5.6 $\pm$ 0.1	5.6 $\pm$ 0.1	5.6 $\pm$ 0.1	5.5 $\pm$ 0.1	5.5 $\pm$ 0.1	5.5 $\pm$ 0.1	0.756

^zMedias en la misma fila sin letra^{ab} en común son diferentes ($p < 0.05$).

C=cebú; C $\times$ H=Cebú $\times$ Holstein; C $\times$ SA= Cebú $\times$ Suizo Americano; C $\times$ SE= Cebú $\times$ Suizo Europeo; H= Holstein; SE= Suizo Europeo; WB= Warner Bratzler; pHu= pH final medido a las 24 h.

La fuerza de corte WB de la carne, fue superior ($p < 0.001$) en C respecto a los otros genotipos. La característica de toros de genotipo cebuino por presentar elevadas fuerzas de corte WB respecto a sus cruza y otras razas, ya ha sido observada en otros estudios (Crouse *et al.*, 1989; Schutt *et al.*, 2009a). Esto se atribuye a que en animales *Bos indicus* la tasa de degradación de las proteínas que componen las miofibrillas es más lenta, debido a la elevada actividad de la calpastatina, un inhibidor natural de las calpainas, las cuales son las enzimas encargadas del ablandamiento de la carne (Whipple *et al.*, 1990). Si bien la FCWB fue mayor en C respecto a los otros genotipos, en todos los casos la carne está en el rango de carne dura (> 4.9 kg) (Miller *et al.*, 2001).

Las pérdidas por cocción fueron similares ($p > 0.05$) entre C, C $\times$ H, SE y éstos superiores ($p < 0.05$) a C $\times$ SA, C $\times$ SE, y H. En un estudio llevado a cabo en México, encontraron diferencias entre carnes de diferente región (norte, centro y sur) del país (Delgado *et al.*, 2005); sin embargo, sus resultados (22%) fueron inferiores a los reportados en esta investigación. Las divergencias encontradas respecto a otras investigaciones pueden deberse a diferencias en el método de preparación (Delgado *et al.*, 2005), ya que en el estudio antes citado, las muestras se descongelaron 24-30 h, mientras que en este estudio la descongelación se llevó a cabo en 12 h. La duración y temperatura de almacenamiento de las muestras influye en las pérdidas por cocción (Lagerstedt *et al.*, 2008), estos autores observaron que muestras almacenadas a -20°C por dos meses tienen mayor pérdida de agua que muestras sólo enfriadas a 4°C ; en este estudio las muestras se congelaron a esta temperatura (-20°C) por lo que los resultados pudieron estar influenciados por esta condición.

3.6 Conclusiones

Las conclusiones de este trabajo son las siguientes:

- Los toretes cruzados presentan un comportamiento superior respecto a Holstein en ganancia diaria de peso, peso vivo final, peso de canal caliente, conformación, y volumen de carne comercializable, además de menor acumulación de grasa.
- Los toretes Holstein destacan por tener baja madurez de la canal al sacrificio, mayor marmoleo y mejor grado de calidad.
- La fuerza de corte de la carne fue mayor en toretes Cebú; sin embargo, en todas las razas las lecturas correspondieron a carne dura.

Las características de la canal que presentan los animales cruzados pueden cubrir las demandas del mercado de canales bovinas en la región centro de México, el cual requiere canales con gran desarrollo muscular y bajo contenido de grasa.

En mercados donde se considere el pago por calidad o cuando se quieran mejorar características como madurez al sacrificio, marmoleo y grado de calidad, sería adecuado pensar en el uso de toretes Holstein en corral de finalización.

La fuerza de corte de la carne de todas las razas evaluadas corresponde a carne dura, por lo que se recomienda investigar nuevas estrategias de cruzamiento, alimenticias (aditivos) y de manejo *post mortem* (estimulación eléctrica, maduración) que permitan mejorar este parámetro.

3.7 Literatura citada

Albertí, P., B. Panea, C. Sañudo, J. L. Olleta, G. Ripoll, P. Ertjerg, M. Christensen, S. Gigli, S. Failla, S. Concetti, J. F. Hocquette, R. Jailler, S. Rudel, G. Renand, G. R. Nute, R. I. Richardson, and J. L. Williams. 2008. Live weight, body size and carcass characteristics of young bulls of fifteen European breeds. *Livestock Science* 114: 19-30.

- Albertí, P., G. Ripoll, F. Goyache, F. Lahoz, J. L. Olleta, B. Panea, and C. Sañudo. 2005. Carcass characterization of seven Spanish beef breeds slaughtered at two commercial weights. *Meat Science* 71: 514-521.
- AMSA (American Meat Science Association). 1995. Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation and Instrumental Tenderness Measurements of Fresh Meat. American Meat Science Association, Chicago, IL. 48 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Horwitz, W. (ed.). Gaithersburg, MD. 2200 p.
- Campo M, M., P. Santolaria, C. Sañudo, J. Lepetit, J. L. Olleta, B. Panea, and P. Arbertí. 2000. Assessment of breed type and ageing time effect on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Science* 55: 371-378.
- Clarke, A. M., M. J. Drennan, M. McGee, D. A. Kenny, . R. D. Evans, and D. P. Berry. 2009. Intake, live animal scores/measurements and carcass composition and value of late-maturing beef and dairy breeds. *Livestock Science* 126: 57-68.
- Crockett, J. R., F. S. Baker, Jr. J. W. Carpenter, and M. Koger. 1979. Prewaning, feedlot and carcass characteristics of calves sired by continental Brahman, and Brahman-Derivates sires in subtropical Florida. *Journal of Animal Science* 49: 900-907.
- Crouse, J. D., L. V. Cundiff, R. M. Koch, M. Koohmaraie, and S. C. Seideman. 1989. Comparisons of *Bos indicus* and *Bos taurus* inheritance for carcass beef characteristics and meat palatability. *Journal of Animal Science* 67: 2661-2668.
- Delgado, E. J., M. S. Rubio, F. A. Iturbe, R. D. Méndez, L. Cassís, and R. Rosiles. 2005. Composition and quality of Mexican and imported retail beef in Mexico. *Meat Science* 69: 465-471.
- Dikeman, M. E. 2007. Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. *Meat Science* 77:121-135.
- Dunshea, F. R., D. N. D'Souza, D. W. Pethick, G. S. Harper, and R. D. Warner. 2005. Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat Science* 71: 8-38.
- EC 103/2006. Commission Regulation (EC) No 103/2006 of 20 January 2006 adopting additional provisions for the application of the Community scale for the classification of carcasses of adult bovine animals. *Official Journal of the European Union*. L 17/6–8. 21.1.2006.
- Gallardo N, J. L., E. Luna M., y M. Albarrán D. 2006. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de bovino en México 2006. Coordinación General de Ganadería. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Publicaciones/Lists/Estudios%2>

0de%20situacin%20actual%20y%20perspectiva/Attachments/3/sitbov06.pdf. Consultada el 25 de abril de 2011.

- García, E. 1983. Apuntes de Climatología. UNAM. México. D. F. 153 p.
- Hocquette, J. F., G. Renand, E. Dufour, J. Lepetit, and G. R. Nute. 2007. Traditional and new methods to assess beef quality. *In: Evaluation of Carcass and Meat Quality in Cattle and Sheep*. Lazzaroni, C., S. Gigli, and Gabiña. (eds.). Wageningen Academic Publishers. The Netherlands. pp: 61-80.
- Keane, M. G., and M. J. Drennan. 2008. A comparison of Frisian, Ayrshire, Angus × Frisian and Belgian Blue × Frisian steers finished at pasture or indoors. *Livestock Science* 115: 268-278.
- Lagerstedt, A., L. Enfält, L. Jihansson, and K. Lundström. 2008. Effect of freezing on sensory quality, shear force and water loss in beef M. *Longissimus dorsi*. *Meat Science* 80: 457-461.
- Maggioni, D., J. de A. Marques, P. P. Rotta, D. Perotto, T. Ducatti, J. V. Visentainer, and I. N. Prado. 2010. Animal performance and meat quality of crossbred young bulls. *Livestock Science* 127: 176-182.
- Méndez, R. D., C. O. Meza, J. M. Berruecos, P. Garcés, E. J. Delgado, and M. S. Rubio. 2009. A survey of beef carcass quality and quantity attributes in Mexico. *Journal of Animal Science* 87: 3782-3790.
- Miller, M. F., M. A. Carr, C. B. Ramsey, K. L. Crockett, and L.C. Hoover. 2001. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. *Journal of Animal Science* 79: 3062-3068.
- Moreira, F. B., N. E. Souza, M. Matsushita, I. N. Prado, and W. G. Nascimento. 2003. Evaluation of carcass characteristics and meat chemical composition of *Bos indicus* and *Bos indicus* × *Bos taurus* crossbred steers finished in pasture systems. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 46: 609-616.
- NOM-033-ZOO-1995. Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres. Publicado el 16 de julio de 1996 en el Diario Oficial de la Federación. pp: 38-55.
- NRC (National Research Council). 2000. Nutrients Requirements of Beef Cattle: Seventh Revised Edition. National Academy Press. Washington, D. C., USA. 232 p.
- Núñez G, F. A., J. A. García M., J. Hernández B., y J. A. Jiménez C. 2005. Caracterización de canales de ganado bovino en los valles centrales de Oaxaca. *Técnica Pecuaria México* 43(2): 219-228.
- Owens, F. N., and B. A. Gardner. 2000. A review of the impact of feedlot management and nutrition on carcass measurements of feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 77:1-18.

- Owens, F. N., P. Dubeski, and C. F. Hanson. 1993. Factors that alter the growth and development of ruminants. *Journal of Animal Science* 71: 3138-3150.
- Piedrafita, J., R. Quintanilla, C. Sañudo, J-L. Olleta, M-M. Campo, B. Panea, G. Renand, F. Turin, S. Jabet, K. Osoro, M-C. Oliván, G. Noval, P. García, M-D. García, M-A. Oliver, M. Gispert, X. Serra, M. Espejo, S. García, M. López, and M. Izquierdo. 2003. Carcass quality of 10 beef cattle breeds of the southwest of Europe in their typical production system. *Livestock Production Science* 82: 1-13.
- Polkinhorne, R. J., and J. M. Thompson. 2010. Meat standards and grading. A world view: Review. *Meat Science* 86: 227-235.
- Prado, I. N., R. N. Prado, P. P. Rotta, J. V. Visantainer, J. L. Moletta, and D. Perotto. 2008. Carcass characteristics and chemical composition of the *Longissimus* muscle of crossbreed bulls (*Bos Taurus indicus* vs *Bos Taurus Taurus*) finished in feedlot. *Journal of Animal and Feed Sciences* 17: 295-306.
- Rodriguez-Voigt, A., E. Noguera, H. L. Rodriguez, N. O. Huerta-Leidenz, O. Morón-Fuenmayor, and E. Rincón-Urdaneta. 1997. Crossbreeding dual-purpose cattle for beef production in tropical regions. *Meat Science* 47(3/4): 177-185.
- Rojo-Rubio, R., J. F. Vázquez-Armijo, P. Pérez-Hernández, G. D. Mendoza-Martínez, A. Z. M. Salem, B. Albarrán-Portillo, A. Gonzáles-Reyna, J. Hernández-Martínez, S. Rebollar-Rebollar, D. Cardoso-Jiménez, E. J. Dorantes-Coronado, and J. G. Gutierrez-Cedillo. 2009. Dual purpose cattle production in Mexico. *Tropical Animal Health Production* 41: 715-721.
- Sami, A. S., C. Agustini, and F. J. Schwarz. 2004. Effects of feeding intensity and time on feed on performance, carcass characteristics and meat quality of Simmental bulls. *Meat Science* 67: 195-201.
- Sañudo, C., E. S. Macie, J. L. Olleta, M. Villarroel, B. Panea, and P. Albertí. 2004. The effects of slaughter weight breed type and ageing time on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Science* 66: 925-932.
- SAS. 2004. SAS/STAT 9.1 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 5180 p.
- Schutt, K. M., H. M. Burrow, J. M. Thompson, and B. M. Bindon. 2009a. Brahman and Brahman crossbred cattle grown on pasture and in feedlots in subtropical and temperate Australia. 2. Meat quality and palatability. *Animal Production Science* 49: 439-451.
- Schutt, K. M., P. F. Arthur, and H. M. Burrow. 2009b. Brahman and Brahman crossbred cattle grown on pasture and feedlots in subtropical and

- temperate Australia. 3. Feed efficiency and feeding behavior of feedlot-finished animals. *Animal Production Science* 49: 452-460.
- Short, R. E., E. E. Grings, M. D. MacNeil, R. K. Heitschmidt, C. B. Williams, and G. L. Bennet. 1999. Effects of sire growth potential, growing-finishing strategy, and time on feed on performance, composition, and efficiency of steers. *Journal of Animal Science* 77: 2406-2417.
- Steen, R. W. J., and D. J. Kilpatrick. 1995. Effect of plane of nutrition and slaughter weight on the carcass composition of serially slaughtered bulls, steers and heifers of the three breeds crosses. *Livestock Production Science* 43: 205-213.
- Torrescano U, G. R., A. Sánchez E., M. G. Vásquez P., R. Paz P., y D. A. Pardo G. 2010. Caracterización de canales y carne de bovino de animales engordados en la zona centro de Sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 1(2): 157-168.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1997. United States Standards for Grades of Carcass Beef. Agricultural Marketing Service, Livestock Seed Division. Washington, DC. 17 p.
- Whipple, G., M. Koohmaraie, M. E. Dikeman, J. D. Crouse, M. C. Hunt, and R. D. Klemm. 1990. Evaluation of attributes that affect *Longissimus* muscle tenderness in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *Journal of Animal Science* 68: 2716-2728.