

01674

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**



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

**CALIDAD Y NIVEL DE RESIDUOS DE β -AGONISTAS
ADRENERGICOS EN CARNE DE BOVINO NACIONAL E
IMPORTADA EN MEXICO**

T E S I S
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
P R E S E N T A :
ENRIQUE JESUS DELGADO SUAREZ

TUTOR:

DRA. MARIA DE LA SALUD RUBIO LOZANO

DR. RENE ROSILES MARTINEZ

M.C. FRANCISCA AIDA ITURBE CHIÑAS



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mi madre, eterna inspiración de mis mayores logros.

Bendígame madre, y sepa que jamás saldrá de mí obra sin piedad y sin limpieza.

José Martí

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
INTRODUCCIÓN.....	6
1. ANTECEDENTES	7
1.1 INVESTIGACIÓN DE LA CALIDAD DE LA CARNE EN EL CONTEXTO DEL MERCADO..	7
1.2 GANADERÍA BOVINA DE CARNE.....	10
<i>1.2.1 Características del sector en México.....</i>	<i>10</i>
Producción.....	11
Sacrificio	13
Comercialización y consumo.....	13
<i>1.2.2 Panorama general del sector en Estados Unidos</i>	<i>15</i>
1.3 CALIDAD DE LA CARNE.....	18
1.3.1 Factores que afectan la calidad de la carne	18
Contenido de grasa intramuscular	18
Tejido conectivo	20
Sistema de producción	23
Alimentación	24
Raza	27
Empleo de promotores de crecimiento	29
<i>Hormonas esteroides y otros compuestos de acción hormonal</i>	<i>29</i>
<i>β-agonistas adrenérgicos</i>	<i>31</i>
Manejo ante mortem	34
1.3.2 Metodología para la determinación de los indicadores de la calidad de la carne.....	35
Composición química.....	35
Color	36
pH.....	38
Pérdidas por cocción	39
Atributos sensoriales.....	39
Residuos de clenbuterol.....	41
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
<i>Selección de los puntos de venta por ciudad</i>	<i>43</i>
<i>Características de las muestras de carne a evaluar</i>	<i>43</i>
<i>Toma de muestras</i>	<i>44</i>
2.1 ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	47
<i>Humedad.....</i>	<i>47</i>
<i>Grasa</i>	<i>47</i>
<i>Proteína.....</i>	<i>48</i>
<i>Colágeno total y colágeno soluble.....</i>	<i>49</i>
2.2 DETERMINACIÓN DE LOS INDICADORES DE CALIDAD	50
pH	50
Fuerza de corte y pérdidas por cocción	50
Color.....	51
2.3 EVALUACIÓN SENSORIAL.....	51
2.4 DETERMINACIÓN DE RESIDUOS DE CLENBUTEROL.....	52
2.5 ENCUESTA SOBRE CALIDAD DE LA CARNE	52
2.6 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA COMERCIALIZACIÓN DE CARNE DE BOVINO	54
2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS	54
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
3.1 COMPORTAMIENTO GENERAL DE LAS VARIABLES	55
3.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA E INDICADORES DE CALIDAD EN CARNE NACIONAL.....	62

3.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA E INDICADORES DE CALIDAD EN CARNE IMPORTADA.....	65
3.4 COMPARACIÓN ENTRE CARNE NACIONAL E IMPORTADA	67
3.5 INTERRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y LOS INDICADORES DE CALIDAD	71
3.6 EVALUACIÓN SENSORIAL.....	73
3.7 ANÁLISIS DEL NIVEL DE RESIDUOS DE CLENBUTEROL	75
3.8 ENCUESTA SOBRE CALIDAD DE LA CARNE.....	77
3.9 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA COMERCIALIZACIÓN DE CARNE DE BOVINO.....	80
4. CONCLUSIONES	85
5. RECOMENDACIONES	87
6. AGRADECIMIENTOS	88
7. REFERENCIAS	89

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar la calidad de la carne fresca de bovino, nacional e importada, que se comercializa en el mercado formal mexicano, incluyendo el análisis de residuos de clenbuterol. Se realizó un muestreo al azar en 80 supermercados de las ciudades de Monterrey, Ciudad de México y Villahermosa, en los que se tomaron 180 muestras del corte New York, 90 nacionales y 90 de importación. Las muestras se analizaron para determinar su composición química e indicadores de calidad, incluyendo el nivel de residuos de clenbuterol. Adicionalmente, se realizó una encuesta entre 210 consumidores, para obtener una referencia sobre los factores más importantes en la decisión de compra y las preferencias en cuanto a varias características de la carne. Los resultados se analizaron mediante análisis de varianza de clasificación simple. Se distinguieron cuatro clases de carne por su composición química, calidad y nivel de aceptación entre los consumidores: 1) la carne mexicana de la zona norte, una carne suave, con bajo contenido de grasa (3%), buenos indicadores de calidad y elevada aceptación entre los consumidores; 2) la carne mexicana de las zonas centro y sur, menos suave y con indicadores de calidad inferiores a los de la carne mexicana de la zona norte, pero con similar contenido de grasa y nivel de aceptación entre los consumidores; 3) la carne importada USDA-Choice, con indicadores de calidad y nivel de aceptación entre los consumidores semejantes a los de la carne mexicana de la zona norte, pero con altos niveles de grasa (>6%); y 4) la carne importada sin sello de calidad de origen (US beef), de composición química e indicadores de calidad comparables a los de la carne mexicana de las zonas centro y sur, pero con menor aceptación entre los consumidores mexicanos. Se detectó clenbuterol en tres muestras de carne nacional, en niveles de 475, 1253 y 4514 ppt, respectivamente. Se concluye que la carne de bovino que se comercializa en el mercado formal mexicano es de calidad muy diversa. Se comprobó que la carne nacional tiene elementos de competitividad frente a las importaciones, aunque es susceptible de mejorar su calidad y uniformidad. La presencia de residuos de clenbuterol en la carne nacional continúa siendo un peligro potencial para la salud pública en México.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the quality of both Mexican and imported beef available in the Mexican market, including the analysis of clenbuterol residues. A random sampling was carried out in 80 supermarkets from Monterrey, Mexico City and Villahermosa. A total of 180 samples of the New York cut, 90 from Mexican and 90 from imported beef, were analyzed for chemical composition, quality traits and clenbuterol residues. Moreover, a beef quality questionnaire was applied to 210 consumers, in order to obtain a reference of the main factors related to purchase decision, as well as to know consumers' preferences regarding some beef characteristics. Results were analyzed by one-way analysis of variance. Four classes of beef were identified, based on chemical composition, quality traits and consumer acceptability: 1) Mexican beef from the northern region, a tender beef with a low fat content (3%), good quality traits and a high consumers' acceptance; 2) Mexican beef from the central and southern regions, less tender and inferior in quality traits in relation to Mexican beef from the northern region, but with a similar fat content and consumers' acceptance; 3) USDA-Choice beef, with quality traits and consumers' acceptance comparable to those of Mexican beef from the northern region, but with a higher fat content (>6%); and 4) commodity US beef, with a chemical composition and quality traits similar to those of Mexican beef from the central and southern regions, but with a lower level of acceptance among Mexican consumers. Three samples of Mexican beef were positive to clenbuterol, in levels of 475, 1253, and 4514 ppt, respectively. It is concluded that beef commercialized in the Mexican market is of diverse quality. Mexican beef was proven to be competitive with respect to imports. However, there is still considerable scope for improvement regarding its quality and uniformity. The presence of clenbuterol residues in Mexican beef continues to be a potential risk to public health in Mexico.

INTRODUCCIÓN

La carne de res es un producto de gran tradición en México. En la actualidad, es el segundo tipo de carne que más se consume en el país (18.2 kg/persona/año en 2001), superada solamente por la carne de ave (FAO, 2003). Aparentemente, estas serían condiciones muy favorables para el desarrollo del sector ganadero. Sin embargo, en los últimos años el crecimiento de la producción ha sido muy discreto, en contraste con el aumento significativo de las importaciones, provenientes en su mayoría de Estados Unidos, en el marco del tratado de libre comercio de América del Norte (TLCAN).

La fuerte orientación hacia el exterior de la ganadería norteamericana (USMEF, 2003), en conjunto con la no aplicación de aranceles a la carne de importación (Secretaría de Economía, 2002), son aspectos que socavan el desarrollo de la ganadería bovina de carne mexicana, a pesar de la demanda creciente en el mercado interno, motivada en parte por el crecimiento de la población (INEGI, 2003).

En estas condiciones, resulta de vital importancia la investigación de la calidad de la carne en el contexto del mercado. Ello permitiría conocer el grado de competitividad del producto nacional en relación con las importaciones. Además, facilitaría la identificación de las fortalezas y debilidades con que cuenta la industria nacional, y con ello, la elaboración de estrategias para que los productores nacionales consigan obtener ventajas de las favorables condiciones del mercado.

Otro problema que enfrenta la ganadería bovina de carne en México, es la desconfianza que suscita entre los consumidores el empleo ilegal del clenbuterol, como promotor de crecimiento, por parte de algunos productores (Pérez, 2002). Teniendo en cuenta los recientes brotes de intoxicación con clenbuterol, asociados con el consumo de productos derivados de carne de bovino, que han tenido lugar en territorio mexicano (Frias, 2002), sería de gran utilidad aclarar hasta qué punto la carne que se comercializa en el país está libre de los residuos de esta droga.

Por tanto, el objetivo del presente trabajo es evaluar la calidad de la carne fresca de bovino nacional e importada, que se comercializa en el mercado formal mexicano, incluyendo la búsqueda de residuos de clenbuterol, de modo que la industria nacional de carne bovina cuente con información que contribuya a mejorar su desempeño.

1. ANTECEDENTES

1.1 INVESTIGACIÓN DE LA CALIDAD DE LA CARNE EN EL CONTEXTO DEL MERCADO

El objetivo principal de estas investigaciones es establecer la calidad de la carne que se comercializa (Savell *et al.*, 1991; George *et al.*, 1999; Zerby *et al.*, 1999; Brooks *et al.*, 2000; Roeber *et al.*, 2001). Esto permite identificar los puntos clave de la cadena productiva que más influyen sobre los problemas de calidad detectados, así como tendencias futuras en el mercado. Por esta razón, es común que los estudios se repitan cada cierto tiempo. Con frecuencia se necesita comprobar la efectividad de medidas enfocadas hacia el mejoramiento de la calidad, identificar nuevos problemas o explorar nuevas tendencias. Por ejemplo, la concurrencia de carne importada y nacional puede motivar la realización de investigaciones para aclarar el nivel de competencia de la industria nacional en relación con las importaciones, así como identificar las fortalezas y amenazas de que dispone la misma en el contexto comercial (Raes *et al.*, 2003).

Los estudios sobre la calidad de la carne en el punto de venta pueden tener alcance regional o nacional, según el proyecto en cuestión. En ellos se pueden evaluar desde uno hasta varios atributos de calidad, dependiendo de los objetivos que se persigan (George *et al.*, 1999; Brooks *et al.*, 2000; Roeber *et al.*, 2001).

En Estados Unidos la ganadería bovina de carne ha alcanzado un alto grado de desarrollo a través de los años. Este desarrollo se ha sustentado, al menos en parte, en la constante investigación en el área de la calidad, con un historial de varias décadas (Murphey *et al.*, 1960; Abraham *et al.*, 1980), por lo que se pueden encontrar numerosos ejemplos de este tipo de investigaciones. Quizás el más consistente es el de las investigaciones nacionales sobre calidad de la carne fresca de bovino, que se realizan periódicamente en ese país (Lorenzen *et al.*, 1993; Boleman *et al.*, 1998; McKenna *et al.*, 2002).

A finales de los años 1980s se realizó una investigación nacional en los puntos de venta de carne fresca de bovino al menudeo (Savell *et al.*, 1991). El objetivo de este trabajo fue cuantificar la cantidad de grasa externa que quedaba en los cortes, así como la cantidad de grasa de recorte y grasa intramuscular. Esto se hizo para comprobar si existía correspondencia entre la

práctica comercial y la nueva normativa según la cual los comerciantes debían reducir la grasa externa en los cortes de res hasta un nivel no mayor de 0.64 cm, en lugar de los 1.27 cm especificados anteriormente. Esta información permitió actualizar los datos de composición de la carne de res, que estaban basados en las especificaciones obsoletas.

Uno de los atributos de calidad más controvertidos, en lo que a carne de bovino se refiere, es la suavidad. Quizás por ello se encuentran investigaciones exclusivamente relacionadas con este atributo. Un ejemplo es el estudio nacional sobre suavidad de la carne de bovino de 1998 en los Estados Unidos (Brooks *et al.*, 2000). En el mismo se muestrearon cadenas de supermercados y comedores colectivos en ocho ciudades norteamericanas. Se tomaron muestras de varios cortes de carne de bovino, cuya suavidad fue evaluada objetivamente mediante la fuerza de corte y subjetivamente por un panel de consumidores. Como resultado, se identificaron los cortes con problemas de dureza, mismos que se asociaron con la insuficiente maduración de la carne antes del consumo. Este es un ejemplo de cómo la investigación permite identificar e influir directamente sobre algún eslabón de la cadena productiva que no esté funcionando adecuadamente.

Investigadores belgas estudiaron recientemente la calidad de la carne fresca de bovino en puntos de venta al menudeo en el mercado de ese país (Raes *et al.*, 2003). Este trabajo estuvo enfocado a evaluar las diferencias en la composición química y algunas propiedades sensoriales (color, suavidad y sabor, entre otros) en carne nacional e importada de diferentes orígenes (irlandés y argentino) que concurren en el mercado belga. Al parecer, la investigación estuvo motivada por la competencia de la carne importada, que se promocionaba como más saludable y de mejor calidad por provenir de sistemas de producción más extensivos, en contraste con la engorda intensiva con dietas de alta energía que predomina en Bélgica.

Los resultados demostraron que la carne belga, proveniente en su mayoría de las razas Belgian Blue y Limousin, tenía un menor contenido de grasa intramuscular y de colágeno que la carne importada. Por su parte, la carne importada tuvo una mayor intensidad de sabor, sin que se observaran diferencias marcadas en la suavidad. La utilidad de esta investigación radica en que aclaró el grado de competitividad de la carne nacional frente a las importaciones. Se describieron sus ventajas y desventajas y se evitó la confusión de los consumidores por la propaganda, protegiendo así a los productores locales.

Uno de los principales beneficios que se derivan de las investigaciones en el punto de venta radica en que pueden informar sobre las preferencias de los consumidores. En este sentido, se recomienda la realización de pruebas sensoriales afectivas con consumidores (Resurreccion, 2003), que son las más eficientes para comprender el lenguaje de los mismos. Los paneles sensoriales con jueces entrenados no son útiles en estos casos, pues no brindan información sobre el nivel de aceptación de un producto dado por los consumidores. De igual forma, se pueden realizar encuestas con el fin de identificar los atributos de calidad más relevantes en un mercado específico, así como los factores con mayor peso en la decisión de compra (McCarthy *et al.*, 2003; Robbins *et al.*, 2003).

En México, la investigación de la calidad de la carne de bovino cobra singular importancia, dadas las actuales condiciones del mercado. A raíz de la entrada en vigor del tratado de libre comercio con Estados Unidos y Canadá (TLCAN), la contribución relativa al consumo *per capita* de carne de res de la producción nacional y las importaciones cambió significativamente (Figura 1). Como se puede observar, en los últimos cinco años las importaciones han ido creciendo (AMEG, 1999; Gallardo *et al.*, 2002) hasta formar cerca del 40% del total de carne de bovino que se consume en México anualmente (Villegas, 2003). Esto se ha visto favorecido por el hecho de que la carne de vacuno proveniente de Estados Unidos, que se ha convertido en proveedor casi exclusivo de México, está exenta de arancel (Secretaría de Economía, 2002).

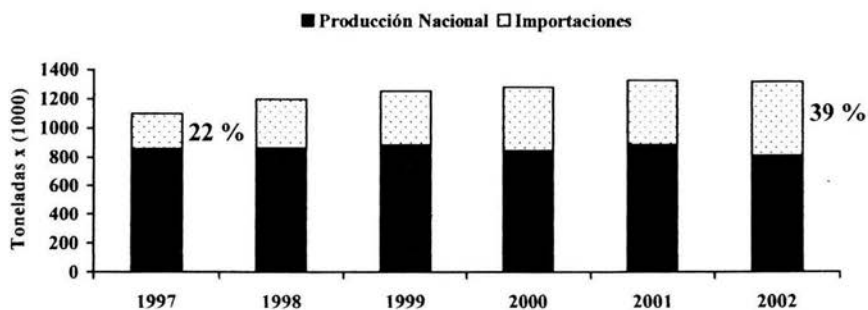


Figura 1. Contribución relativa de la producción nacional y las importaciones al consumo de carne de bovino en México (Villegas, 2003)

En este contexto, la inversión en proyectos dirigidos a la modernización y reorganización de la ganadería bovina de carne es un aspecto vital que los productores mexicanos deben tener en cuenta. El establecimiento de un sistema de evaluación de canales como base para el pago al productor, así como la creación de fondos para el financiamiento de proyectos de investigación y desarrollo en el campo de la calidad de la carne, son asuntos urgentes. La historia de la ganadería en las economías desarrolladas demuestra que no hay otro camino hacia una mayor productividad, eficiencia y competitividad.

1.2 GANADERÍA BOVINA DE CARNE

1.2.1 Características del sector en México

La ganadería bovina de carne es una de las principales actividades económicas dentro del sector agropecuario mexicano. Del ganado bovino en general, estimado en un total de 30.7 millones de cabezas en 1997, más del 90% está representado por el ganado productor de carne y de doble propósito, lo que evidencia una preponderancia de la ganadería de carne sobre la lechera (Villegas *et al.*, 2001).

El contexto de la ganadería bovina de carne en México se ha caracterizado por un proceso de especialización por zonas ganaderas. Se pueden distinguir tres grandes zonas: áridas y semi-áridas, templadas y tropicales. Los diferentes sistemas de producción en cada una de ellas se realizan de acuerdo con las condiciones ecológicas, así como con las características peculiares de tecnología, mercados de la producción y niveles de integración.

La engorda en corral se realiza fundamentalmente en las zonas áridas y semiáridas ubicadas más hacia el norte, donde están dadas las condiciones de mercado de carne de calidad. El clima seco es favorable para el manejo del ganado en confinamiento y hay disponibilidad de insumos para la alimentación. En esta región predominan las grandes empresas integradas en engorda, sacrificio en rastros propios y comercialización a través de canales propios o exclusivos, por lo que predominan en el mercado de las plazas más importantes (Villegas *et al.*, 2001).

Otra característica peculiar de estas zonas es que se han especializado en el sistema 'reproducción-cría' o 'vaca-becerro', cuya producción es orientada en gran proporción hacia el mercado externo, principalmente hacia Estados Unidos (Arroyo, 1989). A pesar de la pobreza de

los pastizales, parte de la alimentación está basada en el pastoreo en grandes extensiones de tierra durante todo el año. Se trabaja con razas puras productoras de carne, como la Hereford, Angus, Charolais y cruza con razas cebuínas. El ganado de desecho que no se exporta se dedica al consumo interno, comercializándose como carne deshuesada principalmente (Sánchez *et al.*, 1999).

En las zonas con clima templado, parte de ellas ubicadas en la región central del país, en general no existe una alta especialización en producción de carne. Se observa una composición racial muy heterogénea en la que se confunden las razas lecheras con las productoras de carne. La alimentación se compone fundamentalmente de pastos y esquilmos agrícolas (Lastra y Galarza, 1998).

La engorda en pastoreo es característica de las regiones del trópico húmedo y seco, situadas más hacia el sur. En estas regiones, el sacrificio y comercialización de la carne se realiza a través de canales propios o de intermediarios (Lastra y Galarza, 1998). Aquí predominan las razas cebuínas, especialmente Indobrasil, Brahman, Guzerat, Gyr y sus cruza con razas europeas, sobre todo con ganado Suizo (Villegas *et al.*, 2001). Quizás debido a la limitación de insumos para la alimentación, las zonas tropicales son abastecedoras de ganado joven para la engorda en otras regiones.

Producción

En 1998 se produjeron un total de 1.4 millones de toneladas de carne de bovino. El Cuadro 1 muestra que la aportación de las diferentes zonas ganaderas a la producción total es muy semejante, aunque la contribución de las zonas tropicales es ligeramente superior.

La tasa media de crecimiento anual de la producción de carne de bovino entre 1997 y 2001 (Figura 2) fue de 1.6% (Gallardo *et al.*, 2002). Sin embargo, en 2002 la producción se mantuvo prácticamente estacionaria, con un crecimiento marginal de 0.4% en relación con el año anterior (Villegas, 2003).

Cuadro 1. Contribución de las diferentes zonas ganaderas a la producción total de carne de bovino en México y principales puntos de distribución asociados a cada una de ellas

Zona ganadera	Producción ¹	% del total	Estados representativos	Principales puntos de distribución
Arida y semi-árida	454,223	31.8	Chihuahua, Sonora, Nuevo León	Monterrey, Chihuahua
Templada	431,446	30.2	Jalisco, Puebla, México	Ciudad de México, Guadalajara
Tropical	542,724	38.0	Tabasco, Veracruz, Chiapas	Villahermosa, Veracruz
Total nacional	1,428,393	100.0		

¹Toneladas

Fuente: Gallardo *et al.* (2002)

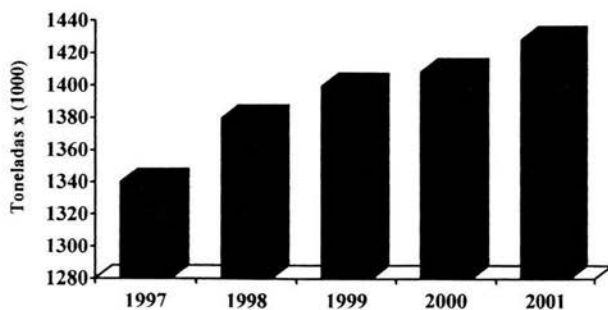


Figura 2. Producción de carne de bovino en México entre 1997 y 2001 (Gallardo *et al.*, 2002)

Sacrificio

El sacrificio del ganado bovino de carne en México tiene características peculiares. La mayor parte del ganado (cerca del 80%) se sacrifica en condiciones sanitarias inadecuadas, con un manejo poco humanitario de los animales y sin la infraestructura necesaria para mantener la cadena de frío. Esto se debe a que la mayor parte de los sacrificios tiene lugar en la propia granja o en los llamados rastros municipales, de los cuales habían 1150 activos en 2001, con cerca de 90 años en explotación. De estos, menos del 8% cumple con los requerimientos para el sacrificio y manejo de la carne (Villanueva y Aluja, 1998).

El 20% restante del ganado es sacrificado en rastros tipo inspección federal (TIF); un total de 39 plantas con capacidad para más de 3 millones de cabezas de ganado al año. Los rastros TIF disponen de las instalaciones adecuadas y personal capacitado para el sacrificio de los animales y el manejo de la carne. Sin embargo, a pesar de que cuentan con capacidad para procesar cerca de la mitad del ganado que se sacrifica anualmente, su participación es muy discreta (Lastra y Galarza, 1998).

En el 2001 se sacrificaron 1.2 millones de cabezas en rastros TIF, lo que representa poco más del 40% de la capacidad instalada. La principal causa de este comportamiento se debe a que el costo de sacrificio por animal en rastros TIF es entre 30 y 50% mayor que en los rastros municipales. En estos últimos, los servicios (agua, electricidad, mantenimiento, entre otros) son subsidiados por los gobiernos municipales (Lastra y Galarza, 1998; Gallardo *et al.*, 2002).

Comercialización y consumo

El consumo nacional *per capita* de carne de bovino ascendió a 18.2 kg en 2001. Solamente se vio superado por el de carne de aves (23.4 kg), pues en carne de cerdo (12.7 kg) y de ovino/caprinos (1.2 kg) el consumo es mucho más bajo (FAO, 2003). Estos datos confirman que la ganadería bovina de carne es una de las actividades económicas más importantes dentro del sector agropecuario mexicano y que la carne de res goza de muy buena aceptación entre los consumidores.

En el mercado interno hay un total de 915 empresas mayoristas y más de 47 000 carnicerías que expenden directamente al público. Existen dos esquemas básicos de comercialización de

carne de bovino (Lastra y Galarza, 1998; Gallardo *et al.*, 2002), la cadena integrada y la no integrada (Figuras 3 y 4).

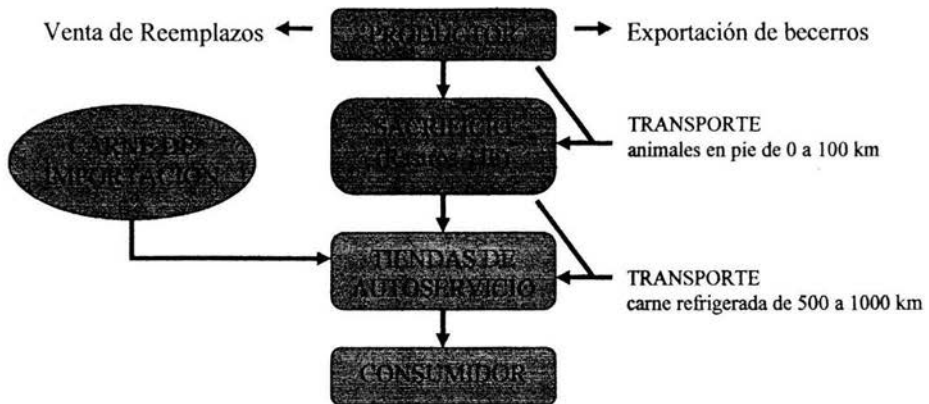


Figura 3. Cadena integrada de comercialización de carne de bovino en México

La diferencia fundamental entre estos esquemas de comercialización radica en que en el integrado el engordador-finalizador también es dueño de una planta de sacrificio/proceso, lo que representa un crecimiento en la participación del producto vendido al consumidor, así como una menor movilización de animales finalizados en pie y más de carne refrigerada. Por otro lado, la participación del intermediario en el esquema no integrado es pieza clave para su funcionamiento.

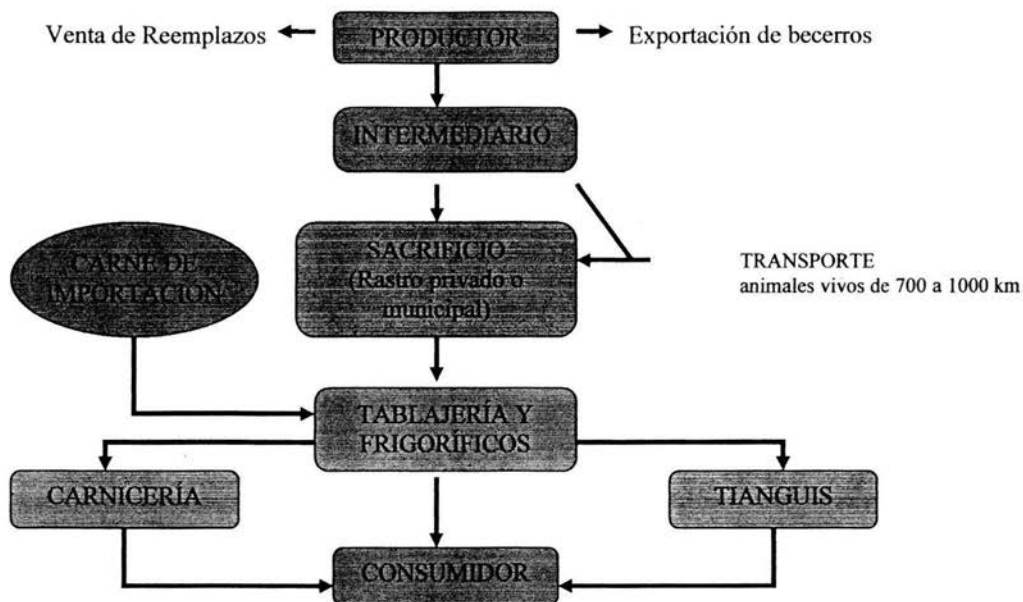


Figura 4. Cadena no integrada de comercialización de carne de bovino en México

1.2.2 Panorama general del sector en Estados Unidos

En los Estados Unidos la mayor parte de la carne de bovino que se comercializa proviene de sistemas de producción intensiva con engorda en corral (McCoy y Sarhan, 1988). Los becerros se mantienen en pastoreo los primeros 5 a 6 meses de vida. De ahí en adelante, la engorda transcurre en confinamiento con suministro de concentrados durante aproximadamente 1 año (Dinius y Cross, 1978; Arroyo, 1989; Hubbert *et al.*, 1996).

El régimen de alimentación intensiva tiene como objetivo lograr un cierto grado de marmoleo (grasa intramuscular) en la carne y engordar a los animales en el menor tiempo posible para que lleguen al sacrificio en un estado de madurez incipiente. Como es conocido, a menor grado de madurez fisiológica la carne tiende a ser más tierna y posee un color más atractivo; mientras que la grasa intramuscular favorece la suavidad y la jugosidad. Por ello, el marmoleo y el grado de madurez son los principales factores que se utilizan para determinar el grado de calidad de las

canales en Estados Unidos (Cuadro 2). Por otro lado, el sistema de precios favorece a los productores de las canales con grados de calidad superior (Prime, Choice y Select), que constituyen el grueso de la carne de bovino que se consume en el mercado interno de ese país (Resurrección, 2003).

Las razas mayoritarias que se explotan son Angus, Hereford, Charolais (del tronco *Bos taurus*) y Brahman (del tronco *Bos indicus*), en ese orden (USDA, 2003). Las dos primeras razas (Angus y Hereford) están especializadas en la producción de carne, pero también tienden a depositar considerables cantidades de grasa en la canal (Koeslag y Orozco, 1988; Ensminger y Perry, 1997). La razón de su predominio sobre las demás razas es la competencia de los productores por los grados de calidad superiores, que son los que reciben el mejor precio.

En las últimas décadas, los consumidores mostraron un rechazo creciente por la presencia de grandes cantidades de grasa en la carne. Esto motivó la introducción de razas no especializadas, como la Brahman, que producen carne magra con cantidades muy limitadas de grasa intramuscular (Higgs, 2000). Sin embargo, la participación genética de las mismas no fue más allá del 25%, pues se comprobó que una presencia superior del componente *Bos indicus* en el genotipo estaba asociado con problemas de dureza y de variabilidad en la textura de la carne (Koch *et al.*, 1982; Norman, 1982; Williams *et al.*, 1987).

En Estados Unidos es común, desde los años 1950s, el uso intensivo de compuestos de acción hormonal, naturales y sintéticos, como promotores de crecimiento en el ganado bovino de carne (Preston, 1975; Velle, 1982; Moody *et al.*, 2000). A pesar de que esta práctica ha sido respaldada por la Administración Federal de Medicamentos (FDA) (Taylor, 1984; McEvoy *et al.*, 1987), estudios recientes revelaron que es uno de los factores responsables de la disminución en la demanda interna de carne de bovino, por el temor de los consumidores a ingerir carne con ingredientes artificiales (USDA/ERS, 2002).

Cuadro 2. Esquema utilizado en el sistema de evaluación de canales estadounidense para determinar el grado de calidad de las canales

Grado de marmoleo	GRADO DE MADUREZ FISIOLÓGICA ¹				
	A	B	C	D	E
Abundante	PRIME			COMMERCIAL	
Moderadamente abundante	(Suprema)			(Comercial)	
Ligeramente abundante					
Moderado	CHOICE				
Modesto	(Preferente)				
Pequeño				UTILITY	
Ligero	SELECT (Selecta)			(Aprovechable)	
Trazas	STANDARD				CUTTER-CANNER
Prácticamente ausente	(Normal)				(Procesamiento-Enlatado)

¹ Correspondencia del grado de madurez fisiológica con la edad cronológica de los animales: A, 9-30 meses; B, 30-42 meses; C, 42-72 meses; D, 79-96 meses; E, > 96 meses

Fuente: (Federal Register, 1982)

1.3 CALIDAD DE LA CARNE

La calidad de la carne es un término complejo que comprende aspectos nutricionales, sensoriales, tecnológicos, sanitarios, de inocuidad y éticos, entre otros (Lawrie, 1974; Jeremiah, 1978; Warriss, 1996). En el marco estrecho, los atributos sensoriales (color, aroma, sabor, jugosidad y suavidad, entre otros) son los que tienen mayor influencia en la decisión de compra por parte de los consumidores, así como en la satisfacción de los mismos después de consumida la carne (McGill, 1981; Bernués *et al.*, 2003; McCarthy *et al.*, 2003; Robbins *et al.*, 2003).

Existen varias razones que justifican el interés por medir la calidad de la carne. En primer lugar, los programas genéticos basan la selección en las características de calidad que se desea tengan los animales. Por otra parte, los atributos de calidad son el resultado de la acción conjunta de diferentes factores de producción (edad, sexo, raza, alimentación, promotores de crecimiento, manejo *ante mortem*, condiciones de maduración, entre otros) que influyen tanto sobre las propiedades sensoriales de la carne (color, textura, sabor), como sobre las características biológicas intrínsecas del músculo (colágeno, grasa intramuscular, enzimas, etcétera) (Crouse *et al.*, 1981; Miller *et al.*, 1987; Wheeler *et al.*, 1989; Tatum, 1993; Touraille, 1994; Harper, 1999). Por ello, cuando se introducen nuevas razas, fuentes de alimentación y métodos de producción o manejo, por solo citar algunos ejemplos, es importante conocer los efectos que pueden tener estos cambios en la calidad de la carne, especialmente si cabe esperar empobrecimiento o mejora de la misma.

1.3.1 Factores que afectan la calidad de la carne

Contenido de grasa intramuscular

Entre los componentes del músculo, la grasa es de los que tiene un mayor impacto en la calidad de la carne. Actualmente la grasa animal es rechazada por los consumidores, porque su inclusión en la dieta se asocia con enfermedades cardiovasculares (Resurreccion, 2003). Esto ha provocado la orientación de los programas genéticos hacia la producción de animales con un mayor contenido magro. Sin embargo, desde hace décadas se conoce que la mayoría de los atributos sensoriales de la carne están positivamente relacionados con el contenido de grasa intramuscular (Carpenter, 1974). La interrelación entre estas variables es altamente significativa (De Siles *et al.*, 1977; Tatum *et al.*, 1980; Tatum *et al.*, 1982), aunque la grasa no explica más allá del 10 al 15% de las variaciones en las características de palatabilidad (Cuadro 3).

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión para predecir las características sensoriales en carne de bovino a partir del grado de marmoleo¹

Variable dependiente (Y)	Intercepto	b	r ² x100	ES ±
Jugosidad ²	4.17	0.0016	4.77	0.695***
Suavidad ³	5.24	0.0018	5.30	0.729***
Sabor ⁴	5.06	0.0019	14.74	0.457***
Aceptación general ⁴	4.85	0.0020	9.18	0.623***

¹ Adaptado de Tatum *et al.* (1982)

² Escala de 8 puntos: 8 = extremadamente jugosa; 1 = extremadamente seca

³ Escala de 8 puntos: 8 = extremadamente suave; 1 = extremadamente dura

⁴ Escala de 8 puntos: 8 = extremadamente deseable; 1 = extremadamente indeseable

***P<0.001

A pesar de la baja magnitud de la correlación entre la palatabilidad y el nivel de grasa intramuscular, las investigaciones han demostrado (De Siles *et al.*, 1977; Tatum *et al.*, 1980; Tatum *et al.*, 1982; Fernandez *et al.*, 1999) que el aumento de la última tiene un efecto positivo sobre muchas propiedades sensoriales (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto del grado de marmoleo en los atributos sensoriales de chuletas de res¹

	Grado de marmoleo ²			
	Modesto	Pequeño	Ligero	Trazas
n	15	16	50	35
Jugosidad	4.70 ^a	4.65 ^a	4.60 ^a	4.53 ^b
Suavidad	6.02 ^a	5.85 ^{ab}	5.66 ^b	5.54 ^b
Sabor	5.94 ^a	5.81 ^{ab}	5.56 ^b	5.32 ^c
Aceptación general	5.68 ^a	5.64 ^a	5.39 ^{ab}	5.20 ^b
Fuerza de corte, kg	3.66 ^c	4.26 ^{bc}	4.46 ^{ab}	4.77 ^a

¹ Adaptado de Tatum *et al.* (1980)

² Determinado según patrones USDA

^{a,b,c} Medias con letras desiguales en una misma fila, difieren significativamente (P<0.05)

Varios estudios (Shearer *et al.*, 1986; Brewer *et al.*, 1999; Robbins *et al.*, 2003) han demostrado que la cantidad de grasa visible influye en la decisión de compra de los consumidores. Sin embargo, resulta difícil satisfacer la demanda por carne cada vez más magra sin que se afecte la calidad de la misma. Otros experimentos (Bejerholm y Barton-Gade, 1986; DeVol *et al.*, 1988) han revelado que se requiere cierto nivel de grasa en la carne (entre 2 y 3 %) para que las características sensoriales de esta no se vean afectadas.

Tejido conectivo

El tejido conectivo asociado al músculo, compuesto mayormente por colágeno, tiene como función biológica dar forma y sostén al mismo, así como servir de medio para la transmisión y absorción de la fuerza generada por la contracción muscular. La alineación de moléculas de colágeno da lugar a la formación de fibras, que posteriormente se estabilizan mediante enlaces covalentes cruzados. Esto le confiere fuerza elástica a la matriz de colágeno y es un factor que contribuye a la textura de la carne (Light, 1987).

En el músculo se pueden encontrar tres tipos de colágeno morfológicamente diferentes (Figura 5). El epimisio rodea los músculos individuales y está formado por capas de tejido conectivo. El perimisio es una red tridimensional de colágeno que rodea haces o grupos de fibras musculares y que usualmente contiene grasa intramuscular y vasos sanguíneos. Por último, el endomisio es la capa de tejido conectivo que rodea cada una de las fibras musculares (Light y Champion, 1984).

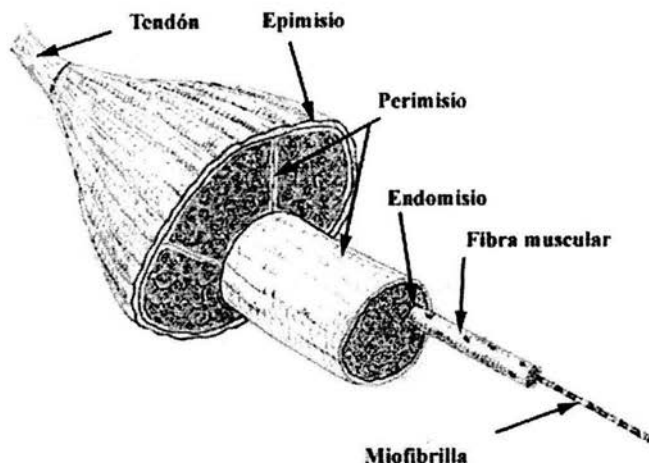


Figura 5. Localización anatómica de los diferentes tipos de colágeno (epimisio, perimisio y endomisio) en el músculo (Light, 1987)

El epimisio se separa fácilmente del músculo, por lo cual no es necesario considerarlo como un factor importante en la textura de la carne. El perimisio y endomisio son los que componen el tejido conectivo intramuscular, pues prácticamente no se pueden separar del músculo. Entre estos dos, el perimisio representa la mayor parte (cerca del 90%) (Light y Champion, 1984), por lo que se considera la fuente de variación más importante en lo que a calidad de la carne se refiere (Light *et al.*, 1985).

El número de cadenas polipeptídicas que forman la molécula de colágeno, así como la composición de las mismas, determina la existencia de varios fenotipos de colágeno (se han identificado 14) que usualmente se denominan utilizando números romanos (Van der Rest y Garrone, 1991). Como se muestra en el Cuadro 5, los colágenos tipo I y III constituyen la mayor parte del colágeno intramuscular (Light y Champion, 1984), aunque también hay pequeñas cantidades de colágeno tipo IV y V.

Cuadro 5. Tipos de colágeno que componen las diferentes capas de tejido conectivo muscular

Capas de tejido conectivo	Estructura que rodea	Tipo de colágeno
Epimisio	Músculo individual	Tipo I
Perimisio	Haces de fibras	Tipos I y III
Endomisio	Fibras individuales	Tipos IV y V

Fuente: Light y Champion (1984)

Algunos investigadores trataron de vincular las variaciones en la suavidad de la carne con la proporción de los diferentes fenotipos de colágeno (Bailey *et al.*, 1979; Burson y Hunt, 1986) sin que se obtuvieran resultados concluyentes al respecto. Por su parte, Hill (1966) demostró que la cantidad total de colágeno muscular tampoco era adecuada para explicar el endurecimiento de la carne asociado con el envejecimiento de los animales (Cuadro 6). Este autor demostró que era la solubilidad del colágeno la que disminuía de forma consistente con la edad cronológica. Posteriormente, otros autores (Allain *et al.*, 1978; Eyre *et al.*, 1984) concluyeron que la insolubilización del colágeno se debía a la formación paulatina de enlaces covalentes cruzados entre las moléculas que forman las fibras de colágeno.

La interpretación práctica de estos hallazgos es que cuando los animales tienen un grado de madurez incipiente, el grado de formación de enlaces cruzados en el colágeno aun es limitado. Esto hace que el colágeno se solubilice fácilmente durante la cocción, sin que se afecte la suavidad de la carne en mayor grado. Sin embargo, a medida que el animal envejece la formación de enlaces cruzados avanza, insolubilizando la molécula de colágeno, lo que endurece la carne.

Cuadro 6. Cantidad y solubilidad del colágeno del músculo *sternomandibularis* en bovinos de la raza Friesian

Categoría	n	Edad	Colágeno, %	Colágeno soluble, %
Becerras	2	8-9 semanas	2.2	21.9
	8	16 semanas	1.2	24.6
	5	18 semanas	1.3	20.7
Novillos	5	4-6 meses	1.8	21.1
	14	10 meses	1.3	11.9
	3	22 meses	1.7	8.5
Vacas	1	2.5 años	1.5	3.6
	1	3 años	1.7	3.7
	2	3.5 años	1.2	4.5
	1	4.5 años	1.3	3.7

Fuente: Hill (1966)

Sistema de producción

Probablemente el sistema de producción bajo el cual se explota el ganado, es el factor de mayor influencia en la calidad de la carne. Esto es porque los distintos sistemas de producción utilizan diferentes razas, fuentes de alimentación, métodos de manejo y los animales se sacrifican a edades diferentes.

En muchos casos, los atributos sensoriales de la carne empeoran a medida que el animal envejece (Romans *et al.*, 1965; Walter *et al.*, 1965; Breidenstein *et al.*, 1968; Berry *et al.*, 1974). En los sistemas intensivos de producción el sacrificio se realiza antes de que el ganado alcance los 30 meses de edad, con lo que se evita este inconveniente. En cambio, la engorda del ganado en los pastizales es generalmente más prolongada y los animales se sacrifican a edades mucho mayores que cuando se suministran concentrados (Hubbert *et al.*, 1996; Noricumbo, 1996).

Alimentación

El tipo de dieta puede provocar cambios en el contenido de grasa intramuscular, así como en la cantidad y solubilidad del colágeno, variables que como se ha descrito, influyen sobre varias propiedades sensoriales de la carne. En este sentido, la alimentación a base de concentrados o de pastos es un ejemplo comparativo clásico. Numerosos estudios (Dinius y Cross, 1978; Crouse *et al.*, 1984; Larick *et al.*, 1987; Melton, 1990; May *et al.*, 1992; Keane y Allen, 1998; Muir *et al.*, 1998) vincularon la finalización en pastoreo con mayor dureza, coloración más oscura y olores extraños en la carne, así como con la coloración amarilla de la grasa, considerada como un defecto por la mayoría de los consumidores (Moloney, 1999). Bennett *et al.* (1995) confirmó estos resultados en un experimento con novillos finalizados en pastoreo o con una dieta de concentrados (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto de la dieta de finalización en las propiedades sensoriales y la suavidad de la carne en novillos¹

Variable	DIETA		P ²
	Forrajes	Concentrados	
n	156	152	
Jugosidad ³	4.7 ± 0.04	5.0 ± 0.04	**
Sabor a carne de res ⁴	5.2 ± 0.03	5.8 ± 0.03	***
Suavidad ⁵	4.5 ± 0.05	6.2 ± 0.05	***
Cantidad de tejido conectivo ⁶	4.9 ± 0.08	6.4 ± 0.08	***
Incidencia de olor/sabor extraño ⁷ , %	36 ± 1.50	14 ± 2.40	***
Fuerza de corte, kg	6.8 ± 0.15	4.0 ± 0.15	***

¹ Adaptado de Bennett *et al.* (1995)

² **P<0.01; ***P<0.001

³ Evaluada en una escala de 8 puntos (4 = ligeramente seca, 5 = ligeramente jugosa)

⁴ Evaluado en una escala de 8 puntos (5 = ligeramente intenso, 6 = moderadamente intenso)

⁵ Evaluada en una escala de 8 puntos (4 = ligeramente dura, 7 = muy suave)

⁶ Evaluado en una escala de 8 puntos (4 = moderada, 5 = ligera, 6 = trazas, 7 = casi inexistente)

⁷ Incidencia media de olores extraños detectada por el panel sensorial

Otros autores (Enser *et al.*, 1998; Mandell *et al.*, 1998; French *et al.*, 2000) comprobaron que los forrajes producen un menor contenido de grasa intramuscular, a la vez que aumentan el contenido de ácidos grasos poli-insaturados (n-3) de la grasa bovina, cuyos efectos positivos sobre los niveles de colesterol en suero y la salud humana son ampliamente reconocidos.

El manejo del sistema de alimentación puede también servir como herramienta para manipular los procesos *post mortem* en aras de mejorar las características de calidad de la carne. Ilian *et al.* (2001) estudiaron el efecto del retiro del alimento por 1, 3 y 7 días antes del sacrificio en la suavidad de la carne de ovinos. Estos autores descubrieron que cuando los animales se sometían a un ayuno de 24 horas previo al sacrificio, la suavidad de la carne, medida objetivamente a través de la fuerza de corte, mejoraba significativamente (Figura 6). Este efecto se atribuyó a los cambios inducidos por el ayuno en la expresión de las calpaínas, proteasas que se consideran responsables del ablandamiento *post mortem* de la carne (Koochmaraie, 1988).

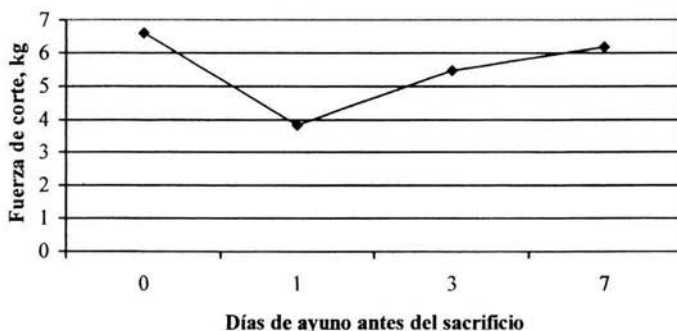


Figura 6. Efecto del ayuno previo al sacrificio en la suavidad de la carne de ovinos; adaptado de Ilian *et al.* (2001)

Por otro lado, el régimen de alimentación ha sido usado como estrategia para mejorar la suavidad de la carne en animales maduros (Miller *et al.*, 1983; Boleman *et al.*, 1996). Los estudios al respecto han evidenciado que cuando animales adultos se someten a una dieta de alta energía, después de haberse mantenido en un plano de alimentación restringida, pueden producir carne con propiedades similares a la de animales jóvenes (Cuadro 8). Este efecto se ha relacionado con una menor velocidad de síntesis del colágeno muscular cuando el plano de alimentación es bajo, lo que retrasa la formación de enlaces cruzados que insolubilizan la molécula y aportan dureza a la carne. Posteriormente, cuando se suministran dietas altas en energía, se dispara la síntesis de colágeno, aumentando la proporción de colágeno inmaduro, que

es mucho más soluble y por lo tanto, la carne tiende a ser más suave. Estos resultados sugieren que el uso combinado de forrajes en las etapas iniciales de crecimiento y de concentrados en las fases más avanzadas, puede permitir obtener carne de buena calidad a costos competitivos.

Cuadro 8. Calidad de la carne de novillos con diferente grado de madurez fisiológica alimentados con dietas de alta energía durante 185 días¹

	n	Grado de madurez ²		Significación
		Jóvenes	Maduros	
Jugosidad ³	25	4.7 ± 0.21	4.9 ± 0.22	NS ⁶
Suavidad ⁴	25	4.8 ± 0.21	5.0 ± 0.17	NS
Aceptación del sabor ⁵	25	5.4 ± 0.14	5.5 ± 0.10	NS
Fuerza de corte, kg	25	7.7 ± 0.28	7.6 ± 0.36	NS
Colágeno total, mg/g	15	11.0 ± 0.57	12.6 ± 0.51	P<0.05
Colágeno soluble, %	15	33.9 ± 1.32	33.4 ± 1.20	NS

¹ Adaptado de Miller *et al.* (1983)

² Madurez según los patrones USDA; jóvenes = madurez A y B; maduros = madurez C y D

³ Escala de 8 puntos: 1 = extremadamente seca, 8 = extremadamente jugosa

⁴ Escala de 8 puntos: 1 = extremadamente dura, 8 = extremadamente suave

⁵ Escala de 8 puntos: 1 = extremadamente indeseable, 8 = extremadamente deseable

⁶ NS = no se observó diferencia significativa (P>0.05)

Evidentemente, la magnitud de las mejorías en la calidad de la carne que se pueden lograr por esta vía no son ilimitadas. Cuando los animales alcanzan cierto grado de madurez, la disminución de la velocidad de crecimiento, ya sea como consecuencia del desarrollo natural o por restricciones dietéticas, parece estar asociada con una disminución de la síntesis del colágeno y una mayor estabilización de los enlaces covalentes cruzados insolubles. Los experimentos desarrollados por Boleman *et al.* (1996) ilustran este comportamiento (Cuadro 9). La alimentación de vacas adultas con dietas de alta energía por diferentes períodos de tiempo, si bien mejoró ligeramente algunas características de calidad de la carne, no permitió obtener valores comparables a los de animales jóvenes.

Cuadro 9. Efecto del tiempo de alimentación con dietas de alta energía en la calidad de la carne de vacas adultas¹

	Tiempo en dietas de alta energía, días				DE ±
	0	28	56	84	
Colágeno total, mg/g	3.78	2.97	3.10	3.37	0.87
Colágeno soluble, %	4.1 ^b	3.9 ^b	4.9 ^a	4.5 ^{ab}	1.4*
Fuerza de corte, kg	7.1 ^a	6.7 ^{ab}	5.7 ^{bc}	5.0 ^c	1.6*
Jugosidad ²	5.0 ^c	5.3 ^a	5.1 ^{bc}	5.2 ^{ab}	0.4*
Suavidad ²	4.7	4.7	4.8	4.9	0.4
Intensidad de sabor ²	4.9 ^c	5.0 ^{bc}	5.1 ^{ab}	5.2 ^a	0.2*
Olor/sabor extraño ³	2.4 ^b	2.5 ^a	2.6 ^a	2.7 ^a	0.2**

¹ Adaptado de Boleman *et al.* (1996)

² Escala de 8 puntos: 1 = extremadamente seca, dura y ligero, respectivamente; 8 = extremadamente jugosa, suave e intenso, respectivamente

³ Escala de 4 puntos: 1 = olor/sabor extraño intenso, 4 = olor/sabor extraño

Raza

A pesar de la gran variedad genética en el ganado bovino actual, la mayoría de las razas se originaron a partir de dos troncos genéticos principales, el *Bos taurus* y el *Bos indicus* (Ensminger y Perry, 1997). El *Bos taurus* predomina en las razas europeas, especializadas en la producción de carne (Angus, Hereford, Charolais, Shorthorn, entre otras). El *Bos indicus*, por su parte, es de origen asiático y prevalece en las razas no especializadas o exóticas (Brahman, Nellore, Guzerat, Gyr, entre otras). Estas razas se caracterizan por su buena adaptación a los ambientes tropicales, con una gran tolerancia al calor y a las plagas de insectos típicas de estos climas. Por lo mismo, son las que predominan en los trópicos (Koger, 1980; Koeslag y Orozco, 1988).

Se ha comprobado que los genotipos con gran influencia de *Bos indicus* tienen muy poca habilidad para depositar grasa intramuscular (Carpenter *et al.*, 1961; Peacock *et al.*, 1979; Huffman *et al.*, 1990; O'Connor *et al.*, 1997) y producen carne con mayor dureza que las razas en que predomina el *Bos taurus*. En un principio se pensó que el bajo contenido de grasa intramuscular era la causa de los problemas de dureza que presentaba la carne que producían estos animales. Investigaciones posteriores vincularon este fenómeno con la elevada actividad de la calpastatina que posee el genotipo *Bos indicus*, lo que podría causar un retardo del

ablandamiento natural de la carne durante la maduración (Wheeler *et al.*, 1989; Wheeler *et al.*, 1990a; Whipple *et al.*, 1990; Sherbeck *et al.*, 1995; Pringle *et al.*, 1997; Bidner *et al.*, 2002).

Wheeler *et al.* (1990b) estudiaron los mecanismos asociados con la variación de la suavidad de la carne en ganado de las razas Brahman y Hereford. En ese estudio, tanto las mediciones subjetivas (panel sensorial) como las objetivas (fuerza de corte) evidenciaron que la carne proveniente de la raza Brahman tenía una mayor dureza (Figura 7 a y b).

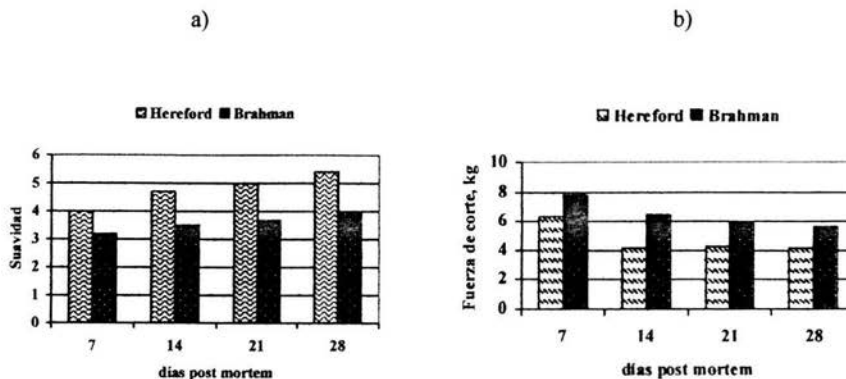


Figura 7. Suavidad de la carne de novillos de las razas Brahman y Hereford. a) Escala de 8 puntos: 1 = extremadamente dura, 8 = extremadamente suave. b) Medición objetiva a través de la fuerza de corte (a mayor fuerza de corte, mayor dureza en la carne) (adaptado de Wheeler *et al.*, 1990b)

En ese mismo experimento, el estudio del complejo enzimático de las calpaínas reveló que en el ganado Brahman la actividad de las proteasas era más reducida, mientras que la actividad del inhibidor de las proteasas era mucho más elevada (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto de la raza en la actividad¹ de los componentes del complejo enzimático de las calpaínas medida a los 0 y 1 día *post mortem*²

	0 d		1 d	
	Hereford	Brahman	Hereford	Brahman
CDP-I ³	95.0 ^a ± 9.5	50.2 ^b ± 8.9	56.8 ^c ± 6.9	71.2 ^c ± 7.7
CDP-II ⁴	72.5 ± 5.2	77.6 ± 4.7	66.7 ± 6.3	73.8 ± 4.8
Inhibidor ⁵	185.3 ^b ± 14.4	240.3 ^a ± 20.6	121.7 ^c ± 13.4	129.6 ^c ± 15.5

¹ Actividad = A₂₇₈ total/100 g músculo

² Adaptado de Wheeler *et al.* (1990b)

³ Proteasa que se activa a concentraciones micromolares de calcio (también llamada μ -calpaína)

⁴ Proteasa que se activa a concentraciones milimolares de calcio (también llamada m-calpaína)

⁵ Inhibidor de las calpaínas (también denominado calpastatina)

^{a,b} Medias con letras diferentes en una misma fila, en el mismo día, difieren significativamente (P<0.05)

^c Las medias de 1 día *post mortem* difieren (P<0.05) de las de 0 días, independientemente de la raza

Empleo de promotores de crecimiento

Hormonas esteroides y otros compuestos de acción hormonal

En las últimas décadas se ha comprobado que no existe un procedimiento de manejo más eficiente, en lo que a ganado productor de carne se refiere, que el uso de agentes anabólicos (Sánchez, 1990). Al parecer su efecto principal es el aumento de la retención de nitrógeno en el músculo, lo que favorece el crecimiento del mismo y disminuye la deposición de grasa, sin que tenga que aumentarse el suministro de alimento. El Cuadro 11 resume los compuestos hormonales más usados en ganado vacuno.

A diferencia de las ventajas económicas indiscutibles que representa el uso de hormonas en producción animal, el efecto sobre la salud humana y sobre la calidad de la carne es un asunto mucho más controvertido. La reducción del grado de marmoleo, la aceleración de la madurez fisiológica de los animales, el aumento en la incidencia de carne DFD (oscura, firme y seca), así como el endurecimiento de la carne, han sido algunos de los efectos que se le atribuyen a las hormonas (Tatum, 1993).

Cuadro 11. Compuestos de acción hormonal más usados en ganado bovino

Sustancia	Actividad hormonal	Categoría de animal en que se usa
<i>Esteroides naturales presentes en mamíferos</i>		
17- β -estradiol y ésteres	Estrógenos	Becerras, novillos y novillas
Testosterona y ésteres	Andrógenos	Novillas
Progesterona	Progestágenos	Novillos
<i>Esteroides sintéticos</i>		
Propionato de testosterona, acetato de trenbolona (TBA)	Andrógenos	Novillos, novillas
Benzoato de estradiol, monopalmitato de estradiol	Estrógenos	Novillos, novillas
Acetato de melengestrol	Progestágenos	Novillas
<i>No esteroides sintéticos</i>		
Hexestrol, diacetato de dienestrol, zeranol	Estrógenos	Becerras, novillos y novillas

Fuente: Taylor (1984); McEvoy *et al.* (1987); Martin *et al.* (1992)

Sin embargo, los resultados de numerosos estudios sobre el tema suelen ser contradictorios. Algunos autores no han encontrado efectos negativos del acetato de trenbolona en la suavidad de la carne de bovino (Huck *et al.*, 1991; Belk y Savell, 1992). No obstante, estos efectos sí se han observado en otros estudios, sobre todo cuando se administra al ganado vacuno poco antes del sacrificio (Foutz *et al.*, 1990).

En el estudio nacional de calidad de la carne bovina de 1991 en Estados Unidos (Smith *et al.*, 1992) se comprobó que los implantes anabólicos estaban afectando el grado de calidad de las canales. Esto se atribuyó a los efectos negativos de los implantes sobre el marmoleo y la madurez esquelética, factores principales en que se basa el sistema de evaluación norteamericano para determinar el grado de calidad.

Independientemente de la magnitud de las afectaciones a la calidad de la carne que pueda implicar el suministro de hormonas al ganado, los posibles efectos adversos sobre la salud humana suscitan desconfianza e incertidumbre entre los consumidores. La Administración Federal de Medicamentos (FDA) de los Estados Unidos llevó a cabo extensos estudios, que concluyeron con la aprobación de varios agentes anabólicos para uso comercial (Tatum, 1993). Según la FDA, siempre que se utilizaran únicamente implantes en la oreja, los residuos de hormonas en la carne no constituían una amenaza para la salud humana, en las dosis aprobadas

para la práctica comercial (Taylor, 1984). Sin embargo, advierte que esto solo podía ser válido en los países donde las agencias encargadas de la regulación pudieran garantizar las mismas condiciones.

A pesar de los esfuerzos norteamericanos, la Unión Europea prohibió la comercialización en su territorio de carne proveniente de animales tratados con cualquier tipo de agente anabólico (Lamming, 1983). Las medidas radicales tomadas en Europa se deben a las propiedades cancerígenas que se comprobaron en compuestos hormonales como el dietilestilbestrol (Ribeiro *et al.*, 1997).

Si se realiza un balance, hasta el momento no existe garantía absoluta de que la presencia de compuestos de acción hormonal en la carne no afecten la salud de alguna forma. En general los consumidores muestran reservas a consumir carne de animales tratados, incluso en Estados Unidos, donde su uso está estrictamente regulado y se considera seguro para la salud humana. Estudios recientes demostraron que la tendencia hacia la baja en la demanda de carne de bovino en norteamérica está determinada, entre otros factores, por la percepción negativa que tienen los consumidores sobre la administración de hormonas y otras sustancias artificiales al ganado (USDA/ERS, 2002).

β-agonistas adrenérgicos

Los β-agonistas adrenérgicos son uno de los grupos de compuestos de acción hormonal más importantes entre las sustancias utilizadas como promotores del crecimiento en animales de abasto (Martin *et al.*, 1992; Moody *et al.*, 2000). Su nombre se debe a que poseen una estructura similar a las catecolaminas adrenalina y nor-adrenalina (Mersmann, 1998), sustancias naturales presentes en mamíferos que interactúan con los receptores β de varios tejidos, entre ellos el muscular y el adiposo. En contraste con los implantes hormonales, los β-agonistas pueden suministrarse por vía oral, mezclados con el alimento, pues son fácilmente absorbidos en el tracto digestivo (Smith, 1998).

La activación de los receptores β desata una compleja cadena de reacciones bioquímicas que provoca un aumento de la síntesis proteica en el músculo. Este fenómeno puede estar o no acompañado por una disminución del catabolismo proteico muscular y de la lipogénesis en el tejido graso, en dependencia del subtipo de receptor β de que se trate (Bergen *et al.*, 1989; Dazzi *et al.*, 1991; Moloney *et al.*, 1991; Mersmann, 1998; Mills, 2001; Liang y Mills, 2002). Esto conlleva a la obtención de canales con un mayor contenido magro y mejor conformación, lo que incrementa su valor económico.

Entre los β -agonistas, el clenbuterol ha sido el más estudiado, quizás por ser mucho más potente que sus análogos (Smith, 1998). Por ejemplo, el clenbuterol puede producir efectos anabólicos cuando se suministra en dosis tan bajas como 1 ppm en el alimento; mientras que el cimaterol y el salbutamol requieren dosis entre 5 y 40 veces mayores, respectivamente (Warriss *et al.*, 1989; Garssen *et al.*, 1995). El Cuadro 12 lista los principales β -agonistas que han sido estudiados como promotores de crecimiento en varias especies animales.

Uno de los efectos negativos más reconocidos de los β -agonistas sobre la calidad de la carne es que provocan una mayor dureza en la misma (Pringle *et al.*, 1993; Jeremiah *et al.*, 1994; Vestergaard *et al.*, 1994; Simmons *et al.*, 1997; Luño *et al.*, 1999; Rubio *et al.*, 1999; Koohmaraie *et al.*, 2001). El endurecimiento de la carne parece estar relacionado, en parte, con la reducción del contenido de grasa y el aumento de la cantidad de colágeno insoluble que causan los β -agonistas (De Blass, 1990). Por otra parte, se ha demostrado que los β -agonistas interfieren con el sistema enzimático de las calpaínas (Sensky *et al.*, 1996; McDonagh *et al.*, 1999; Ilian *et al.*, 2001) y con ello afectan el ablandamiento *post mortem*. En varios experimentos con ganado bovino se ha observado una inhibición de la actividad de las calpaínas, acompañada por un aumento en la actividad de las calpastatinas, su inhibidor natural (Geesink *et al.*, 1993; Garssen *et al.*, 1995; Luño *et al.*, 1999).

Además de los problemas de dureza, la administración de β -agonistas al ganado se ha relacionado con problemas en el color (carne muy oscura o muy pálida), altos valores de pH y mayor incidencia del defecto DFD en carne de bovinos, porcinos y ovinos (Warriss *et al.*, 1989; Berge *et al.*, 1991; Stecchini *et al.*, 1991; Geesink *et al.*, 1993; Garssen *et al.*, 1995).

La presencia de residuos de β -agonistas en los tejidos comestibles representa un riesgo potencial para la salud pública debido a los trastornos agudos que causan en el hombre. Se han observado síntomas como temblores, palpitaciones, dolor de cabeza, eritema facial, disnea, náuseas y vómitos, entre otros (Kuiper *et al.*, 1998; Brambilla *et al.*, 2000).

Cuadro 12. β -agonistas adrenérgicos que han sido estudiados en diferentes especies de abasto

β -agonista	Especie involucrada	Referencias
Clenbuterol	Bovinos, porcinos, ovinos, aves, conejos	Geesink <i>et al.</i> (1993); Garssen <i>et al.</i> (1995); Li <i>et al.</i> (1995); Hulot <i>et al.</i> (1996); Li <i>et al.</i> (1997); Rehfeldt <i>et al.</i> (1997); Romboli <i>et al.</i> (1997); Simmons <i>et al.</i> (1997); Hamano <i>et al.</i> (1998); Luño <i>et al.</i> (1999); Zu <i>et al.</i> (2000)
Cimaterol	Bovinos, porcinos, ovinos, aves	Beerman <i>et al.</i> (1986); Mersmann <i>et al.</i> (1987); Morgan <i>et al.</i> (1989); Vestergaard <i>et al.</i> (1994); Byrem <i>et al.</i> (1998)
Zilpaterol	Bovinos	Rubio <i>et al.</i> (1999); Intervet (2002)
Salbutamol	Bovinos	Garssen <i>et al.</i> (1995)
L-644.969	Ovinos	Convey <i>et al.</i> (1987); Koohmaraie <i>et al.</i> (1991); Koohmaraie <i>et al.</i> (1996); Moibi <i>et al.</i> (2000)
Ractopamina	Porcinos	Ri <i>et al.</i> (1999); McKeith (2001); Herr <i>et al.</i> (2001); Mills (2001); Wagner <i>et al.</i> (2001)

Por ello, el uso de la mayoría de estas drogas en producción animal está prohibido en casi todo el mundo (Kuiper *et al.*, 1998; Mitchell y Dunnavan, 1998; NOM, 2000). Las excepciones a la regla son el zilpaterol, aprobado para la ganadería bovina de carne en México y Sudáfrica; y la ractopamina, legalizada en México y Estados Unidos para su uso en cerdos (Moody *et al.*, 2000).

Muchos ganaderos han continuado usando ilegalmente β -agonistas, en aras de mantener el beneficio económico que reportan (Elliot *et al.*, 1995). Esto explica la recurrencia de brotes de intoxicación en humanos (Martínez-Navarro, 1990; Pulce *et al.*, 1991; Brambilla *et al.*, 1997; Sporano *et al.*, 1998; Brambilla *et al.*, 2000; Frías, 2002; Pérez, 2002), la mayoría vinculados al consumo de carne y vísceras con residuos de clenbuterol.

La implicación del clenbuterol en la mayoría de los casos se debe, como se mencionó anteriormente, a que es uno de los β -agonistas más potentes y en consecuencia, es el que los productores prefieren utilizar (Smith, 1998). El Comité Mixto FAO/OMS de expertos en aditivos

alimentarios (OMS, 1998) recomienda que la ingestión diaria admitida (IDA) de clenbuterol no debe sobrepasar los 0.004 $\mu\text{g}/\text{kg}$ peso corporal; mientras que los límites máximos de residuos correspondientes en ganado bovino son 0.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en músculo y 0.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en hígado y riñones.

Manejo ante mortem

La carne es el resultado de un complejo proceso de reacciones bioquímicas que tienen lugar en el músculo, después que el animal es sacrificado. Este proceso, conocido como conversión del músculo en carne, puede influir significativamente en las características de calidad de la carne.

La manipulación de los animales antes del sacrificio ha sido ampliamente reconocida como un factor que influye significativamente en la calidad de la carne (Fisher y Hamm, 1981; Cockram y Corley, 1991; Olsson *et al.*, 1995; McNally y Warriss, 1996; Granding, 1997; Gregory y Granding, 1998). El estrés combinado del transporte, la falta de alimento, el hacinamiento y las temperaturas extremas, entre otras condiciones que con frecuencia tienen lugar antes del sacrificio, pueden afectar los cambios *post mortem* en el músculo y con ello la calidad de la carne (Hubbert *et al.*, 1996).

El efecto principal del estrés *ante mortem* es la drástica caída de las reservas de glucógeno muscular. Esto provoca que el pH de la carne no baje lo suficiente, obteniéndose la denominada carne oscura, firme y seca ó DFD (Tarrant y Granding, 1993; Gregory y Granding, 1998). La carne DFD, además de poseer los defectos que su nombre indica, es más propensa al deterioro microbiano dado su pH más elevado y su mayor contenido de humedad (Tarrant y Granding, 1993).

Por su parte, el ayuno prolongado causa un aumento en el catabolismo de las proteínas miofibrilares, las cuales disminuyen en relación con el colágeno. El predominio del colágeno sobre las proteínas miofibrilares puede resultar en el endurecimiento de la carne (Etherington, 1984; Asghar y Batti, 1987; Aalhus *et al.*, 1991).

Las malas técnicas de aturdimiento y desangrado durante el sacrificio pueden causar daños en la piel, hemorragias internas y ruptura de huesos, entre otros defectos que atentan contra la calidad del producto en general y causan pérdidas económicas (Gregory y Granding, 1998).

1.3.2 Metodología para la determinación de los indicadores de la calidad de la carne

Composición química

Para la determinación de la composición química es esencial asegurar la homogeneidad de la muestra. Esto se logra cortando, moliendo y macerando la carne, cuidando que la misma no se sobrecaliente. En este sentido, los procesadores modernos de alimentos son muy efectivos (Warriss, 2000). Los métodos oficiales para la determinación de la composición química proximal de la carne – humedad, proteínas, lípidos, entre otros – están descritos en la AOAC (1990).

El contenido de colágeno total y de colágeno soluble usualmente se estiman a partir del contenido de hidroxiprolina. Esto es posible porque el colágeno se distingue del resto de las proteínas por su elevado contenido de hidroxiprolina (aproximadamente 14% en base seca en el colágeno muscular) (Etherington y Sims, 1981). Esta proporción de hidroxiprolina se utiliza como factor para obtener la cantidad de colágeno. Sin embargo, el nivel de hidroxiprolina en la molécula puede variar en dependencia de la localización anatómica del tejido conectivo (piel, tendones, músculo). Incluso en el mismo músculo, el nivel de este aminoácido no es igual en colágeno soluble e insoluble. Cross *et al.* (1973) establecieron los factores más adecuados para estimar el contenido de colágeno muscular. Según estos autores, la multiplicación del contenido de hidroxiprolina por 7.52 (para colágeno soluble) y por 7.25 (para colágeno insoluble) rinde una estimación conveniente. Estos valores se corresponderían con niveles de hidroxiprolina de 13.29 y 13.79% en colágeno soluble e insoluble, respectivamente.

La determinación de hidroxiprolina puede realizarse por métodos físicos, histoquímicos, inmunoquímicos y químicos. Entre estos, los métodos químicos son los más usados para la estimación del contenido de colágeno en la carne (Boleman *et al.*, 1996; Listrat *et al.*, 1999; Silva *et al.*, 1999; Powell *et al.*, 2000).

Los métodos químicos comprenden una primera fase de hidrólisis, cuyo fin es liberar la hidroxiprolina de la cadena polipeptídica. La hidrólisis generalmente se realiza con un ácido fuerte (usualmente HCl 6 M) a temperaturas superiores a los 100 °C, ya sea en tubos sellados o en reflujo. La relación temperatura/tiempo en la hidrólisis puede variar, en función de la rapidez con que se desee concluir el proceso. Por lo general, mientras más baja es la temperatura, mayor es el tiempo requerido. El Cuadro 13 resume las condiciones de hidrólisis descritas en varias publicaciones.

Cuadro 13. Condiciones de hidrólisis para la estimación del contenido de colágeno en músculo

Ácido	Temperatura, °C	Tiempo, horas	Referencia
HCl 6M	115	20	Miller <i>et al.</i> (1983)
H ₂ SO ₄ 7M	?	?	Silva <i>et al.</i> (1999)
HCl 6M	102	6	Cross <i>et al.</i> (1973)
HCl 6M	105	toda la noche	Listrat <i>et al.</i> (1999)
HClO ₄ 72%	100	2-4	Etherington y Sims (1981)
HCl 6M	130	3	Etherington y Sims (1981)

Una vez concluida la hidrólisis el aminoácido libre se somete a un proceso de oxidación. Esto genera un compuesto pirrólico, que luego se determina colorimétricamente al reaccionar específicamente con el p-dimetil-amino-benzaldehído (reactivo de Ehrlich). El producto de esta reacción genera un color rojo-marrón intenso, que es directamente proporcional a la concentración de hidroxiprolina en la muestra.

Color

El color de la carne está determinado fundamentalmente por la concentración y el estado químico de la mioglobina, que es el pigmento natural del músculo (Cornforth, 1994). La molécula de mioglobina contiene en su estructura un grupo hemo, con un átomo central de hierro que le permite asociarse a otros átomos con carga negativa, como es el caso del oxígeno. Esta propiedad es la base de su función biológica, que es servir de reserva de oxígeno para el músculo. Cuando el animal muere y la carne queda expuesta al oxígeno ambiental, el átomo de hierro puede asociarse a este sin oxidarse. A esto se le llama oxigenación y la molécula de mioglobina toma un color rojo brillante, mismo que se refleja en la carne. Cuando la exposición al oxígeno es prolongada el átomo de hierro puede oxidarse y en esas condiciones la carne toma color café (Lawrie, 1974).

Los cambios de color que ocurren debido a la oxigenación u oxidación de la mioglobina pueden describirse tanto por mediciones objetivas como subjetivas. La descripción subjetiva del color es difícil por cuanto depende de las percepciones individuales, la apariencia del objeto y la iluminación. Para contrarrestar estas desventajas, se crearon patrones de referencia en los que el color de la muestra se hace coincidir con el color más parecido dentro de una serie de patrones, ya sea de color o de fotografías de carne (Agriculture Canada, 5180).

La principal desventaja de los métodos subjetivos radica en lo difícil que puede ser encontrar una coincidencia exacta de la muestra con alguno de los patrones. Sin embargo, las escalas

subjetivas son baratas y fáciles de usar, por lo que son muy útiles como técnica de rutina para el control de calidad.

Los métodos objetivos pueden especificar cualquier color como la combinación de diferentes cantidades de rojo, verde y azul puros, llamados “primarios reales”. Los equipos desarrollados para medir el color transforman estos primarios reales en “primarios imaginarios” X, Y y Z. Los valores de X, Y y Z definen un color como un punto en el espacio y de hecho pueden utilizarse para especificar varios espacios de color.

La Comisión Internacional del Color (CIE, por sus siglas en francés), definió el espacio de color como CIELAB. Este espacio tiene la forma de una esfera (Figura 8) y tiene la ventaja de que posee uniformidad visual, de manera que distancias iguales en el sistema representan aproximadamente las mismas distancias visuales tal y como las percibe el ojo humano (Warriss, 2000). Los valores de X, Y y Z se utilizan entonces para calcular las tres coordenadas: L^* , a^* y b^* . Cualquier combinación de L^* , a^* y b^* define un color exactamente como un punto en la esfera tridimensional. El valor de L^* fluctúa entre el blanco y el negro y se denomina como luminosidad. Por su parte, a^* y b^* son coordenadas cromáticas. Los valores positivos de la coordenada a^* miden la intensidad de rojo, mientras que los negativos la intensidad de verde. De igual forma, los valores positivos y negativos de la coordenada b^* miden la intensidad de amarillo y azul, respectivamente.

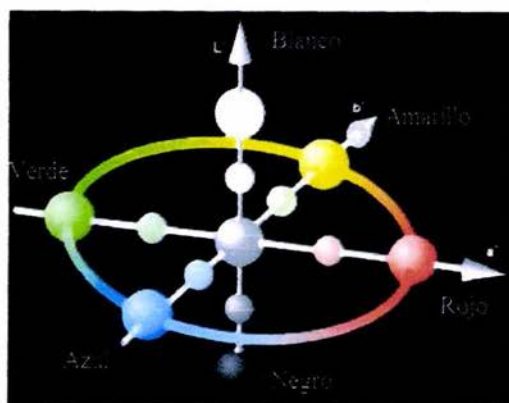


Figura 8. Espacio de color CIELAB

En la práctica, los valores de L^* , a^* y b^* se obtienen por lectura directa sobre la carne con instrumentos especiales llamados colorímetros (Minolta Chroma Meter, Hunter Colorimeter) y son interpretados como luminosidad, intensidad de rojo e intensidad de amarillo, respectivamente, pues en la carne todas las coordenadas (L^* , a^* y b^*) toman valores positivos.

Cuando se mide el color en carne hay que tener en cuenta varias consideraciones (Warriss, 2000). En primer lugar, las muestras deben ser lo suficientemente gruesas para que la luz no las atraviese. Esto implica el uso de piezas con un grosor mínimo de 1 cm, de preferencia 2.5 cm. Además, la carne debe exponerse al aire por un período de al menos 15 minutos, para que ocurra el llamado 'floreamiento' o 'blooming', que no es más que la oxigenación de los hemopigmentos de la superficie. El tiempo para el florecimiento se debe tener en cuenta tanto cuando se corta la superficie de la carne para realizar la lectura, como cuando se lee el color en carne que estuvo empacada y/o almacenada al vacío.

pH

La acidificación *post mortem* es uno de los principales cambios en el proceso de conversión del músculo en carne (Lawrie, 1974). El grado de acidificación muscular se mide a través del pH, variable que puede brindar información valiosa sobre la calidad potencial de la carne. De hecho, el pH es un indicador universalmente aceptado para la detección de carnes PSE y DFD, medido a los 45 min y 24 horas *post mortem*, respectivamente (Warriss, 2000).

El método más generalizado para la medición del pH es el uso de electrodos de vidrio acoplados a pH metros. Los electrodos están hechos de un vidrio especial sensible a los iones hidrógeno. Los pH metros actuales están contruidos con una combinación de electrodos que incorpora el electrodo de referencia y cuentan con compensación automática de temperatura. El voltaje pH-dependiente que se genera entre los dos electrodos se amplifica y se muestra en una escala de medición calibrada para los valores de pH.

El pH de la carne puede medirse directamente, mediante la inserción del electrodo en el músculo. En estos casos es recomendable hacer una incisión previa con un cuchillo, para que el contacto con la parte sensible del electrodo sea más eficiente. Esta técnica es rápida y precisa, ya que el pH se mide *in situ*.

Un método alternativo a la medición directa es la homogenización de una pequeña muestra de carne en agua y medir el pH del homogenizado. Normalmente se utiliza una relación carne:agua de 1:10. Cuando se observan variaciones en las lecturas de una misma muestra, esto puede deberse a cambios en la concentración iónica alrededor de las células durante la homogenización. Para eliminar estos efectos, se debe homogenizar la muestra en una solución de cloruro de potasio 0.15 M en lugar de agua. En ocasiones puede ser que la lectura continúe cambiando,

sobre todo si se está midiendo el pH antes de las 24 horas *post mortem*, cuando el proceso de acidificación está aún activo. En estos casos se recomienda homogenizar la muestra en una solución de iodoacetato de sodio 5 mM en cloruro de potasio 0.15 M ajustada a pH 7.0 (AOAC, 1990).

Pérdidas por cocción

Durante la cocción se producen tanto pérdidas por evaporación como por el escurrimiento de líquidos de las piezas de carne. La pérdida de peso, por razones obvias, tiene fundamentalmente implicaciones económicas. La medición de esta variable se basa en la diferencia de peso de las muestras antes y después de cocidas (AMSA, 1995).

La magnitud de las pérdidas puede variar en función del contenido de humedad y grasa de la carne. Por esta razón, en algunos trabajos se cuantifican separadamente las pérdidas por evaporación y las correspondientes al jugo de cocción. La presencia de cantidades considerables de grasa puede aumentar las pérdidas, especialmente si se cuece la carne a la parrilla (Sheard *et al.*, 1998). Cuando no es de interés la cuantificación separada, se mide solamente la pérdida de peso total (Safari *et al.*, 2002; Chambaz *et al.*, 2003; Jeremiah *et al.*, 2003).

Atributos sensoriales

Métodos subjetivos. Los métodos subjetivos involucran el empleo de paneles sensoriales, que pueden estar constituidos por jueces entrenados o por consumidores. Cuando se utiliza un panel con jueces entrenados se realizan las llamadas pruebas sensoriales analíticas. Estas permiten especificar la calidad de las muestras, obtener criterio sobre las diferencias que existen entre estas o cuantificar esa diferencia; de ahí que se clasifiquen en pruebas discriminatorias y descriptivas (Piggott *et al.*, 1998).

En los paneles con consumidores se emplean pruebas afectivas, mismas que dan criterio de aceptación o rechazo de las muestras que se evalúan. En estos casos se pueden realizar las pruebas pareada, de ordenamiento o las de nivel de agrado. El tipo de prueba a utilizar depende de las características particulares de cada estudio. La prueba pareada puede ser útil cuando se desea evaluar dos muestras. Usualmente se le ofrecen dos muestras a los jueces y se les pide que indiquen cuál de las dos prefiere en cuanto a un atributo determinado o a su aceptación general. La prueba de ordenamiento es preferible cuando se tiene un mayor número de muestras (3 ó más). En este caso el objetivo es que los jueces ordenen las muestras en orden de preferencia, también teniendo en cuenta un atributo específico o la aceptación general. En las pruebas de

nivel de agrado, los jueces evalúan las muestras de acuerdo con una escala hedónica que especifica valores crecientes de nivel de agrado, ya sea de un atributo específico o de la aceptación general del producto. El número de puntos de la escala puede variar entre cinco y diez. La Figura 9 a y b muestra ejemplos generales de escalas hedónicas para la evaluación sensorial con jueces consumidores.

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 7. Me gusta mucho | 5. Me gusta mucho |
| 6. Me gusta moderadamente | 4. Me gusta ligeramente |
| 5. Me gusta ligeramente | 3. Ni me gusta ni me disgusta |
| 4. Ni me gusta ni me disgusta | 2. Me disgusta ligeramente |
| 3. Me disgusta ligeramente | 1. Me disgusta mucho |
| 2. Me disgusta moderadamente | |
| 1. Me disgusta mucho | |
- a) b)

Figura 9. Escalas hedónicas de cinco y siete puntos para la evaluación sensorial con jueces consumidores (Nute, 1996)

Métodos objetivos. Los métodos objetivos se basan en el uso de instrumentos que tratan de simular las percepciones sensoriales del hombre. En la actualidad hay disponible una gran variedad de equipos para la evaluación de muchas características sensoriales de la carne: narices electrónicas, texturómetros, colorímetros, entre otros (Van der Wal *et al.*, 1988; Annor-Frempong *et al.*, 1998). Entre los métodos objetivos, los desarrollados para la medición del color y la suavidad son los más ampliamente usados. Esto es porque que han mostrado una mayor correlación con los paneles sensoriales. La medición objetiva del color ya fue descrita anteriormente.

Uno de los métodos más usados para evaluar la suavidad de la carne es la llamada fuerza de corte o prueba de Warner Bratzler (Albaugh *et al.*, 1975; Johnson *et al.*, 1988; George *et al.*, 1999; Brooks *et al.*, 2000; Safari *et al.*, 2002). Su nombre se debe a que fue desarrollada por los científicos estadounidenses K.F. Warner y L.J. Bratzler a inicios de los años 1930s, aunque la versión final fue publicada por Bratzler (1949).

La determinación se basa en la fuerza requerida por una cuchilla triangular para realizar un corte transversal a las fibras musculares en un cilindro de carne cocida de 1.27 cm de diámetro, tratando de estimar así la fuerza que ejercen las mandíbulas durante la masticación de la carne. La cuchilla es operada por un motor eléctrico y a medida que la misma corta la muestra, la fuerza requerida (en kg o Newtons) para el corte se mide en una escala acoplada.

Para la medición de la fuerza de corte es necesario ejecutar correctamente los protocolos descritos si se quiere obtener resultados consistentes (Wheeler *et al.*, 1994, 1996, 1997; Shanks *et al.*, 2002), ya que se han identificado varias fuentes de error. La orientación en que se saca el cilindro de la pieza de carne debe ser longitudinal a las fibras musculares, de modo que posteriormente se pueda realizar el corte perpendicular a estas. Asimismo, factores tales como la congelación, la maduración y las condiciones en que se cuece la carne, pueden introducir variaciones en los resultados. Los protocolos normalizados para la determinación de la fuerza de corte están descritos en “Research Guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat” (AMSA, 1995).

Varios autores han utilizado la fuerza de corte como un método para clasificar la carne de bovino de acuerdo con su suavidad. Wulf *et al.* (1996), utilizaron un valor de 3.85 kg como punto de viraje para clasificar la carne en suave o dura. Por su parte, Belew *et al.* (2003) hicieron un estudio en varios músculos de bovino, mismos que clasificaron de acuerdo con los valores de fuerza de corte como muy suaves (<3.2 kg), suaves (entre 3.2 y 3.9 kg), intermedios (entre 3.9 y 4.6 kg) y duros (>4.6 kg). Esta clasificación parece ser más sensible que la primera, porque describe la suavidad en un mayor intervalo de valores.

Residuos de clenbuterol

El clenbuterol *per se* no es un indicador de la calidad de la carne. Sin embargo, las dosis utilizadas para promover el crecimiento del ganado dejan residuos en los tejidos comestibles, incluyendo el músculo, capaces de provocar síntomas clínicos en humanos (Sporano *et al.*, 1998; Brambilla *et al.*, 2000), sobre todo cuando no se tiene en cuenta un período de retiro de la droga antes del sacrificio. Resulta pues prudente, en aquellos lugares donde se sabe que hay uso ilegal de clenbuterol, evaluar el grado de exposición de la población, por los riesgos potenciales que esto representa para la salud pública.

Los sistemas de vigilancia se basan en la toma de muestras de orina, hígado, riñón, retina o pelo del ganado, pues son los lugares en que la droga se acumula en mayor proporción y/o donde también permanece por más tiempo (Smith y Paulson, 1997; Smith, 2000). El músculo normalmente no se utiliza como tejido de referencia, ya que el tiempo de permanencia de la droga en el mismo es mucho más corto. No obstante, es muy importante conocer si la población puede estar segura de que la carne que consume está libre de clenbuterol. En este sentido, el músculo puede servir como indicador inequívoco de la magnitud del problema.

Los métodos de determinación del clenbuterol son por lo general sofisticados y costosos. Se pueden clasificar en métodos de detección y de identificación/cuantificación o confirmativos

(Kuiper *et al.*, 1998). Los de detección generalmente se emplean en muestreos exploratorios, donde se analizan un gran número de muestras. No son más que ensayos inmuno-enzimáticos cualitativos que detectan la presencia de la droga con base en una reacción inmuno-enzimática competitiva (Elliot *et al.*, 1993; Elliot *et al.*, 1995; Sporano *et al.*, 1998). Los kits de reactivos para realizar estos inmunoensayos están disponibles en el mercado. Compañías como la R-Biopharm GmbH y Eurodiagnostica BV, han perfeccionado estas técnicas de modo que se puede realizar también la cuantificación (R-Biopharm, 1996; Brambilla *et al.*, 2000).

Los métodos confirmativos emplean más la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y la cromatografía de gases en conjunto con la espectrometría de masa (John *et al.*, 1993; González *et al.*, 1996; Sporano *et al.*, 1998). Estas técnicas son mucho más específicas y precisas que los inmunoensayos, aunque mucho más costosas. De preferencia se utilizan como el paso que sigue a las pruebas presuntivas, especialmente si el resultado de los análisis tendrá implicaciones legales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo entre Noviembre de 2002 y Febrero de 2003. Para la recolección de las muestras de carne, se subdividió el país en tres regiones (norte, centro y sur), teniendo en cuenta que en México existen tres grandes zonas ganaderas, cada una con características peculiares. Dentro de cada zona ganadera, se seleccionaron las áreas metropolitanas más importantes, que constituyen los principales puntos de distribución de carne de bovino. Según estos criterios, se seleccionaron las ciudades de Monterrey, NL; México, D.F. y Villahermosa, Tab. El muestreo se restringió a los puntos de venta dentro del mercado formal, que es donde concurren la carne nacional y la importada con clara distinción.

Selección de los puntos de venta por ciudad

La selección de los puntos de venta que participaron en la investigación se realizó al azar. Se conformó un listado con el total de unidades en cada una de las ciudades (ANTAD, 2001). Posteriormente, se asignó un número aleatorio a cada autoservicio, mismo que se utilizó para la elección de los establecimientos a visitar. Se trabajó en las cadenas de autoservicio asociadas a la ANTAD (Asociación Nacional de Tiendas de Autoservicio y Departamentales), que son las de mayor presencia en México. Estas son Wal-Mart de México S de RL de CV, con 230 tiendas; Grupo Gigante, SA de CV, con 206 tiendas; Comercial de México SA de CV, con 147 tiendas; Organización Soriana SA de CV, con 126 tiendas; Grupo Chedraui SA de CV, con 49 tiendas y Grandes Superficies de México SA de CV, con 17 tiendas (ANTAD, 2001). Eventualmente, también se tuvieron en cuenta distribuidoras locales de prestigio, mismas que forman parte de la cadena de ventas al menudeo dentro del mercado formal de carne de bovino y son asiduamente visitadas por la población.

Características de las muestras de carne a evaluar

Se tomaron muestras de carne refrigerada y empacada, que es la forma en que se vende la mayor parte de la carne en los autoservicios. No se trabajó con marcas comerciales, para lograr la mayor homogeneidad posible entre carne nacional e importada sin reparar en categorías por marcas. Por otro lado, indicadores de calidad como la fuerza de corte y el color requieren la utilización de una pieza de carne con cierto grosor, que permita realizar estas técnicas. Por lo tanto, se eligió el corte New York, el cual se puede encontrar tanto en la carne nacional como en la importada y reúne las condiciones necesarias para el estudio. Este corte contiene el músculo

Longissimus dorsi, que es uno de los más usados en los estudios de calidad de la carne. La unidad muestral consistió en tres cortes New York, provenientes del mismo corte primario, pues se utilizó una pieza para los análisis químicos, una para la determinación de los indicadores de calidad y otra para la evaluación sensorial.

Toma de muestras

Se realizaron visitas aleatorias a un total de 80 supermercados hasta que se completó el número de muestras de carne nacional e importada en cada ciudad. El tamaño de muestra se determinó con la ayuda del paquete estadístico Statgraphics Plus 2.1. Primeramente, se estimaron las medias y desviaciones estándar de algunas de las variables a medir, con base en la información publicada en otras investigaciones (Wulf *et al.*, 1997; George *et al.*, 1999; Renand *et al.*, 2001; Wheeler *et al.*, 2001; Chambaz *et al.*, 2003; Jeremiah *et al.*, 2003). Seguidamente, se fijó el número de muestras de carne nacional e importada a tomar en cada localidad, tomando la unidad como el error absoluto tolerable ($\mu = \mu \text{ estimada} \pm 1$), con un nivel de confianza del 95%. Como se esperaba encontrar una gran variabilidad en las características de calidad de la carne, y por otro lado, no se encontraron referencias anteriores de este tipo de investigación en México, se decidió tomar un tamaño de muestra mayor al determinado estadísticamente.

De esta forma, se tomaron 60 muestras en Monterrey, NL; 80 en México, D.F.; y 40 en Villahermosa, Tab., para un total de 180 en el estudio. La mitad de las muestras que se tomaron en cada ciudad fueron de producción nacional y la otra mitad de importación, por lo que se dispuso de 90 muestras de carne nacional e igual número de carne importada.

Aunque toda la carne importada que se encontró en el muestreo provenía de Estados Unidos, en algunos supermercados se vendía exclusivamente carne con el sello de calidad USDA-Choice; en otros, se vendía exclusivamente carne importada sin sello de calidad de origen (US beef); y en muy pocos se vendían ambos tipos de carne. Asimismo, la disponibilidad de ambos tipos de carne importada en las diferentes ciudades no fue uniforme. Mientras que en Monterrey la carne importada con mayor presencia en el mercado era la USDA-Choice, en Ciudad de México y Villahermosa predominaba la carne importada sin sello. Esto motivó que las muestras de carne importada se tomaran de acuerdo con la disponibilidad. Por ello, del total de 90 muestras de carne importada que se obtuvieron, 36 provenían de carne USDA-Choice y 54 de carne importada sin sello. El Cuadro 14 resume la información relacionada con la toma de muestras.

Manejo de las muestras

Las muestras de carne se llevaron al laboratorio de ciencia de la carne de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. Se transportaron por vía terrestre o aérea en envases isotérmicos con geles refrigerantes. Al arribar al laboratorio, se anotó la información contenida en las etiquetas, incluyendo el precio por kilogramo de carne. Posteriormente, todas las muestras se identificaron con números aleatorios, se empacaron al vacío y se almacenaron en congelación (-30 °C). Antes de realizar los análisis, las muestras se descongelaron durante 24-30 horas a 2-4 °C.

Cuadro 14. Puntos de venta muestreados, número de muestras tomadas y tipo de carne disponible al momento de la compra

Zona geográfica/ ciudad	Cadenas de tiendas Nombre comercial	Unidades existentes ¹	Unidades muestreadas	Número de muestras	Disponibilidad de carne en las tiendas		
					Mexicana	USDA- Choice ²	Importada sin sello ³
Norte <i>Monterrey, NL</i>	HEB	5	5	26	x	x	
	WalMart	5	2	4		x	x
	Carrefour	2	1	2	x		
	Soriana	7	7	10	x		
	Gigante	24	10	12	x		
	San Barr	?	2	2	x		
	Super Carnicería Roma	?	1	1	x		
	Vi-Ba Carnes	?	1	2	x	x	
	Rancho el 17	?	1	1	x		
Subtotal		48	30	60			
Centro <i>México, D.F.</i>	WalMart	62	20	40	x	x	x
	Gigante	25	10	16	x		
	Comercial Mexicana	29	10	18	x		
	Carrefour	9	2	6	x		
Subtotal		125	42	80			
Sur <i>Villahermosa, Tab.</i>	WalMart	2	2	17			x
	Soriana	2	2	8	x		
	Chedraui	2	2	9	x		
	Carrefour	1	1	3	x		
	Grijalva	1	1	3		x	
Subtotal		8	8	40			
TOTAL		181	80	180			

¹ Datos tomados de la ANTAD (2001)² Carne que se vendía con el sello de calidad de origen USDA-Choice³ Carne que se vendía sin sello de calidad de origen (US beef)

2.1 ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA

Previo a los análisis químicos, se recortó la grasa subcutánea y el epimisio de las piezas de New York y se molió finamente la carne magra en un procesador de alimentos. Se determinaron los contenidos de humedad, grasa y proteína siguiendo la metodología descrita por la AOAC (1990). También se estimó el contenido de colágeno total y colágeno soluble, a partir del contenido de hidroxiprolina (Bergman y Loxley, 1963; Hill, 1966; Cross *et al.*, 1973). A continuación se describen los procedimientos utilizados.

Humedad

Se pesaron 10 g de muestra, por duplicado, en pesa filtros tarados. Los pesa filtros habían estado previamente en estufa a 130 °C, durante dos horas ó toda la noche, para garantizar que estuvieran a peso constante. Las muestras se secaron en una estufa con circulación de aire a 110 °C durante dos horas y media. Al finalizar el secado las muestras se enfriaron en desecadores al vacío y se pesaron nuevamente. El secado se repitió a intervalos de 30 min, hasta que las muestras estuvieron a peso constante. El porcentaje de humedad se calculó según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ humedad} = \frac{(\text{Peso muestra húmeda} - \text{Peso muestra seca}) \times 100}{\text{Peso muestra húmeda}}$$

Grasa

Las muestras secas obtenidas en la determinación de humedad se machacaron en un mortero de porcelana, para disminuir el tamaño de partícula. Seguidamente, se pesaron entre 2 y 3 g (por duplicado) y se envolvieron en papel de filtro Whatman No. 4. El papel fue colocado en un cartucho de celulosa y se le colocó encima un tapón de algodón, colocando el cartucho en el extractor Soxhlet. Por otra parte, se añadieron aproximadamente 150 ml de éter etílico en matraces de bola de fondo plano, tarados previamente, que contenían 3 perlas de vidrio. Los matraces se acoplaron a los extractores y se realizó la extracción durante 5 horas, a razón de 4 descargas por hora. Al finalizar la extracción, los matraces se colocaron en estufa a 100 °C durante 30 min, para eliminar los residuos de éter. Por último, se dejaron enfriar los matraces con

el extracto en desecadores al vacío y se pesaron. El porcentaje de grasa se calculó según las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ Grasa}_{\text{ base seca}} = \frac{\text{Peso extracto} \times 100}{\text{Peso muestra}}$$

$$\% \text{ Grasa}_{\text{ base húmeda}} = \% \text{ Grasa}_{\text{ base seca}} \times \% \text{MS}/100; \text{ donde:}$$

$$\% \text{MS: porcentaje de materia seca (100 - \% humedad)}$$

Proteína

El contenido de proteína se estimó a partir del contenido de nitrógeno total (N \times 6.25). Se pesaron 0.1 g, por duplicado, de las muestras secas resultantes de la determinación de humedad, en un tubo de digestión. Se añadió una tableta catalizadora Kjeltab y 5 ml de H₂SO₄ concentrado. Los tubos se colocaron en una unidad de digestión a 420 °C (en campana de extracción) y se dejó digerir la muestra hasta destrucción total de la materia orgánica (color verde-azul traslúcido del líquido). Finalizada la digestión, se dejaron enfriar los tubos y se acoplaron en el destilador. Se añadieron 50 ml de NaOH al 40% y se recogieron 100 ml del destilado en erlenmeyers de 250 ml que contenían 50 ml de ácido bórico con indicadores. El destilado se valoró con una solución de HCl 0.1 N hasta aparición de un color rosa permanente. En cada corrida se incluyó un blanco de reactivos. El porcentaje de proteína se calculó de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ N}_{\text{ base seca}} = \frac{V_{\text{HCl}} \times C(\text{HCl}) \times 0.014 \times 100}{\text{Peso muestra}}$$

$$\% \text{ N}_{\text{ base húmeda}} = \% \text{ N}_{\text{ base seca}} \times \% \text{MS}/100$$

$$\% \text{ Protefna} = \% \text{N}_{\text{ base húmeda}} \times 6.25; \text{ donde:}$$

N: nitrógeno total

V_{HCl}: volumen de HCl consumido por la muestra en la valoración, menos el volumen del blanco de reactivos

C(HCl): concentración de la solución de HCl utilizada en la valoración

0.014; peso molecular del nitrógeno, dividido por 1000 para llevar el volumen consumido en la valoración (V_{HCl}) de ml a L

%MS: porcentaje de materia seca (100 - % humedad)

6.25: es el factor que se deriva de asumir que las proteínas contienen 16% de nitrógeno ($100/16 = 6.25$)

Colágeno total y colágeno soluble

Se pesaron 8 g de muestra refrigerada entre 2 y 4 °C, por duplicado, y se pre-secaron a temperatura ambiente en una estufa de secado con vacío a -40 ± 2 kPa. La pérdida de peso promedio de las muestras en estas condiciones fue del 20%. Posteriormente, se pesaron 4 g de muestra pre-secada en un tubo de centrifuga esterilizable de 30 ml con tapa de rosca, se añadieron 12 ml de solución Ringer diluida a $\frac{1}{4}$ de su concentración y se colocaron en un baño de agua a 77 ± 0.2 °C durante 1 hora, agitando con una varilla de vidrio a intervalos de 5 min. Terminada la cocción, se enfriaron los tubos en agua corriente y se centrifugaron a 10 000 RPM por 10 min, recolectando el sobrenadante en erlenmeyers esterilizables de 150 ml con tapa de rosca. Luego se añadieron 8 ml más de solución de Ringer a los tubos y se volvió a centrifugar (10 000 RPM/10 min), recolectando nuevamente el sobrenadante en los mismos erlenmeyers. De esta forma, se obtuvieron las fracciones para determinar el colágeno soluble (contenido en el sobrenadante) e insoluble (contenido en el residuo). Al sobrenadante contenido en los erlenmeyers se le añadió 20 ml de HCl concentrado (aproximadamente 12 M); mientras que al residuo contenido en los tubos de centrifuga se le añadió 20 ml de HCl 6 M. Los tubos y erlenmeyers se taparon, sin llegar a cerrarlos herméticamente, y cada fracción fue hidrolizada a 130 °C por 3 horas en autoclave. Después de la hidrólisis, cada fracción se neutralizó con NaOH 12 N hasta un pH neutro-ligeramente ácido (entre 6 y 7), se filtró a través de papel de filtro Whatman No. 4, y se diluyó con agua destilada hasta 200 ml (fracción soluble) y 500 ml (fracción insoluble). Por último, se tomó 1 ml de cada fracción y se colocó en tubos de ensayo con tapa de rosca para la determinación colorimétrica del contenido de hidroxiprolina (Bergman y Loxley, 1963). Brevemente, se añadieron 2 ml de isopropanol con agitación y enseguida 1 ml de solución oxidante (solución acuosa de cloramina-T al 7% m-v), agitando los tubos. Se dejaron reposar los tubos durante 4 min, para permitir que ocurriera la oxidación. Posteriormente, se añadieron 13 ml de solución de Ehrlich y se colocaron las muestras en un baño de agua a $60 \pm$

0.2 °C durante 25 min, para desarrollar el color. Por último, se enfriaron los tubos en agua corriente y se leyó inmediatamente la densidad óptica a 558 nm. Junto con las muestras se corrieron soluciones estándar de hidroxiprolina de 5, 15, 25, 35 y 45 µg/ml.

El contenido de colágeno se calculó multiplicando el contenido de hidroxiprolina por 7.52 (para la fracción soluble) y por 7.25 (para la fracción insoluble) (Cross *et al.*, 1973). El colágeno total se calculó a partir de la suma del contenido de colágeno en las dos fracciones. El porcentaje de colágeno soluble se calculó dividiendo el contenido de colágeno en la fracción soluble por el contenido de colágeno total.

2.2 DETERMINACIÓN DE LOS INDICADORES DE CALIDAD

pH

Se utilizó el método potenciométrico descrito en la AOAC (1990). Se tomaron 10 g de carne y se diluyeron en 100 ml de agua destilada, homogenizando durante aproximadamente 20 segundos con un agitador de vidrio. El pH se leyó en un pH metro Hanna 8521 con compensación automática de temperatura.

Fuerza de corte y pérdidas por cocción

Para el análisis de la fuerza de corte y las pérdidas por cocción se siguió la metodología descrita por AMSA (1995). Los cortes de New York se pesaron y se les colocaron termopares en su centro geométrico. Posteriormente, la carne se cocinó en una parrilla eléctrica hasta una temperatura interna de 70 °C. Finalizada la cocción, se dejaron enfriar las piezas hasta temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C) y se pesaron nuevamente. Las pérdidas por cocción se determinaron por diferencia de peso. Para la fuerza de corte, se obtuvieron ocho cilindros de 1.27 cm de diámetro de cada pieza. Los cilindros se sacaron en el sentido longitudinal de las fibras musculares. Posteriormente, cada cilindro se sometió a un corte transversal (perpendicular a las fibras) en la cuchilla de Warner Bratzler, obteniéndose la lectura promedio de la fuerza necesaria (kg) para realizar dicho corte en la escala acoplada al equipo.

Color

Se realizó la medición objetiva del color mediante un colorímetro Minolta Chroma Meter CR-310 (Minolta, Osaka, Japón). Se midieron los valores de luminosidad (L^*), intensidad de rojo (a^*) e intensidad de amarillo (b^*). Las muestras se extrajeron de su empaque y se expusieron al ambiente durante 15 min, antes de realizar las mediciones, para permitir la oxigenación de la mioglobina. Se realizaron dos lecturas directamente en la superficie de cada corte, obteniendo a partir de estas el promedio de los valores de L^* , a^* y b^* .

2.3 EVALUACIÓN SENSORIAL

Se trabajó con muestras de carne nacional y las dos categorías de carne importada que se encontraron en el mercado. En la evaluación participó un total de 144 jueces consumidores, a los que se les pidió indicaran el nivel de agrado para la suavidad y la aceptación general de la carne, de acuerdo con la siguiente escala hedónica de siete puntos:

- | | |
|-------------------------------|------------------------------|
| 7. Me gusta mucho | 3. Me disgusta ligeramente |
| 6. Me gusta moderadamente | 2. Me disgusta moderadamente |
| 5. Me gusta ligeramente | 1. Me disgusta mucho |
| 4. Ni me gusta ni me disgusta | |

La carne utilizada en las evaluaciones fue cocida hasta una temperatura interna de 70 °C, siguiendo los mismos procedimientos descritos para las técnicas de fuerza de corte y pérdidas por cocción (AMSA, 1995). Posteriormente, se recortó la costra exterior de las chuletas y se obtuvieron cubos de aproximadamente 2x2x2 cm, los cuales se sirvieron inmediatamente a los jueces.

Cada juez recibió tres muestras identificadas con códigos aleatorios. Se ofrecieron galletas con bajo contenido de sal como acarreador de sabor y agua para el enjuague bucal entre muestras.

2.4 DETERMINACIÓN DE RESIDUOS DE CLENBUTEROL

Se determinó el nivel de residuos de clenbuterol mediante un ensayo inmuno-enzimático competitivo, también llamado ELISA cuantitativo (R-Biopharm, 1996). Se tomaron 2 g de músculo finamente molido y se sometieron al proceso de extracción ácida descrito por Spornano *et al.* (1998). La muestra se suspendió, por duplicado, en 8 ml de una solución de HCl 0.1 N y se homogenizó durante 30 s en un homogenizador. Seguidamente, se centrifugó a 5000 RPM durante 10 min, tomando 20 µl del sobrenadante para el ensayo. Junto con las muestras se corrieron soluciones estándar de clenbuterol con concentraciones de 0, 100, 300, 900, 2700 y 8100 ppt, para obtener la curva estándar. Además, se analizaron dos muestras control positivo – una que contenía 5248 ppt de clenbuterol, suministrada por el Centro Nacional de Servicios Constatación en Salud Animal (CENAPA), y otra a la que se añadieron 200 ppt de clenbuterol, que es el límite máximo de residuos en músculo recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1998). Al finalizar la reacción inmuno-enzimática, las placas se leyeron en un lector ELISA a 450 nm. El límite de detección del método utilizado es de 40 ppt en músculo. El porcentaje de recuperación de clenbuterol en las muestras control positivo fue del 90%.

2.5 ENCUESTA SOBRE CALIDAD DE LA CARNE

Con el objetivo de obtener una referencia sobre los factores con mayor peso en la decisión de compra, así como sobre las preferencias de los consumidores en cuanto a varios atributos de calidad, se realizó una encuesta entre 210 personas de la Ciudad de México. Las entrevistas se realizaron en los meses de noviembre y diciembre de 2003. Los participantes fueron reclutados voluntariamente en hogares, centros de trabajo y escuelas ubicados en las zonas norte (n = 52), sur (n = 95), este (n = 23) y oeste (n = 40) de la ciudad. El cuestionario utilizado fue el siguiente:

2.6 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA COMERCIALIZACIÓN DE CARNE DE BOVINO

Se realizó un estudio comparativo del precio en las diferentes categorías de carne nacional e importada. Adicionalmente, se estudió la relación entre el precio, la composición química y los indicadores de calidad de la carne.

2.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS

Se calcularon las medias, desviaciones estándar y coeficientes de variación generales para todas las variables estudiadas y se generaron los diagramas de frecuencia correspondientes. Los resultados de la carne nacional se procesaron mediante análisis de varianza de clasificación simple, tomando en cuenta el efecto de la zona geográfica (norte, centro ó sur) en que se comercializaba la carne. El mismo procedimiento se utilizó para el análisis de los resultados de la carne importada, en este caso teniendo en cuenta el efecto del sello de calidad de origen (USDA-Choice ó importada sin sello). En carne importada no se tuvo en cuenta el efecto de la zona geográfica. Esto se debió a que el número de muestras de carne USDA-Choice fue muy pequeño en las zonas centro y sur, mientras que el de la carne importada sin sello fue muy reducido en la zona norte. Adicionalmente, se realizó un análisis de varianza general, en el que se incluyeron todas las categorías de carne nacional e importada. Cuando se detectaron diferencias significativas, las medias se discriminaron por medio de la prueba de rangos de Tukey (Lentner y Bishop, 1986). Por último, se realizó un estudio de correlación entre las variables de la composición química y los indicadores de calidad, así como de éstas con el precio de la carne.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 COMPORTAMIENTO GENERAL DE LAS VARIABLES

El Cuadro 15 resume las medias, desviaciones estándar y coeficientes de variación generales para las variables de la composición química y los indicadores de calidad. El contenido de grasa y las características del colágeno, así como la fuerza de corte, pérdidas por cocción, intensidad de rojo e intensidad de amarillo tuvieron una variabilidad considerable. Este comportamiento sugiere que la oferta de carne de bovino en el mercado mexicano es muy heterogénea, tanto en su composición química como en su calidad, sobre todo si se tiene en cuenta que todas las muestras provenían del mismo corte. En general, los resultados obtenidos en el presente trabajo, para todas las variables medidas, concuerdan con los reportados en la literatura para carne de bovino (Miller *et al.*, 1983; Savell *et al.*, 1991; Shackelford *et al.*, 1995; Sherbeck *et al.*, 1995; Camfield *et al.*, 1997; Wulf *et al.*, 1997; Luchak *et al.*, 1998; Listrat *et al.*, 1999; Silva *et al.*, 1999; Wheeler *et al.*, 1999; Renand *et al.*, 2001; Wheeler *et al.*, 2001; Boles y Swan, 2002; Wulf *et al.*, 2002; Belew *et al.*, 2003; Chambaz *et al.*, 2003; Jeremiah *et al.*, 2003; Raes *et al.*, 2003).

El contenido de humedad típico en carne de bovino se encuentra entre 70 y 75% (Lawrie, 1974). Según la distribución de frecuencia, cerca del 80% de las muestras tuvo un contenido de humedad dentro de ese intervalo (Figura 10), con frecuencias marginales para los valores por encima o por debajo del mismo.

El porcentaje de proteína en el grueso de las muestras de carne se ubicó entre 20 y 24% (Figura 11), valores que coinciden con los reportados en la literatura (Renand *et al.*, 2001; Wheeler *et al.*, 2001).

Por su parte, el contenido de grasa intramuscular en 70% de las muestras fue igual o inferior a 4.5%; mientras que solo el 14.5% tuvo niveles superiores a 6.5% (Figura 12). Esto denota que buena parte de la carne que se comercializa en el mercado formal mexicano tiene un contenido de grasa de moderado a bajo. En general, la distribución de frecuencia del contenido de grasa es el reflejo de la gran variabilidad que tuvo este componente.

Cuadro 15. Medias, desviaciones estándar y coeficientes de variación generales (n = 180) para la composición química e indicadores de calidad de la carne

	Media	DE ±	CV, %
<i>Composición química</i>			
Humedad, %	72.5	2.2	3.1
Grasa, %	3.6	2.4	67.7
Proteína (Nx6.25), %	22.1	1.3	5.7
Colágeno total, mg/g	11.3	5.2	45.8
Colágeno soluble, %	16.4	6.0	36.7
<i>Indicadores de calidad</i>			
pH	5.73	0.21	3.6
Fuerza de corte, kg	4.1	1.2	30.1
Pérdidas por cocción, %	23.8	4.4	18.6
L* (luminosidad)	39.6	2.9	7.3
a* (intensidad rojo)	15.9	2.9	18.2
b* (intensidad amarillo)	7.1	1.6	23.0

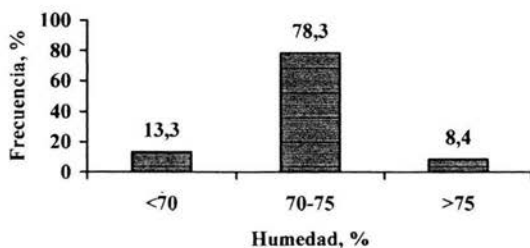


Figura 10. Distribución de frecuencia del contenido de humedad del músculo *Longissimus dorsi* en la carne de bovino que se comercializa en el mercado formal mexicano

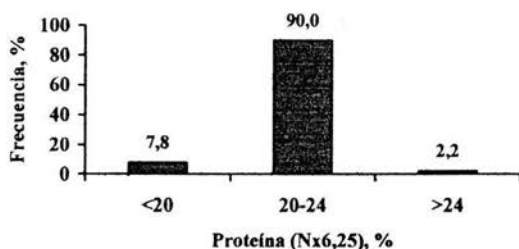


Figura 11. Distribución de frecuencia del contenido de proteína del músculo *Longissimus dorsi* en la carne de bovino que se comercializa en el mercado formal mexicano

Como se conoce, factores de producción tales como la raza y el tipo de alimentación, entre otros, constituyen importantes fuentes de variación en el contenido de grasa intramuscular (Huffman *et al.*, 1990; May *et al.*, 1992; O'Connor *et al.*, 1997; Keane y Allen, 1998; Muir *et al.*, 1998). Aunque el presente estudio se realizó en los puntos de venta, donde no es posible controlar los factores antes mencionados, el origen tan variado de las muestras sugiere que los mismos pudieron influir en el comportamiento del contenido de grasa intramuscular.

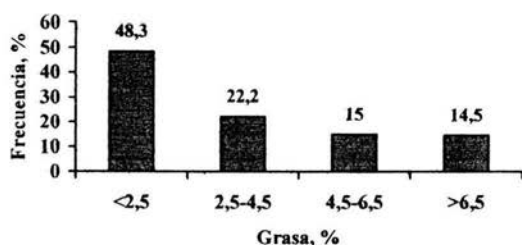


Figura 12. Distribución de frecuencia del contenido de grasa intramuscular del músculo *Longissimus dorsi* en la carne de bovino que se comercializa en el mercado formal mexicano

En una parte considerable de las muestras el contenido de colágeno total alcanzó valores de moderados a altos (Figura 13), si se compara con el reportado para la carne de razas especializadas (Chambaz *et al.*, 2003; Raes *et al.*, 2003; Torrescano *et al.*, 2003), que usualmente es inferior a los 9 mg/g. En cerca de la mitad de las muestras se ubicó entre 9 y 13 mg/g y en poco más del 20% superó este intervalo. Solamente el 31.1% de las muestras tuvo valores inferiores a los 9 mg/g.

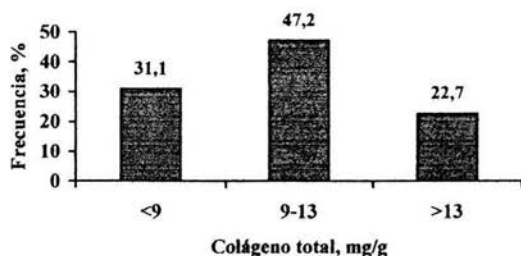


Figura 13. Distribución de frecuencia del contenido de colágeno total del músculo *Longissimus dorsi* en la carne de bovino que se comercializa en el mercado formal mexicano

El porcentaje de colágeno soluble fue generalmente de moderado a bajo, si se compara con el reportado en ganado norteamericano y europeo (Miller *et al.*, 1983; Renand *et al.*, 2001; Chambaz *et al.*, 2003), por lo general superior al 25%. Aproximadamente, en tres cuartos de las muestras el colágeno soluble no superó el 20% del colágeno total (Figura 14). La combinación de cantidades moderadamente altas de colágeno, en conjunto con una baja solubilidad del mismo, indica que una buena parte de la carne en México podría no ser muy suave.

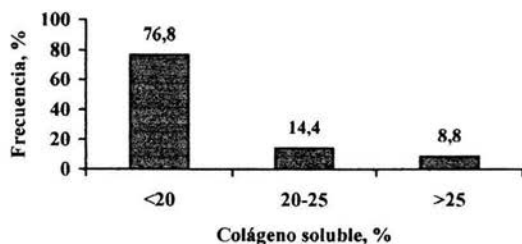


Figura 14. Distribución de frecuencia del contenido de colágeno soluble del músculo *Longissimus dorsi* en la carne de bovino que se comercializa en el mercado formal mexicano

Entre las características de calidad, poco más del 60% de las muestras tuvo valores de pH entre 5.5 y 5.9 (Figura 15), que es el intervalo normal del pH final en carne de bovino (Lawrie, 1974; Warriss, 2000). La reducida frecuencia de valores de pH superiores a 5.9 sugiere que hay una baja incidencia de carne oscura, firme y seca (DFD). Esto se relaciona con buenas prácticas de manejo *ante mortem*, que garantizan bajos niveles de estrés (Tarrant y Granding, 1993; Gregory y Granding, 1998). Por otro lado, el comportamiento del pH indica que ha ocurrido una

limitada degradación *post mortem* de la carne, lo que evidencia que en general se realiza una manipulación higiénica de la carne después del sacrificio y que la maduración no se practica o se hace de forma muy limitada.

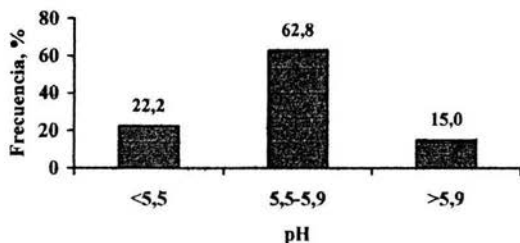


Figura 15. Distribución de frecuencia del pH del músculo *Longissimus dorsi* en la carne de bovino que se comercializa en el mercado formal mexicano

La distribución de frecuencia de la fuerza de corte (Figura 16) evidenció que cerca de la mitad de las muestras tuvieron valores menores o iguales a 4 kg, característicos de una carne suave (Huffman *et al.*, 1996; Belew *et al.*, 2003). En una pequeña parte (15.7%) la fuerza de corte se ubicó entre 4.0 y 4.5 kg, valores típicos de carne con suavidad intermedia (ni blanda ni dura). En el resto de las muestras (poco más de un tercio) la fuerza de corte superó los 4.5 kg, valor a partir del cual la carne se considera como dura (Belew *et al.*, 2003). En general, estos resultados evidencian que todavía queda mucho por hacer para mejorar la suavidad de la carne que se consume en México.

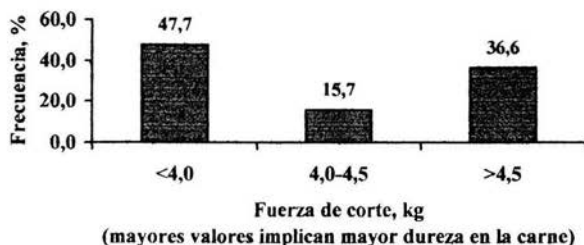


Figura 16. Distribución de frecuencia de la fuerza de corte del músculo *Longissimus dorsi* en la carne de bovino que se comercializa en el mercado formal mexicano

Las pérdidas por cocción (Figura 17) estuvieron entre 20 y 30% en la mayor parte de las muestras, que es el intervalo más común para esta variable en carne de bovino (Johnson *et al.*, 1988; Camfield *et al.*, 1997; Luchak *et al.*, 1998; Silva *et al.*, 1999; Wheeler *et al.*, 1999; Jeremiah *et al.*, 2003). Poco más del 20% de las muestras tuvo valores inferiores al 20%, mientras que en las restantes las mermas por cocción superaron el 30%.



Figura 17. Distribución de frecuencia de las pérdidas por cocción del músculo *Longissimus dorsi* en la carne de bovino que se comercializa en el mercado formal mexicano

En las coordenadas del color (Figuras 18, 19 y 20), una quinta parte de las muestras tuvo una luminosidad (L^*) menor a 39, valor que se corresponde con el de una carne de tonalidad más oscura (Boleman *et al.*, 1996; Wulf *et al.*, 1997; Raes *et al.*, 2003). En una cuarta parte de las muestras la luminosidad se ubicó entre 39 y 41, los cuales caracterizan la carne de tonalidad normal, o sea, ni muy clara ni muy oscura (Chambaz *et al.*, 2003; Torrescano *et al.*, 2003). En las muestras restantes, la luminosidad fue superior a 41, indicativo de una carne mucho más clara (Boleman *et al.*, 1996; Wulf *et al.*, 2002; Raes *et al.*, 2003).

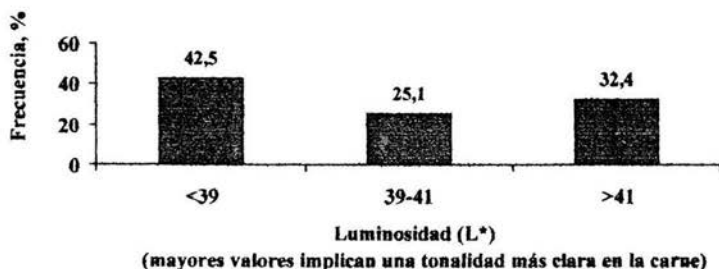


Figura 18. Distribución de frecuencia de la luminosidad (L^*) del músculo *Longissimus dorsi* en la carne de bovino que se comercializa en el mercado formal mexicano

En cuanto a la intensidad de rojo (a*), el 50.3% de las muestras tuvo valores entre 15 y 20, que son los más comunes en carne fresca de bovino (Boleman *et al.*, 1996; Chambaz *et al.*, 2003; Raes *et al.*, 2003, Torrescano *et al.*, 2003). Otro 30% tuvo valores inferiores a 15, característicos de una carne de color rojo más suave; mientras que en el 9.5% restante la intensidad de rojo fue mayor a 20, lo cual se corresponde con una carne de color rojo fuerte (Wulf *et al.*, 1997; Page *et al.*, 2001; Raes *et al.*, 2003).

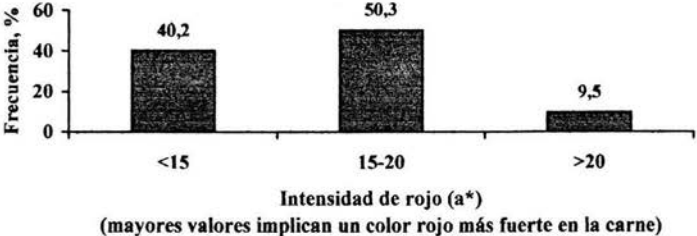


Figura 19. Distribución de frecuencia de la intensidad de rojo (a*) del músculo *Longissimus dorsi* en la carne de bovino que se comercializa en el mercado formal mexicano

La intensidad de amarillo (b*) se ubicó entre 5 y 10 en cerca del 90% de las muestras, con frecuencias marginales para los valores por encima o por debajo de este intervalo. Los valores de intensidad de amarillo son similares a los reportados en otros trabajos (Boleman *et al.*, 1996; Wulf *et al.*, 2002; Chambaz *et al.*, 2003).

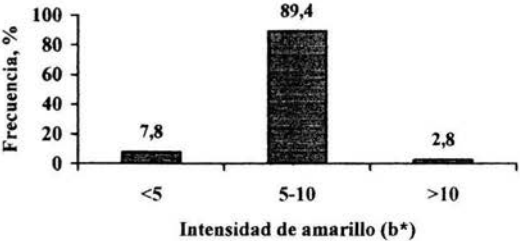


Figura 20. Distribución de frecuencia de la intensidad de amarillo (b*) del músculo *Longissimus dorsi* en la carne de bovino que se comercializa en el mercado formal mexicano

3.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA E INDICADORES DE CALIDAD EN CARNE NACIONAL

El Cuadro 16 muestra la composición química e indicadores de calidad de la carne nacional de las diferentes zonas geográficas mexicanas que participaron en el muestreo. En general los resultados son similares a los reportados en otros trabajos con carne de bovino (Miller *et al.*, 1983; Listrat *et al.*, 1999; Silva *et al.*, 1999; Wheeler *et al.*, 2001).

La zona geográfica no tuvo efecto sobre ninguna de las variables de la composición química ($P>0.05$). El contenido medio de humedad se ubicó entre 72 y 73%, que son valores normales en carne de bovino (Lawrie, 1974). El porcentaje de grasa intramuscular fue bajo, con valores promedio cercanos al 3%. El contenido de proteína estuvo alrededor del 22%, valor que también es típico de la carne de bovino (Renand *et al.*, 2001; Wheeler *et al.*, 2001). La cantidad de colágeno total fue relativamente alta, si se compara con la reportada para ganado europeo, norteamericano y argentino (Cross *et al.*, 1973; Renand *et al.*, 2001; Chambaz *et al.*, 2003; Raes *et al.*, 2003; Torrescano *et al.*, 2003), que usualmente es inferior a los 10 mg/g. No obstante, los valores obtenidos en este trabajo fueron similares a los encontrados por Miller *et al.* (1983) en la carne de animales adultos de diferentes cruces comerciales norteamericanos. Por su parte, el porcentaje de colágeno soluble fue menor al encontrado por otros autores (Miller *et al.*, 1983; Renand *et al.*, 2001; Chambaz *et al.*, 2003). No obstante, fue similar al reportado en otros trabajos (Cross *et al.*, 1973; Listrat *et al.*, 1999; Silva *et al.*, 1999).

El pH de la carne fue similar en todas las zonas geográficas ($P>0.05$), ubicándose en el intervalo típico de pH final en carne de bovino (Wulf *et al.*, 1997; Page *et al.*, 2001; Renand *et al.*, 2001; Chambaz *et al.*, 2003; Torrescano *et al.*, 2003). El valor de la fuerza de corte (3.6 kg) en la carne del norte se corresponde con el de una carne suave (Wulf *et al.*, 1996; Belew *et al.*, 2003). Esto la coloca en ventaja con respecto a la carne del centro y sur de México, cuyas medias igualaron o superaron los 4.6 kg, respectivamente, valores característicos de una carne dura (Belew *et al.*, 2003).

Las pérdidas por cocción fueron menores en la carne del sur ($P<0.05$) con respecto a las del centro y norte. En general los valores concuerdan con los reportados en otros trabajos (Johnson *et al.*, 1988; Camfield *et al.*, 1997; Luchak *et al.*, 1998; Silva *et al.*, 1999; Wheeler *et al.*, 1999; Chambaz *et al.*, 2003; Jeremiah *et al.*, 2003).

En cuanto al color, solamente se detectaron diferencias en la intensidad de rojo, que fue menor ($P < 0.05$) en la carne del norte, con respecto a la carne del centro y sur. La menor intensidad de rojo en la carne del norte, en combinación con similares valores de luminosidad e intensidad de amarillo, indican que la misma tiene una coloración roja más suave. Esto pudo deberse a la influencia de varios factores de producción, que probablemente se manifiestan de forma diferenciada en las distintas zonas geográficas en que se tomaron las muestras. Por ejemplo, diferencias en la edad de los animales al momento del sacrificio, ya que la carne de animales jóvenes tiene un color rojo menos intenso que la de los adultos (Page *et al.*, 2001). Otros factores que pudieron influir en estos resultados son el nivel de alimentación y la actividad física del ganado. Vestergaard *et al.* (2000) observaron que el ganado engordado en corral producía carne con un color rojo más tenue, en relación con las reses engordadas en pastoreo. Estos autores vincularon sus observaciones con la mayor actividad física asociada con el pastoreo, lo que determina una mayor proporción de fibras musculares oxidativas, provocando un aumento en el contenido de mioglobina de estos músculos y por lo tanto, una apariencia más oscura de la carne.

La raza del ganado también pudo estar involucrada en los resultados del color. Se ha comprobado que la carne de las razas provenientes del tronco genético *Bos indicus*, con gran presencia en las zonas templadas y tropicales de México (Lastra y Galarza, 1998; Villegas *et al.*, 2001), posee un color rojo más fuerte que la de las razas originarias del *Bos taurus* (Wulf *et al.*, 1997; Boles y Swan, 2002), las cuales se explotan en las regiones áridas y semi-áridas del país (Sánchez *et al.*, 1999). Se descarta la influencia del defecto DFD, que determina una coloración más oscura de la carne (Gregory y Granding, 1998), pues los valores de pH estuvieron en el intervalo normal.

En resumen, la carne nacional que se vende en las diferentes zonas geográficas mexicanas tiene una composición química semejante. No obstante, se pueden distinguir dos categorías de carne en cuanto a la calidad. La carne del norte, de calidad superior debido a que es mucho más blanda y tiene un color más atractivo; y la carne del centro y sur de México, de calidad comparable entre sí, aunque menos suave y con una coloración más fuerte que la carne del norte.

La carne de bovino de producción nacional cuenta con la ventaja de poseer un bajo contenido de grasa. No obstante, aun existe un considerable espacio para mejorar su calidad, particularmente en los aspectos relacionados con la suavidad y el color. En este sentido, además de las modificaciones necesarias a nivel de producción, podría ser útil la adopción, por parte de

la industria nacional, de tecnologías que contribuyan a mejorar la calidad de la carne. Tal es el caso de la estimulación eléctrica de las canales, las inyecciones de cloruro de calcio y la maduración (Wheeler *et al.*, 1990b; Kerth *et al.*, 1995; Lansdell *et al.*, 1995; Wulf *et al.*, 1996).

Cuadro 16. Composición química e indicadores de calidad del músculo *Longissimus dorsi* en la carne nacional que se vende en las diferentes zonas geográficas

	ZONA GEOGRÁFICA				ES ±
	Media general	Norte	Centro	Sur	
n	90	30	40	20	
<i>Composición química</i>					
Humedad, %	73.1	72.9	73.6	72.2	0.3
Grasa, %	3.0	3.0	2.7	3.6	0.4
Proteína (Nx6.25), %	22.1	21.7	22.3	22.3	0.2
Colágeno total, mg/g	11.5	12.0	11.3	11.2	1.0
Colágeno soluble, %	16.6	17.4	15.8	17.0	1.0
<i>Indicadores de calidad</i>					
pH	5.72	5.72	5.71	5.73	0.03
Fuerza de corte, kg	4.3	3.6 ^a	4.6 ^b	4.7 ^b	0.1***
Pérdidas por cocción, %	23.2	24.5 ^a	23.5 ^a	20.9 ^b	0.5**
L* (luminosidad)	39.0	39.4	39.1	38.3	0.3
a* (intensidad rojo)	16.2	14.3 ^a	17.1 ^b	17.1 ^b	0.3***
b* (intensidad amarillo)	7.0	7.3	7.0	6.4	0.2

a,b Medias con letras diferentes en una misma fila, difieren significativamente ($P < 0.05$)

** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

3.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA E INDICADORES DE CALIDAD EN CARNE IMPORTADA

El Cuadro 17 resume los resultados de la composición química y las características de calidad en las dos categorías de carne importada que se encontraron en el mercado. El más bajo contenido de humedad ($P<0.05$), así como el mayor contenido de grasa ($P<0.05$) de la carne Choice son características típicas de esta carne (Savell *et al.*, 1991; Luchak *et al.*, 1998). Por su parte, el nivel de grasa en la carne importada sin sello es semejante al reportado para carne norteamericana con grado de calidad inferior a Choice (entre 3 y 4%) (Wulf *et al.*, 2002).

Cuadro 17. Composición química y características de calidad del músculo *Longissimus dorsi* en carne importada

	Categoría de carne importada			ES ±
	Media general	USDA-Choice ¹	Sin sello ²	
n	90	36	54	
<i>Composición</i>				
Humedad, %	71.8	69.9	73.1	0.3***
Grasa, %	4.2	6.3	2.8	0.3***
Proteína (Nx6.25), %	22.0	21.7	22.2	0.1
Colágeno total, mg/g	11.2	9.7	12.1	0.5**
Colágeno soluble, %	16.2	16.9	15.1	0.7
<i>Indicadores de calidad</i>				
pH	5.71	5.77	5.69	0.02
Fuerza de corte, kg	4.0	3.1	4.6	0.1*
Pérdidas por cocción, %	24.3	25.9	23.2	0.5**
L* (luminosidad)	40.2	39.1	41.0	0.3**
a* (intensidad rojo)	15.6	14.1	16.6	0.3**
b* (intensidad amarillo)	7.3	7.0	7.4	0.2

¹ Carne importada que se vendía con el sello de calidad de origen USDA-Choice

² Carne importada que se vendía sin sello de calidad de origen

* $P<0.05$; ** $P<0.01$; *** $P<0.001$

El contenido de colágeno total es similar al encontrado por Miller *et al.* (1983) en la carne de novillos de cruces comerciales norteamericanos con diferentes grados de madurez fisiológica. A diferencia de la carne importada sin sello, la carne Choice tuvo valores más cercanos a los reportados para la carne de razas especializadas, engordadas en corral a base de concentrados (Renand *et al.*, 2001; Chambaz *et al.*, 2003; Raes *et al.*, 2003). En cuanto a la solubilidad del colágeno, los resultados obtenidos son similares a los encontrados por otros autores (Cross *et al.*, 1973; Listrat *et al.*, 1999; Silva *et al.*, 1999).

El pH fue comparable en ambos tipos de carne ($P>0.05$), dentro de los valores normales en que se ubica el pH final en carne de bovino (Wulf *et al.*, 1997; Page *et al.*, 2001; Renand *et al.*, 2001; Chambaz *et al.*, 2003; Torrescano *et al.*, 2003). La fuerza de corte de la carne Choice es similar a la reportada para este tipo de carne (Luchak *et al.*, 1998; George *et al.*, 1999; Lorenzen *et al.*, 2003; Belew *et al.*, 2003), que es de alrededor de 3 kg, valor que corresponde al de una carne muy suave (Belew *et al.*, 2003). La fuerza de corte de la carne importada sin sello coincidió con el límite a partir del cual la carne se considera como dura (Belew *et al.*, 2003). Esto concuerda con los valores de fuerza de corte reportados en carne norteamericana con grado de calidad inferior a Choice (Tatum *et al.*, 1980; Luchak *et al.*, 1998; Wheeler *et al.*, 1999).

Las pérdidas por cocción en la carne Choice fueron superiores ($P<0.05$) a las de la carne importada sin sello. Esto pudo deberse al mayor contenido de grasa de la carne Choice, ya que durante la cocción de la carne, se observó que la grasa se derretía y se escurrían de la chuleta cantidades significativas de la misma.

Con respecto al color, la carne Choice tuvo una menor intensidad de rojo y menor luminosidad ($P<0.05$) que la carne importada sin sello. Nuevamente, factores como la edad al sacrificio y el tiempo que pasaron los animales consumiendo dietas de alta energía pueden haber determinado estas diferencias (Vestergaard *et al.*, 2000; Page *et al.*, 2001). En general los valores de L^* , a^* y b^* estuvieron dentro del intervalo reportado para ganado norteamericano (Boleman *et al.*, 1996; Wulf *et al.*, 1997; Boles y Swan, 2002).

Los resultados evidencian que existen diferencias marcadas entre las dos categorías de carne importada presentes en el mercado formal mexicano, tanto en la composición química como en la calidad. La carne Choice tiene mayor contenido de grasa y más bajo contenido de colágeno total y en general es de calidad superior a la carne importada sin sello.

3.4 COMPARACIÓN ENTRE CARNE NACIONAL E IMPORTADA

En el Cuadro 18 se resumen los resultados del análisis comparativo entre las diferentes categorías de carne nacional e importada. El contenido de humedad fue similar ($P>0.05$) en las tres categorías de carne nacional y en la carne importada sin sello, con la única excepción de la carne Choice, que tuvo un nivel de humedad significativamente menor ($P<0.05$). Asimismo, el contenido de grasa intramuscular en todas las categorías de carne nacional y en la importada sin sello fue comparable ($P>0.05$), con valores cercanos al 3%; sin embargo, fue mucho menor ($P<0.05$) en comparación con el 6.3% de grasa en la carne Choice. Los niveles de proteína fueron semejantes en todos los tipos de carne ($P>0.05$), con promedios cercanos al 22% en todos los casos. Todas las variantes de carne nacional, así como la carne importada sin sello, tuvieron un contenido de colágeno total similar entre sí ($P>0.05$) y significativamente mayor ($P<0.05$) al de la carne Choice. No se observaron diferencias en el porcentaje de colágeno soluble ($P>0.05$).

La composición química de la carne está relacionada con la calidad nutricional de la misma (Warriss, 2000). Uno de los componentes que más preocupa a los consumidores es el contenido de grasa de la carne, ya que la inclusión de grasa animal en la dieta se asocia con enfermedades cardiovasculares (Resurreccion, 2003). En este sentido, todas las fuentes de carne nacional, así como la importada sin sello, se encuentran en una posición ventajosa con respecto a la carne Choice, por el elevado contenido de grasa de esta última.

La otra diferencia notoria en la composición química de las diferentes categorías de carne fue el contenido de colágeno total. Desde el punto de vista nutricional, el mayor contenido de colágeno en la carne es una desventaja, ya que es una proteína de menor calidad que las demás proteínas (miofibrilares y solubles) presentes en el músculo (Warriss, 2000). No obstante, el colágeno es de gran relevancia para la calidad de la carne, por su contribución a la textura de la misma (Light, 1987). Sin embargo, la cantidad de colágeno total no es de gran utilidad para explicar las variaciones en la suavidad de la carne, ya que esta variable exhibe un comportamiento irregular a medida que el animal envejece y la carne se hace más dura (Hill, 1966). Probablemente, las variaciones en el contenido de colágeno total observadas en este estudio sean más el reflejo de diferencias raciales y estén poco relacionadas con la textura de la carne. Esto se reafirma con el hecho de que no se detectaron diferencias en la solubilidad del colágeno, variable que sí está estrechamente relacionada con el endurecimiento de la carne asociado con la edad (Hill, 1966; Allain *et al.*, 1978; Eyre *et al.*, 1984).

Entre las características de calidad, no se detectaron diferencias en el pH ($P>0.05$). El promedio en todas las categorías de carne se ubicó entre 5.70 y 5.77, valores característicos en carne de bovino (Wulf *et al.*, 1997; Page *et al.*, 2001; Renand *et al.*, 2001; Chambaz *et al.*, 2003; Torrescano *et al.*, 2003).

En cuanto a la fuerza de corte, la carne nacional de la zona norte tuvo un valor más bajo ($P<0.05$) que la carne importada sin sello y la nacional de las zonas centro y sur; y más alto que el de la carne Choice ($P<0.05$). La carne importada sin sello, así como la carne nacional del centro y sur del país tuvieron una fuerza de corte comparable ($P>0.05$).

Los resultados de la fuerza de corte sugieren que la carne nacional de la zona norte y la carne Choice son mucho más suaves que la carne nacional de las zonas centro y sur y que la importada sin sello. Desde el punto de vista práctico, es poco probable que los consumidores puedan distinguir la diferencia de suavidad entre una carne con fuerza de corte 3.1 kg y otra con 3.6 kg. Huffman *et al.* (1996) demostraron que casi el 100% de los consumidores norteamericanos que participaron en su estudio, consideraban la carne como de suavidad aceptable, siempre que la fuerza de corte fuera menor o igual a 4.1 kg.

Cuadro 18. Composición química y características de calidad del músculo *Longissimus dorsi* en carne nacional e importada

	Carne mexicana			Carne importada		ES ±
	Norte	Centro	Sur	USDA-Choice ¹	Sin sello ²	
n	30	40	20	36	54	
<i>Composición química</i>						
Humedad, %	72.9 ^a	73.6 ^a	72.2 ^a	69.9 ^b	73.1 ^a	0.2***
Grasa, %	3.0 ^b	2.7 ^b	3.6 ^b	6.3 ^a	2.9 ^b	0.2***
Proteína (Nx6.25), %	21.7	22.3	22.3	21.7	22.2	0.1
Colágeno total, mg/g	12.0 ^a	11.3 ^a	11.2 ^a	9.7 ^b	12.1 ^a	0.4*
Colágeno soluble, %	17.4	15.8	17.0	17.2	14.6	0.4
<i>Indicadores de calidad</i>						
pH	5.72	5.71	5.73	5.77	5.70	0.02
Fuerza de corte, kg	3.6 ^b	4.6 ^a	4.7 ^a	3.1 ^c	4.6 ^a	0.1***
Pérdidas por cocción, %	24.5 ^b	23.5 ^b	20.9 ^c	25.9 ^a	23.2 ^b	0.3***
L* (luminosidad)	39.4 ^b	39.1 ^b	38.3 ^b	39.1 ^b	41.0 ^a	0.2***
a* (intensidad rojo)	14.3 ^b	17.1 ^a	17.1 ^a	14.1 ^b	16.6 ^a	0.2***
b* (intensidad amarillo)	7.3	7.0	6.4	7.0	7.4	0.1

¹ Carne importada que se vendía con el sello de calidad de origen USDA-Choice

² Carne importada que se vendía sin sello de calidad de origen

a,b,c Medias con letras diferentes en una misma fila, difieren significativamente (P<0.05)

*P<0.05; ***P<0.001

La carne nacional de la zona sur tuvo las menores pérdidas por cocción ($P < 0.05$), seguida por la carne nacional del norte y centro de México y la carne importada sin sello, con pérdidas por cocción similares entre sí ($P > 0.05$) e inferiores con respecto a la carne Choice, que tuvo las mayores pérdidas por cocción ($P < 0.05$) entre todas las categorías de carne.

La luminosidad (L^*) fue similar en las tres categorías de carne nacional y la carne Choice ($P > 0.05$) e inferior en estas últimas con respecto a la carne importada sin sello ($P < 0.05$). Por otro lado, la carne nacional de la zona norte y la carne Choice tuvieron una intensidad de rojo semejante entre sí ($P > 0.05$) e inferior en comparación con las demás categorías de carne ($P < 0.05$). No se observaron diferencias en la intensidad de amarillo ($P > 0.05$).

La combinación de los valores de luminosidad e intensidad de rojo indican que hay tres clases de carne en el mercado. La primera, compuesta por la carne nacional de la zona norte y la carne Choice, con una tonalidad de rojo más suave. A estas le seguiría la carne importada sin sello, que presentó mayor intensidad de rojo que las dos primeras, pero también tuvo una mayor luminosidad. Finalmente, la carne de coloración más oscura está representada por la carne nacional de las zonas centro y sur.

Los resultados evidencian que existe un amplio espectro de variación en la calidad de la carne de bovino presente en el mercado formal mexicano. En términos generales, se podría subdividir la carne en tres clases o grados de calidad, con base en la composición química e indicadores de calidad. La carne mexicana de la zona norte, con bajo contenido de grasa y buenos atributos de calidad. La carne mexicana de las zonas centro y sur, así como la carne importada sin sello, también con un bajo contenido de grasa, pero con indicadores de calidad inferiores. La carne importada USDA-Choice, con características de calidad similares a los de la carne mexicana de la zona norte, pero con altos niveles de grasa intramuscular.

3.5 INTERRELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y LOS INDICADORES DE CALIDAD

El contenido de grasa mostró una correlación moderadamente fuerte y negativa con la fuerza de corte ($P < 0.001$) (Cuadro 19). Este comportamiento concuerda con el observado en otros trabajos, en los que se ha comprobado que el contenido de grasa intramuscular favorece la suavidad de la carne (De Siles *et al.*, 1977; Tatum *et al.*, 1980; Tatum *et al.*, 1982; Bejerholm y Barton-Gade, 1986; DeVol *et al.*, 1988). El coeficiente de correlación del contenido de humedad con la fuerza de corte fue de magnitud similar al que tuvo el contenido de grasa, pero de signo positivo. Esto era de esperar, teniendo en cuenta la alta correlación negativa que existió entre los contenidos de humedad y grasa ($P < 0.001$). El contenido de grasa estuvo positivamente relacionado ($P < 0.05$) con las pérdidas por cocción, aunque el coeficiente de correlación entre estas dos variables fue de baja magnitud.

La intensidad de rojo estuvo negativamente relacionada ($P < 0.001$) con el contenido de grasa y la fuerza de corte y positivamente relacionada ($P < 0.001$) con el contenido de humedad. Este patrón es el reflejo de la relación que tuvieron el contenido de grasa y de humedad con la fuerza de corte. La fuerte correlación positiva entre la luminosidad y la intensidad de amarillo ($P < 0.001$) es similar a la observada en otros estudios ($r = 0.66$; $P < 0.05$) (Wulf *et al.*, 1997).

A diferencia de otras investigaciones (Silva *et al.*, 1999; Destefanis *et al.*, 2000; Renand *et al.*, 2001) las características del colágeno (cantidad y solubilidad) no mostraron relación significativa ($P > 0.05$) con la suavidad, que en este trabajo fue evaluada a través de la fuerza de corte. Estos resultados concuerdan con los de numerosos estudios, que reportan una relación no significativa o inconsistente entre las características del colágeno y la suavidad de la carne (Dikeman *et al.*, 1986; Seideman *et al.*, 1987; Whipple *et al.*, 1990; Shackelford *et al.*, 1992; Campo *et al.*, 2000; Vestergaard *et al.*, 2000).

Cuadro 19. Matriz de correlación de Pearson entre las variables de la composición química y los indicadores de calidad de la carne

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
1. Humedad, %		-0.81***	-0.18	-0.15	.12	-0.18	.34***	-0.14	-0.10	.33***	-0.02
2. Grasa, %			-0.03	.15	-0.04	-0.03	-0.33***	.19*	.04	-0.25***	.01
3. Proteína, %				.08	-0.09	.02	.08	-0.05	.17	-0.02	.01
4. Colágeno total, mg/g					.06	.02	.04	-0.14	.10	.02	.01
5. Colágeno soluble, %						-0.05	.13	.12	.13	.04	.11
6. pH							-0.04	.07	-0.09	.14	-0.13
7. Fuerza de corte, kg								.08	.07	.32***	.04
8. Pérdidas por cocción, %									.15	-0.09	.10
9. L* (luminosidad)										.02	.69***
10. a* (intensidad de rojo)											-0.04
11. b* (intensidad de amarillo)											

* $r \geq 0.19$, $P < 0.05$; *** $r \geq 0.24$, $P < 0.001$

A pesar de que la cantidad de colágeno en los distintos tipos de carne no fue la misma, se conoce que las diferencias en la cantidad total de colágeno muscular no siempre implican variaciones en la suavidad de la carne (Hill, 1966). En cambio, se ha establecido que el factor más importante en la contribución del tejido conectivo a la textura de la carne es el grado de formación de enlaces covalentes cruzados, que estabilizan e insolubilizan la molécula de colágeno (Allain *et al.*, 1978; Eyre *et al.*, 1984). En la presente investigación no se detectaron diferencias en la solubilidad del colágeno, lo que aclara por que no se observó relación significativa entre esta variable y la fuerza de corte.

Otros autores (Renand *et al.*, 2001) han propuesto que la desnaturalización proteica que ocurre durante la cocción, cuando se aplican temperaturas superiores a los 55 °C, puede minimizar el efecto del colágeno en la textura de la carne. Esta parece ser una explicación plausible de que a menudo no se observe relación entre el colágeno y la suavidad de la carne, como en el presente estudio y en los trabajos citados anteriormente (Dikeman *et al.*, 1986; Seideman *et al.*, 1987; Whipple *et al.*, 1990; Shackelford *et al.*, 1992; Campo *et al.*, 2000; Vestergaard *et al.*, 2000), pues la temperatura final de cocción fue superior a los 55 °C (entre 60 y 70 °C).

3.6 EVALUACIÓN SENSORIAL

La evaluación sensorial con jueces consumidores para la suavidad y la aceptación general de las diferentes categorías de carne nacional e importada se muestra en el Cuadro 20. La carne nacional del norte y la importada Choice recibieron una puntuación para la suavidad significativamente mayor ($P < 0.05$) con respecto a la carne de las zonas centro y sur de México y la importada sin sello. Esto indica que los consumidores fueron capaces de percibir la mayor suavidad de las dos primeras categorías de carne, resultados que concuerdan con el comportamiento que tuvo la fuerza de corte (ver Cuadro 18).

Con respecto a la aceptación general, las tres categorías de carne nacional y la importada Choice recibieron puntuaciones similares ($P > 0.05$), a pesar de las diferencias en suavidad que existían entre ellas. Tanto la carne nacional como la importada Choice fueron preferidas por los jueces sobre la carne importada sin sello ($P < 0.05$).

Cuadro 20. Nivel de agrado¹ para la suavidad y la aceptación general de la carne nacional e importada en pruebas afectivas con consumidores

Categoría de carne	n	Suavidad	Aceptación general
Mexicana-Norte	50	5.1 ^a	5.4 ^a
Mexicana-Centro	54	4.4 ^b	5.3 ^a
Mexicana-Sur	40	4.2 ^b	5.1 ^a
USDA-Choice ²	144	5.3 ^a	5.2 ^a
Sin sello ³	144	4.6 ^b	4.6 ^b
ES ±		0.1***	0.1**

¹ Escala hedónica: 1 = me disgusta mucho; 7 = me gusta mucho

² Carne importada que se vendía con el sello de calidad de origen USDA-Choice

³ Carne importada que se vendía sin sello de calidad de origen (US beef)

a,b Medias con letras diferentes en una misma fila, difieren significativamente (P<0.05)

P<0.01; *P<0.001

En la aceptación general de la carne por parte de los consumidores influyen muchos atributos sensoriales, además de la suavidad, tales como el sabor, la jugosidad, el aroma, entre otros que no se midieron en el presente trabajo (Warriss, 2000). Como se conoce, las diferencias en el contenido de grasa, así como en la composición de ácidos grasos y en la cantidad y naturaleza de los componentes del sabor y el aroma, pueden causar variaciones en la jugosidad y la intensidad del sabor de la carne (Gregory *et al.*, 1995; Wheeler *et al.*, 1996; Enser *et al.*, 1998; Gandemer, 1999; French *et al.*, 2000). Si se tiene en cuenta la heterogeneidad de las muestras evaluadas en este estudio, es probable que las categorías de carne que se evaluaron difieran en estos aspectos y que dichas diferencias hayan influido en la preferencia que mostraron los consumidores por cada una de ellas.

Otro aspecto que pudo estar relacionado con los resultados de la evaluación sensorial es que la carne de bovino es un producto de gran tradición en México. De hecho, fue el tipo de carne más consumida por los mexicanos durante muchos años, y en el presente continúa gozando de buena demanda (FAO, 2003). Probablemente, esto ha determinado la familiarización de los consumidores mexicanos con el sabor, aroma, y demás propiedades sensoriales de la carne de producción nacional, por lo que muestran un alto nivel de aceptación por la misma. En contraste,

la presencia de cantidades significativas de carne importada en el mercado mexicano es relativamente reciente, lo que pudo influir en el más bajo nivel de aceptación que tuvo la carne importada sin sello. En el caso de la carne Choice, su elevada aceptación entre los consumidores pudo deberse a que, a diferencia de la carne importada sin sello, es una carne muy suave y con un elevado contenido de grasa (mayor al 6%). Como se ha establecido, la suavidad de la carne de bovino es uno de los atributos más importantes para los consumidores (Huffman *et al.*, 1996; Boleman *et al.*, 1997), mientras que los altos niveles de grasa favorecen casi todas las propiedades sensoriales de la carne (Tatum *et al.*, 1982; Fernandez *et al.*, 1999).

En general los resultados de la evaluación sensorial denotan que la carne nacional goza de buena aceptación entre los consumidores. No obstante, es evidente que todavía puede mejorarse significativamente la suavidad en parte de la carne nacional, ya que los consumidores fueron capaces de distinguir una mayor dureza en la carne del centro y sur de México.

3.7 ANÁLISIS DEL NIVEL DE RESIDUOS DE CLENBUTEROL

Se detectó clenbuterol en tres muestras de carne nacional en niveles de 475 ± 2.4 , 1253 ± 3.2 y 4514 ± 4.1 ppt, respectivamente. Estos valores superan las 200 ppt de clenbuterol permitidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1998) como límite máximo de residuos para músculo en ganado bovino. No se encontraron muestras positivas al clenbuterol en carne importada.

Según los estudios de la OMS, la ingestión máxima diaria de clenbuterol no debe sobrepasar los $0.004 \mu\text{g}/\text{kg}$ peso corporal, para evitar la ocurrencia de signos clínicos asociados con la intoxicación. Con base en esta información, la cantidad máxima que puede ingerir una persona adulta de 60 kg de peso, sería de $0.24 \mu\text{g}$. Como ejemplo hipotético, el Cuadro 21 muestra la cantidad máxima de carne que una persona de 60 kg puede ingerir diariamente, en caso de consumir la carne proveniente de las muestras positivas detectadas en el estudio.

Las cifras en el Cuadro 21 constituyen un indicador del peligro potencial para la salud que representa el empleo del clenbuterol como promotor de crecimiento en el ganado bovino en México. En las muestras con 475 y 1253 ppt de clenbuterol, a pesar de que sobrepasan ampliamente el límite máximo de residuos de 200 ppt recomendado por la OMS, las personas adultas de 60 kg de peso todavía pueden consumir cantidades considerables de esta carne (505 y

191 g, respectivamente) sin que se presenten síntomas de intoxicación. Sin embargo, estos cálculos no constituyen garantía alguna para personas con peso inferior a los 60 kg o para los sectores más vulnerables de la población, como los niños y ancianos

Cuadro 21. Cantidad máxima de carne que puede ingerir una persona de 60 kg de peso, sin presentar signos de intoxicación, en caso de consumir carne con los niveles de clenbuterol indicados

Niveles de clenbuterol detectados en las muestras de carne positivas, ppt	Cantidad máxima de carne a ingerir ¹ , g
475	505
1253	191
4514	53

¹ Para no sobrepasar el límite recomendado de 0.24 µg de ingestión diaria de clenbuterol

La ingestión de carne con 4514 ppt de clenbuterol representa un gran riesgo para la salud de la población en general. El consumo de poco más de 50 g de esta carne, cantidad que se supera en una comida regular, puede causar intoxicación en personas de 60 kg de peso, siendo mucho mayor el riesgo para grupos de personas más vulnerables.

Los niveles más altos de clenbuterol en músculo que se detectaron en el presente trabajo son similares a las 5248 ppt reportadas por el Centro Nacional de Servicios Constatación en Salud Animal de México (CENAPA) en una muestra de músculo bovino (datos no publicados). No obstante, son muy inferiores a los encontrados en carne de bovino involucrada en varios casos de intoxicación colectiva asociados con el clenbuterol, en que la droga se detectó en niveles entre 0.8 y 7.4 ppm (Sporano *et al.*, 1998) y 1.14 ppm (Brambilla *et al.*, 2000).

3.8 ENCUESTA SOBRE CALIDAD DE LA CARNE

Con base en las respuestas al cuestionario sobre calidad de la carne, la mayor parte de los consumidores que participaron en la encuesta definieron la suavidad, el color y la cantidad de grasa, en ese orden, como las características de calidad más importantes en la carne de bovino que compran y consumen. El precio y el país de procedencia de la carne fueron considerados aspectos secundarios (Figura 21).

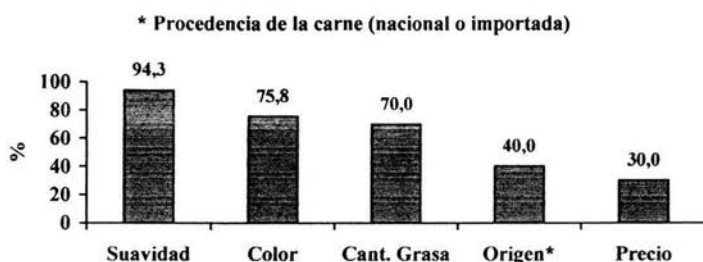


Figura 21. Porcentaje de encuestados (n = 210) que ubicó cada una de las características de la carne en primer o segundo lugar de importancia cuando compran o consumen la misma

Los resultados coinciden con los de otras encuestas entre consumidores europeos y estadounidenses (Miller *et al.*, 1995; Boleman *et al.*, 1997; Glitsch, 2000; Carpenter *et al.*, 2001; Brewer *et al.*, 2001; Shackelford *et al.*, 2001; McCarthy *et al.*, 2003; Robbins *et al.*, 2003), en los que el color y la cantidad de grasa se encontraron entre los factores más relacionados con la decisión de compra; mientras que la suavidad fue la característica con mayor influencia en la satisfacción de los consumidores, después de consumida la carne.

El Cuadro 22 muestra la misma información, estratificada de acuerdo con los factores demográficos que se controlaron en la encuesta. En general el comportamiento de las respuestas mostró una tendencia similar a la observada anteriormente. Es decir, la suavidad, el color y la cantidad de grasa fueron considerados como las características más importantes de la carne, por personas de todas las edades, sexos y ocupaciones; mientras que el origen y el precio nuevamente resultaron aspectos secundarios.

Cuadro 22. Porcentaje de encuestados que ubicó cada una de las características de la carne en primer o segundo lugar de importancia cuando compran o consumen la misma, estratificado por grupo de edad, sexo y ocupación

	n	Suavidad	Color	Cantidad de grasa	Origen ¹	Precio
<i>Edad, años</i>						
18-30	87	95.4	75.8	65.5	34.4	27.6
30-45	72	91.7	79.2	75.0	37.5	33.3
>45	51	98.0	64.7	70.6	52.9	29.4
<i>Sexo</i>						
Femenino	114	92.0	73.7	78.9	39.5	26.3
Masculino	96	96.8	71.9	56.3	34.4	32.3
<i>Ocupación</i>						
Empleado	81	96.3	77.8	66.7	29.6	33.3
Ama de casa	36	83.3	75.0	83.3	33.3	33.3
Jubilado	10	90.0	75.0	50.0	30.0	-
Desempleado	27	96.3	77.8	88.9	55.6	55.6
Estudiante	57	94.7	73.7	56.1	45.6	15.8

¹ Procedencia de la carne (nacional o importada)

En el caso de la suavidad, casi el 100% de las personas con más de 45 años de edad consideraron esta característica como la más importante en la carne de bovino. Esto concuerda con las tendencias observadas en otros estudios (Rousset y Jolivet, 2002), en los que se ha demostrado que las personas de mayor edad son más exigentes, en cuanto a la suavidad de la carne, que los jóvenes. En las restantes categorías demográficas (sexo y ocupación) los resultados de la suavidad son parecidos, con la excepción de las amas de casa, que fue el único grupo con porcentaje inferior al 90%.

El color fue visto de la misma forma por personas de todas las edades, sexos y ocupaciones, lo que indica que tiene gran importancia para todos los sectores sociales. Los porcentajes de ubicación de esta característica en primer o segundo lugar de importancia fueron superiores al 70% en todos los casos, excepto en las personas con más de 45 años, cuyo porcentaje fue ligeramente inferior.

En cuanto a la cantidad de grasa en la carne, las personas entre 30-45 y con más de 45 años de edad dieron mayor importancia a esta característica, en comparación con los más jóvenes (18-30 años). Asimismo, la cantidad de grasa preocupó mucho más a las mujeres que a los hombres, con una diferencia superior a los 20 puntos porcentuales entre ambos sexos. Entre las ocupaciones, las amas de casa y los desempleados mostraron más interés por el contenido de grasa de la carne que las demás categorías; mientras que los estudiantes y jubilados fueron los menos preocupados por este aspecto.

El origen de la carne (nacional o de importación) fue de mayor interés para las personas con más de 45 años que para los más jóvenes. En los grupos de sexo las respuestas fueron parecidas; mientras que en los de ocupación, los desempleados y los estudiantes fueron los que mostraron mayor interés por esta característica.

Finalmente, el porcentaje de respuestas que ubicó el precio de la carne en primer o segundo lugar de importancia no rebasó el 35% en ninguno de los grupos de edades, sexos y ocupaciones. Solamente en el caso de los desempleados, el 55.6% de las respuestas consideró el precio como muy importante. Evidentemente, esto refleja la influencia del poder adquisitivo en la actitud de los consumidores hacia el consumo de carne, como se ha podido comprobar en otros trabajos (USDA/ERS, 2002).

En cuanto a las respuestas abiertas sobre las preferencias de cada atributo evaluado, casi la totalidad de los encuestados (96.7%) se inclinó por que la carne fuera muy suave. Por otro lado, el 92.3% dijo preferir la carne de color rojo brillante, por considerarlo indicador de la frescura; mientras que el 78.6% señaló que prefería consumir carne con poca cantidad de grasa. Aunque el origen de la carne fue considerado como menos relevante, el 70% de los consumidores mencionó que procuraba consumir siempre carne nacional. En cuanto al precio, 57.2% de los encuestados consideró que la carne debería ser más barata, mientras que el 42.8% restante se dijo dispuesto a pagar más por una carne de calidad garantizada.

Este tipo de información puede ser de gran utilidad para la industria de la carne bovina nacional. En primer lugar, ya se cuenta con una referencia sobre los factores que más influyen en la decisión de compra y en la satisfacción del consumidor. Esto permitiría identificar los aspectos prioritarios en que se debe trabajar para cumplir con las demandas de los consumidores. Asimismo, se demostró que varios factores demográficos pueden determinar intereses variados

en los distintos grupos poblacionales; lo que evidencia la necesidad de diversificar la gama de productos de bovino para satisfacer las distintas exigencias.

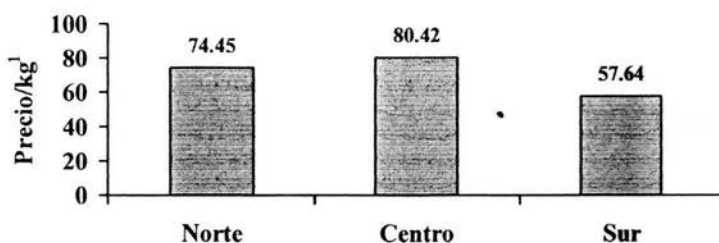
Por otro lado, el conocimiento de las preferencias de los consumidores puede servir de base para la identificación de las fortalezas y debilidades de la ganadería bovina de carne en el contexto comercial, con los beneficios consecuentes. A pesar de que los resultados de la presente encuesta son de utilidad en este sentido, se necesita realizar proyectos de alcance nacional, con vistas a obtener información más representativa sobre las preferencias y actitudes de los consumidores mexicanos hacia la carne de bovino.

3.9 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA COMERCIALIZACIÓN DE CARNE DE BOVINO

Se encontraron diferencias en el precio de la carne mexicana de las diferentes zonas geográficas (Figura 22). En la zona sur la carne de bovino es más económica que en el norte y centro del país. Esta variación en el precio de la carne nacional no se corresponde totalmente con la calidad. Según los resultados del presente estudio, la carne que se vende en el centro y sur del país tiene una calidad semejante; sin embargo, el precio de la carne en estas dos zonas difiere en cerca del 40%. Por el contrario, mientras que la carne del norte fue la carne nacional de mejor calidad, esto no se ve claramente reflejado en su precio.

Este análisis evidencia la necesidad de mejorar la organización del sector ganadero de carne bovina, ya que los consumidores están pagando un amplio intervalo de precios por la carne, sin que esto se corresponda con la calidad de la misma.

¹ Precio por kg (Pesos Mexicanos) del corte New York. Período Noviembre 2002-Febrero 2003. Datos tomados de la etiqueta del producto.



DS \pm = 22,73

Figura 22. Precio promedio de la carne mexicana en las diferentes zonas geográficas

La Figura 23 muestra el precio de las dos categorías de carne importada (USDA-Choice e importada sin sello) en las diferentes zonas geográficas. En este caso se observa una mayor correspondencia entre el precio y la calidad. La carne Choice fue más costosa que la importada sin sello en todas las regiones, lo cual concuerda con las diferencias en la calidad de ambos tipos de carne observadas en el estudio. Sin embargo, se percibe una tendencia similar a la que tuvo la carne nacional. La carne importada también es más económica en la zona sur, que en el centro y norte del país. Al parecer, existen otros factores de índole comercial y económico que influyen en este comportamiento, que no serán abordados en el presente trabajo.

¹ Precio por kg (Pesos Mexicanos) del corte New York. Período Noviembre 2002-Febrero 2003.
 Datos tomados de la etiqueta del producto.

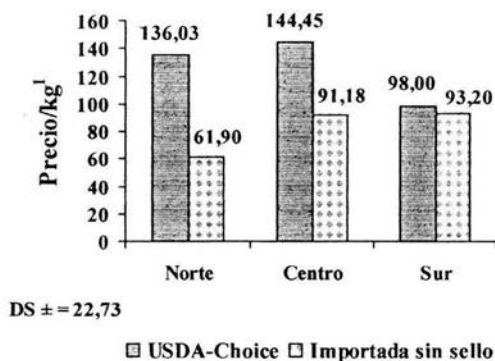
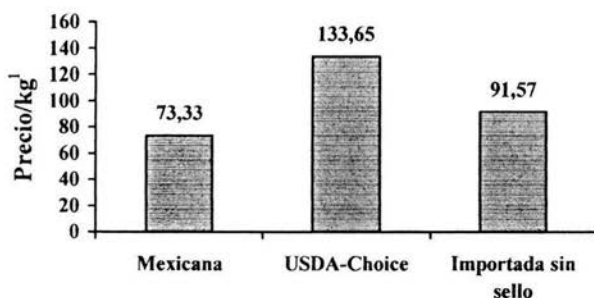


Figura 23. Precio promedio de las dos categorías de carne importada en las diferentes zonas geográficas

La carne nacional, en conjunto, fue 25% más barata que la carne importada sin sello y 80% más barata que la carne Choice, que fue la de mayor precio (Figura 24). Se esperaba que la carne importada fuera más económica, ya que aparentemente, su presencia en el mercado había aumentado en los últimos años debido a la no aplicación de aranceles, en el marco del tratado de libre comercio de América del Norte (TLCAN). Sin embargo, los resultados de este trabajo evidencian que el precio al consumidor es mucho más alto que el de la carne nacional. Sin dudas, esto constituye una ventaja para los productores nacionales en la competencia por el mercado.

¹ Precio por kg (Pesos Mexicanos) del corte New York. Período Noviembre 2002-Febrero 2003.
Datos tomados de la etiqueta del producto.



DS \pm = 25,73

Figura 24. Precio promedio de la carne nacional y las dos categorías de carne importada

La correlación entre el precio y las variables de la composición química e indicadores de calidad se presenta en el Cuadro 23. Se encontró una relación positiva moderada ($P < 0.001$) entre el precio y el contenido de grasa. Esta relación es normal, ya que es más costoso producir un kilogramo de grasa que uno de carne magra. Una relación similar, pero de signo negativo, se observó entre el precio y el contenido de humedad. Este comportamiento era de esperar, teniendo en cuenta la relación inversa que existió entre el contenido de humedad y de grasa.

Por otro lado, se encontró una relación moderada, de signo negativo, entre el precio y la fuerza de corte ($P < 0.001$), lo que indica que la carne más suave se vende a un precio más alto. La relación positiva que se observó entre las pérdidas por cocción y el precio ($P < 0.01$) sugiere que la carne que pierde más peso en la cocción es más cara. Esto concuerda con el mayor precio de la carne Choice y las mayores pérdidas por cocción que tuvo este tipo de carne. Por último, la intensidad de rojo estuvo significativamente correlacionada ($P < 0.001$) con el precio, lo que evidencia que la carne de color rojo fuerte es más barata. En general, los coeficientes de correlación fueron de moderados a bajos, resultados esperados dada la gran cantidad de factores que influyen en el precio de la carne, además de la calidad y la composición química de esta.

Cuadro 23. Coeficientes de correlación entre el precio de la carne y las variables de la composición química e indicadores de calidad

	Precio
Humedad	-0.4480***
Grasa	0.4844***
Proteína	-0.1035
Colágeno total	-0.1016
Colágeno soluble	-0.1218
pH	0.0120
Fuerza de corte	-0.4215***
Pérdidas por cocción	0.2368**
L*	0.1136
a*	-0.2991***
b*	0.0641

P<0.01; *P<0.001

4. CONCLUSIONES

El presente trabajo demostró que la carne fresca de bovino que se comercializa en el mercado formal mexicano es de calidad muy diversa. En términos generales, se podría subdividir la carne en cuatro clases o grados de calidad:

1. La carne mexicana de la zona norte, con bajo contenido de grasa y una buena calidad y aceptación entre los consumidores.
2. La carne mexicana de las zonas centro y sur, también con bajo contenido de grasa y buena aceptación entre los consumidores, pero con indicadores de calidad inferiores.
3. La carne importada USDA-Choice, con calidad y nivel de aceptación entre los consumidores semejantes a los de la carne mexicana de la zona norte, pero con altos niveles de grasa.
4. La carne importada sin sello, de composición química e indicadores de calidad comparables a los de la carne mexicana de las zonas centro y sur, pero con menor aceptación entre los consumidores mexicanos.

La carne de bovino de producción nacional tiene una composición química que satisface a los consumidores mexicanos, sobre todo por su bajo contenido de grasa; sin embargo, existe un considerable espacio para mejorar su calidad, particularmente en los aspectos relacionados con la suavidad y el color.

Los productores nacionales de carne de bovino parecen tener ventajas considerables para competir con las importaciones. La carne importada de mejor calidad (USDA-Choice), tiene altos niveles de grasa. Según la encuesta realizada, es probable que la mayor parte de los consumidores rechace comprar esta carne, aun cuando las propiedades sensoriales de la misma sean muy buenas. Otra desventaja de la carne Choice es su alto precio, ya que como promedio el kilogramo de carne Choice es un 80% más alto que el de la carne nacional. El resto de la carne importada, además de que fue la que menos gustó a los consumidores, enfrenta la competencia de la carne nacional, que es un 25% más barata. Además, la encuesta sugiere que la mayoría de los consumidores prefiere consumir carne nacional siempre que sea posible.

Una importante desventaja de la industria de carne bovina nacional radica en la falta de consistencia y uniformidad del producto que ofrece, lo que denota deficiencias en la organización del sector. Los consumidores están pagando un amplio intervalo de precios por carne de calidad semejante; o por el contrario, están pagando el mismo precio por carne de diferente calidad. Finalmente, aunque la incidencia fue baja, la presencia de residuos de clenbuterol en la carne nacional continúa siendo un peligro potencial para la salud pública en México.

5. RECOMENDACIONES

En lo que a la carne nacional respecta, es evidente que existe la necesidad de establecer un sistema de evaluación de canales que provea a la industria de las herramientas necesarias para mejorar la uniformidad y la calidad del producto que ofrece. Ello permitiría a los consumidores adquirir carne de calidad conocida, a un precio que refleje claramente dicha calidad, con los beneficios consecuentes para toda la cadena productiva. Para que esto suceda, es necesario el trabajo conjunto y la cooperación de todos los sectores vinculados a la ganadería bovina de carne mexicana.

Se recomienda estudiar la aplicación en México de tecnologías que contribuyan a mejorar la calidad de la carne de bovino, tales como la maduración, la estimulación eléctrica de las canales y las inyecciones de cloruro de calcio, por la competitividad que estos procedimientos pueden aportar al producto nacional.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la valiosa colaboración y apoyo de las siguientes personas e instituciones, que permitieron la culminación exitosa del presente trabajo:

- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por el financiamiento otorgado para la ejecución de la presente investigación, a través del proyecto PAPIIT IN-206401.
- Programa de Becas de la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP), de la UNAM.
- Asociación Nacional de Establecimientos Tipo Inspección Federal (ANETIF)
- Confederación Ganadera de Nuevo León
- Dr. Isidro Omar Campo, Centro Administrativo Tabasco 2000. Departamento de Regulación Sanitaria, Villahermosa, Tabasco
- Ing. Raúl Houser Luna, Director de la Escuela de Ciencias Químicas de la Universidad La Salle
- Dra. Lorena Cassís Nostas por su apoyo en los análisis sensoriales y de color.
- Personal del laboratorio 323 de Alimentos, de la Facultad de Química de la UNAM, especialmente a la Q.F.B. Julieta Sandoval.
- Personal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, especialmente al Dr. Danilo Méndez Medina y al Dr. Raul Merino
- Centro Nacional de Servicios Constatación en Salud Animal, Cuernavaca, Morelos
- Los estudiantes del servicio social Jorge Alberto García, Goretti Juárez y Selene Alfarez
- Las estudiantes de maestría Sandra Civit y Juana Gallegos
- Mis tutores, Dra. María de la Salud Rubio Lozano, Dr. René Rosiles Martínez y M.C. Francisca Aida Iturbe Chiñas
- Mi familia y amigos

7. REFERENCIAS

1. Aalhus JL, Price MA, Shand PJ, Hawryish ZJ. 1991. Endurance-exercised growing sheep 2. Tenderness increase and change in meat quality. *Meat Science*, 29: 57-68.
2. Abraham HC, Murphey CE, Cross HR, Smith GC, Franks Jr. WJ. 1980. Factors affecting beef carcass cutability: an evaluation of the USDA yield grades for beef. *Journal of Animal Science*, 50(5): 841-851.
3. Agriculture Canada. Publication 5180/B. Pork quality. A guide to understanding colour and structure of pork muscle. Joint Publication of Research Brand (Lacombe Meat Research Centre) and Food Production and Inspection Brand, Ottawa.
4. Albaugh A, Carroll FD, Ellis KW, Albaugh R. 1975. Comparison of carcasses from steers, short scrotum bulls and intact bulls. *Journal of Animal Science*, 41(6): 1627-1631.
5. Allain JC, Le Lous M, Bazin S, Bailey AJ, Delaunay A. 1978. Isometric tension developed during heating of collagenous tissues. Relationships with collagen cross-linking. *Biochemical and Biophysics Acta*, 533: 147-155.
6. AMEG. 1999. Asociación Mexicana de Engordadores de Ganado Bovino A.C. (<http://www.ameg.org.mx>)
7. AMSA. 1995. Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. American Meat Science Association & National Livestock and Meat Board. Chicago, USA.
8. Annor-Frempong IE, Nute GR, Wood JD, Whittington FW, West A. 1998. The measurements of the responses to different odour intensities of 'boar taint' using a sensory panel and an electronic nose. *Meat Science*, 50: 139-151.
9. ANTAD. 2001. Asociación Nacional de Tiendas de Autoservicio y Departamentales. (<http://www.antad.org.mx>).
10. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th edition. K Helrick (ed.) Arlington, 1230 pp.
11. Arroyo G. 1989. La pérdida de la autosuficiencia alimentaria y el auge de la ganadería en México. Colección Agricultura y Economía. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. Plaza y Valdés (eds.). México, D.F., 367 pp.

12. Asghar A, Batti AR. 1987. Endogenous proteolytic enzymes in skeletal muscle: their significance in muscle physiology and during *post mortem* aging events in carcasses. *Advances in Food Research*, 31: 343-451.
13. Bailey AJ, Restall DJ, Sims TJ, Duance VC. 1979. Meat tenderness: immunofluorescent localisation of isomorphic forms of collagen in bovine muscles of varying texture. *Journal of Science in Food and Agriculture*, 30: 203-210.
14. Beerman DH, Hogue DE, Fishell VK, Dalrymple RH, Ricks CA. 1986. Effects of cimaterol and fishmeal on performance, carcass characteristics and skeletal muscle growth in lambs. *Journal of Animal Science*, 62: 370-380.
15. Bejerholm C, Barton-Gade P. 1986. Effect of intramuscular fat level on eating quality of pig meat. *Proceedings of the 32nd European Meeting of Meat Research Workers*. Ghent, Belgium. Volume II, paper 8:5: 389-391.
16. Belew JB, Brooks JC, McKenna DR, Savell JW. 2003. Warner Bratzler shear evaluation of 40 bovine muscles. *Meat Science*, 64: 507-512.
17. Belk KE, Savell JW. 1992. Low quality grades-effects of implants on maturity, marbling and incidence of dark-cutting beef. In: *Final report of the National Beef Quality Audit-1991*. National Cattlemen's Association. Englewood, Colorado.
18. Bennett LL, Hammond AC, Williams MJ, Kunkle WE, Johnson DD, Preston RL, Miller MF. 1995. Performance, carcass yield, and carcass quality characteristics of steers finished on rhizoma peanut (*Arachis glabrata*)-tropical grass pasture or concentrate. *Journal of Animal Science*, 73: 1881-1887.
19. Berge P, Culioli J, Renerre M, Lacourt A, Renou JP, Ouali A, *et al.* 1991. Use of beta-agonist (clenbuterol) in production of veal calves. II. Effects on meat quality. *Viandes et Produits Carnes*, 11(6): 235-236.
20. Bergen WG, Johnson SE, Skjaerlund DM, Babiker AS, Ames NK, Merkel RA, *et al.* 1989. Muscle protein metabolism in finishing pigs fed ractopamine. *Journal of Animal Science*, 67: 2255-2262.
21. Bergman I, Loxley R. 1963. Two improved and simplified methods for the spectrophotometric determination of hydroxiprolin. *Analytical Chemistry*, 35(12): 1961-1965.

22. Bernués A, Olaizola A, Corcoran K. 2003. Labelling information demanded by European consumers and relationships with purchasing motives, quality and safety of meat. *Meat Science*, 65(3): 1095-1106.
23. Berry BW, Smith GC, Carpenter ZL. 1974. Beef carcass maturity indicators and palatability attributes. *Journal of Animal Science*, 38:507.
24. Bidner TD, Wyatt WE, Humes PE, Franke DE, Blouin DC. 2002. Influence of Brahman-derivative breeds and Angus on carcass traits, physical composition, carcass pH and temperature and palatability. *Journal of Animal Science*, 80: 997-1004.
25. Boleman SJ, Miller RK, Buyck MJ, Cross HR, Savell JW. 1996. Influence of realimentation of mature cows on maturity, color, collagen solubility, and sensory characteristics. *Journal of Animal Science*, 74: 2187-2194.
26. Boleman SJ, Boleman SL, Miller RK, Taylor JF, Cross HR, Wheeler TL, *et al.* 1997. Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. *Journal of Animal Science*, 75: 1521-1524.
27. Boleman SL, Boleman SJ, Morgan WW, Hale DS, Griffin DB, Savell JW, *et al.* 1998. National beef quality audit-1995: survey of producer-related defects and carcass quality and quantity attributes. *Journal of Animal Science*, 76: 96-103.
28. Boles JA, Swan JE. 2002. Processing and sensory characteristics of cooked roast beef: effect of breed, age, gender and storage conditions. *Meat Science*, 62: 419-427.
29. Brambilla G, Loizzo A, Fontana L, Strozzi M, Guarino A, Sporano V. 1997. Food poisoning following consumption of clenbuterol-treated veal in Italy. *Journal of the American Medical Association*, 278: 635.
30. Brambilla G, Cenci T, Franconi F, Galarini R, Macri A, Rondoni F, Strozzi M, Loizzo A. 2000. Clinical and pharmacological profile in a clenbuterol epidemic poisoning of contaminated beef meat in Italy. *Toxicology Letters*, 114: 47-53.
31. Bratzler LJ. 1949. Determining the tenderness of meat by use of the Warner-Bratzler method. Proceedings of the 2nd Reciprocal Meat Conference of the American Meat Science Association. American Meat Science Association, Chicago. p. 117-121.

32. Breidenstein BB, Cooper CC, Cassens RG, Evans G, Bray RW. 1968. Influence of marbling and maturity on the palatability of beef muscle. I. Chemical and organoleptic considerations. *Journal of Animal Science*, 27:1532.
33. Brewer MS, Zhu LG, McKeith FK. 2001. Marbling effects on quality characteristics of pork loin chops: consumer purchase intent, visual and sensory characteristics. *Meat Science*, 59: 153-163.
34. Brooks JC, Belwe JB, Griffin DB, Gwartney BL, Hale DS, Henning WR, *et al.* 2000. National beef tenderness survey-1998. *Journal of Animal Science*, 78: 1852-1860.
35. Burson DE, Hunt MC. 1986. Proportion of collagen types I and III in four bovine muscles differing in tenderness. *Journal of Food Science* 51: 51-53.
36. Byrem TM, Beermann DH, Robinson TF. 1998. The beta-agonist cimaterol directly enhances chronic protein accretion in skeletal muscle. *Journal of Animal Science*, 76: 988-998.
37. Camfield PK, Brown AH Jr, Lewis PK, Rakes LY, Johnson ZB. 1997. Effects of frame size and time-on-feed on carcass characteristics, sensory attributes, and fatty acid profiles of steers. *Journal of Animal Science*, 75:1837-1844.
38. Campo MM, Santolaria P, Sanudo C, Lepetit J, Olleta JL, Panea B, *et al.* 2000. Assessment of breed type and ageing time effects on beef meat quality using two different texture devices. *Meat Science*, 55: 371-378.
39. Carpenter JW, Palmer AZ, Kirk WG, Peacock FM, Koger M. 1961. Slaughter and carcass characteristics of Brahman and Brahman-Shorthorn crossbred steers. *Journal of Animal Science*, 20: 336-340.
40. Carpenter ZL. 1974. Beef quality grade standards-need for modifications? *Proceedings of the Reciprocal Meat Conference*, 27: 122.
41. Carpenter CE, Cornforth DP, Whittier D. 2001. Consumer preferences for beef color and packaging did not affect eating satisfaction. *Meat Science*, 57: 359-363.
42. Chambaz A, Scheeder MRL, Kreuzer M, Dufey PA. 2003. Meat quality of Angus, Simmental, Charolais and Limousin steers compared at the same intramuscular fat content. *Meat Science*, 63: 491-500.

43. Cockram MS, Corley KTT. 1991. Effect of pre-slaughter handling on the behaviour and blood composition of beef cattle. *British Veterinary Journal*, 147: 444-454.
44. Convey EM, Rickes E, Yang YT, McElligot MA, Olson G. 1987. Effects of the beta adrenergic agonist L-644.969 on growth performance, carcass merit and meat quality. *Reciprocal Meat Conference Proceedings*, 40: 47-55.
45. Cornforth D. 1994. Color – its basis and importance. In: Pearson AM, Dutson TR (eds). *Quality attributes and their measurement in meat, poultry and fish products*. Blackie Academic and Professional (Chapman and Hall). London, p. 34-78.
46. Cross HR, Carpenter ZL, Smith GC. 1973. Effects of intramuscular collagen and elastin on bovine muscle tenderness. *Journal of Food Science*, 49:1021.
47. Crouse JD, Busboom JR, Field RA, Ferrell CL. 1981. The effects of breed, diet, sex, location and slaughter weight on lamb growth, carcass composition and meat flavor. *Journal of Animal Science*, 53(2): 376-386.
48. Crouse JD, Cross HR, Siedeman SC. 1984. Effects of a grass or grain diet on the quality of three beef muscles. *Journal of Animal Science*, 58: 619-625.
49. De Blass C. 1990. Efectos del empleo de beta-agonistas sobre la eficacia alimenticia y la calidad de la canal. *Bovis*, 36: 71-85.
50. De Siles JL, Ziegler JH, Wilson LL, Sink JD. 1977. Growth, carcass and muscle characters of Hereford and Holstein steers. *Journal of Animal Science*, 44(6): 973-984.
51. Destefanis G, Barge MT, Brugiapaglia A, Tassone S. 2000. The use of principal component analysis (PCA) to characterize beef. *Meat Science*, 56: 255-259.
52. DeVol DL, McKeith FK, Bechtel PJ, Novakofski J, Shanks RD, Carr TR. 1988. Variation in composition and palatability traits and relationships between muscle characteristics and palatability in a random sample of pork carcasses. *Journal of Animal Science*, 66: 385-395.
53. Dikeman ME, Reddy GB, Arthaud VH, Tuma HJ, Koch RM, Mandigo RW *et al.* 1986. Longissimus muscle quality, palatability and connective tissue histological characteristics of bulls and steers fed different energy levels and slaughtered at four ages. *Journal of Animal Science*, 63: 92-101.

54. Dinius DA, Cross HR. 1978. Feedlot performance, carcass characteristics and meat palatability of steers fed concentrate for short periods. *Journal of Animal Science*, 47: 1109-1113.
55. Elliot CT, McEvoy JDG, McCaughey WJ, Shortt DH, Crooks SRH. 1993. Effective laboratory monitoring for the abuse of the beta-agonist clenbuterol in cattle. *Analyst*, 118: 447-448.
56. Elliot CT, McCaughey WJ, Crooks SRH, McEvoy JDG, Kennedy DG. 1995. Residues of clenbuterol in cattle receiving therapeutic doses: implications for differentiating between legal and illegal use. *The Veterinary Quarterly*, 17 (3): 100-102.
57. Enser M, Hallett KG, Hewett B, Fursey GAJ, Wood JD, Harrington G. 1998. Fatty acid content and composition of UK beef and lamb muscle in relation to production system and implications for human nutrition. *Meat Science*, 49(3): 329-341.
58. Ensminger ME, Perry RC. 1997. Beef cattle science. Animal Agriculture Series. Seventh Edition. Interstate Publishers Inc. Danville, 1104 pp.
59. Etherington DJ, Sims TJ. 1981. Detection and estimation of collagen. *Journal of Science in Food and Agriculture*, 32: 539-546.
60. Etherington DJ. 1984. The contribution of proteolytic enzymes to postmortem change in muscle. *Journal of Animal Science*, 59(6): 1644-1650.
61. Eyre DR, Paz MA, Gallop PM. 1984. Cross-linking in collagen and elastin. *Annual Review of Biochemistry*, 53: 717-748.
62. FAO. 2003. Food and Agricultural Organization of the United Nations. (<http://www.fao.org>)
63. Federal Register. 1982. Standards for grades of carcass beef and standards for grades of slaughter cattle. Agricultural Marketing Service Part IV. US Department of Agriculture.
64. Fernandez X, Monin G, Talmant A, Mourot J, Lebrel B. 1999. Influence of intramuscular fat content on the quality of pig meat-2. Consumer acceptability of m. longissimus lumborum. *Meat Science*, 53(1): 67-72.

65. Fisher C, Hamm R. 1981. *Post mortem* muscle biochemistry and beef quality. In: Hood DE, Tarrant PV (eds.). The problem of dark-cutting beef. Martinus Nijhoff Publishers. The Hague, p. 387-394.
66. Foutz CP, Gill DR, Dolezal GG, Gardner TL, Botts RT. 1990. Synovex-S and trenbolone acetate implants for feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 68 (Suppl. 1): 472.
67. French P, Stanton C, Lawless F, O'Riordan EG, Monahan FJ, Caffrey PJ, Moloney AP. 2000. Fatty acid composition, including conjugated linoleic acid, of intramuscular fat from steers offered grazed grass, grass silage, or concentrate based diets. *Journal of Animal Science*, 78: 2849-2855.
68. Frías C. 2002. Decreta la Secretaría de Salud alerta sanitaria en Jalisco. *La Jornada*. Sección Estados.(<http://www.jornada.unam.mx/2002/ene02/020119/027n3est.html>).
69. Gallardo NJL, García BCM, Albarrán DM, Leiner MA, Ochoa BR, Ortega RC. 2002. Situación actual de la producción de carne de bovino en México. *Claridades Agropecuarias* 109: 3-32.
70. Gandemer G. 1999. Lipides et arômes des produits animaux: l'exemple de la viande. *Oléagineux, Corps Gras, Lipides*, 6: 320-325.
71. Garssen GJ, Geesink GH, Hoving-Bolink AH, Verplanke JC. 1995. Effects of dietary clenbuterol and salbutamol on meat quality in veal calves. *Meat Science*, 40(3): 337-350.
72. Geesink GH, Smulders FJM, Laack HLJM-van, Kolk JH-van der, Wengsing T, Breunkink HJ. 1993. Effects on meat quality of the use of clenbuterol in veal calves. *Journal of Animal Science*, 71(5): 1161-1170.
73. George MH, Tatum JD, Belk KE, Smith GC. 1999. An audit of retail beef loin steak tenderness conducted in eight U.S. cities. *Journal of Animal Science*, 77: 1735-1741.
74. Glitsch K. 2000. Consumer perceptions of fresh meat quality. *British Food Journal*, 10(3):177-194.
75. González P, Fernández T, Cadahía O, Frente C, Franco C, Cepeda A. 1996. Rapid and simple determination of clenbuterol residues in retina by high-performance

- liquid chromatography with ultraviolet detection. *Journal of Chromatography B*, 677: 167-171.
76. Granding T. 1997. Assessment of stress during handling and transport. *Journal of Animal Science*, 75: 249-257.
77. Gregory KE, Cundiff LV, Koch RM. 1995. Genetic and phenotypic (co) variances for growth and carcass traits of purebred and composite populations of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 73: 1920-1926.
78. Gregory NG, Granding T. 1998. *Animal welfare and meat science*. CAB International. Wallingford, 298 pp.
79. Hamano Y, Kume K, Yamazaki S, Kobayashi S, Terashima Y. 1998. Combined effects of clenbuterol and various concentrations of protein on performance of broiler chickens. *British Poultry Science*, 39: 117-122.
80. Harper GS. 1999. Trends in skeletal muscle biology and the understanding of toughness in beef. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50:1105-1129.
81. Herr CT, Kendall DC, Bowkers KA, Hankins SL, Weber TE, Schinckel AP, *et al.* 2001. Effect of a step up or step down ractopamine sequence for late-finishing pigs. *Journal of Animal Science*, 79(Suppl. 2): 53.
82. Higgs JD. 2000. Leaner meat: an overview of the compositional changes in red meat over the last 20 years and how these have been achieved. *Food Science and Technology Today*, 14: 22-26.
83. Hill F. 1966. The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages. *Journal of Food Science* 31: 161-166.
84. Hubbert WT, Gastad HV, Spangler E, Hinton MH, Hughes KL. 1996. *Food safety and quality assurance. Foods of animal origin*. Iowa State University Press. Ames, 305 pp.
85. Huck GL, Brandt RT Jr, Dikeman ME, Simms DD, Kuhl GL. 1991. Frequency and timing of trenbolone acetate implantation on steer performance, carcass characteristics, and beef quality. *Journal of Animal Science*, 69 (Suppl. 1): 560.
86. Huffman RD, Williams SE, Hargrove DD, Johnson DD, Marshall TT. 1990. Effects of percentage Brahman and Angus breeding, age-season of feeding and slaughter

- end point on feedlot performance and carcass characteristics. *Journal of Animal Science*, 68: 2243-2252.
87. Huffman KL, Miller MF, Hoover LC, Wu CK, Brittin HC, Ramsey CB. 1996. Effect of beef tenderness on consumer satisfaction with steaks consumed in the home and restaurant. *Journal of Animal Science*, 74:91-97.
88. Hulot F, Ouhayoun J, Manoucheri M. 1996. Effect of clenbuterol on productive performance, body composition and muscle biochemistry in the rabbit. *Meat Science*, 42(4): 457-464.
89. Ilian MA, Morton JD, Kent MP, Le Couteur CE, Hickford J, Cowley R, Bickerstaffe R. 2001. Intermuscular variation in tenderness: association with the ubiquitous and muscle-specific calpains. *Journal of Animal Science*, 79: 122-132.
90. INEGI (2003). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (<http://www.inegi.gob.mx/est/>)
91. Intervet. 2002. Zilmax, Guía Técnica. Intervet de México S.A. de C.V.
92. Jeremiah LE. 1978. A review of factors affecting meat quality. Lacombe Research Station. Technical Bulletin No. 1. Lacombe.
93. Jeremiah LE, Ball RO, Merrill JK, Dick P, Stobbs L, Gibson LL, *et al.* 1994. Effects of feed treatment and gender on the flavour and texture profiles of cured and uncured pork cuts. I. Ractopamine treatment and dietary protein level. *Meat Science*, 37: 1-20.
94. Jeremiah LE, Dugan MER, Aalhus JL, Gibson LL. 2003. Assessment of the chemical and cooking properties of the major beef muscles and muscle groups. *Meat Science*, 65: 985-992.
95. John BW, Armstrong HS, Cannavan A, Elliot CT, Glenn KD. 1993. Detection of clenbuterol residues in bovine liver, muscle, retina and urine using gas chromatography/mass spectrometry. *Biological Mass Spectrometry*, 22: 326-330.
96. Johnson DD, Lunt DK, Savell JW, Smith GC. 1988. Factors affecting carcass characteristics and palatability of young bulls. *Journal of Animal Science*, 66: 2568-2577.

97. Keane MG, Allen P. 1998. Effects of production system intensity on performance, carcass composition and meat quality of beef cattle. *Livestock Production Science*, 56: 203-214.
98. Kerth CR, Miller MF, Ramsey CB. 1995. Improvement of beef tenderness and quality traits with calcium chloride injection in beef loins 48 hours post-mortem. *Journal of Animal Science*, 73(3): 750-756.
99. Koch RM, Dikeman ME, Seideman SC. 1982. Characterization of biological types of cattle (Cycle III). III. Carcass composition, quality and palatability. *Journal of Animal Science*, 54: 35.
100. Koeslag JH, Orozco LF. 1988. *Manuales para educación agropecuaria. Bovinos de carne. Area: producción animal.* Editorial Trillas. México, D.F., 101pp.
101. Koger M. 1980. Effective crossbreeding systems utilizing Zebu cattle. *Journal of Animal Science*, 50: 1215-1220.
102. Koohmaraie M. 1988. The role of endogenous proteases in meat tenderness. *Proceedings of the Reciprocal Meat Conference*, 41:89.
103. Koohmaraie M, Shackelford SD, Muggli-Cockett NE, Stone RT. 1991. Effect of the beta-adrenergic agonist L644.969 on muscle growth, endogenous proteinase activities and *post mortem* proteolysis in wether lambs. *Journal of Animal Science*, 69: 4823-4835.
104. Koohmaraie M, Shackelford SD, Wheeler TL. 1996. Effects of a β -adrenergic agonist (L-644.969) and male sex condition on muscle growth and meat quality of callipyge lambs. *Journal of Animal Science*, 74: 70-79.
105. Koohmaraie M, Shackelford SD, Wheeler TL. 2001. Potential issues in meat quality of animals fed β -adrenergic agonists: a review. *Journal of Animal Science*, 79 (Suppl. 2): 57.
106. Kuiper HA, Noordam MY, Van Dooren-Flipsen MMH, Schilt R, Roos AH. 1998. Illegal use of β -adrenergic agonists: European Community. *Journal of Animal Science*, 76: 195-207.
107. Lamming GE. 1983. European Economic Community-A summary of the report of a scientific working group on anabolic agents in animal production. In: *Anabolics in*

- animal production: public health aspects, analytical methods, and regulation. Paris: Office International des Epizooties. p. 505-507.
- 108.Lansdell JL, Miller MF, Wheeler TL, Koohmaraie M, Ramsey CB. 1995. Postmortem injection of calcium chloride effects on beef quality traits. *Journal of Animal Science*, 73(6): 1735-1740.
- 109.Larick DK, Hedrick HB, Bailey ME, Williams JE, Hancock DL, Garner GB. 1987. Flavour constituents of beef as influenced by forage and grain feeding. *Journal of Food Science*, 52: 245-251.
- 110.Lastra MIJ, Galarza JM. 1998. Situación actual y perspectivas de la producción de carne de bovino en México. SAGAR, México.
- 111.Lawrie RA. 1974. *Meat Science*. Pergamon Press. Second Edition. Oxford. 419 pp.
- 112.Lentner M, Bishop T. 1986. *Experimental design and analysis*. Valley Book Company. Blacksburg, 563 pp.
- 113.Li X, Li F, Xiao Y. 1995. Effects of clenbuterol on meat quality of pigs. *Chinese Journal of Animal Science*, 31(3): 7-9.
- 114.Li X, Li Y, Wang Q, Meng X, Shan Y. 1997. The effect of high temperature and clenbuterol on performance and carcass composition of broilers. *Journal of the Northeast Agricultural University-English Edition*, 4(1): 34-44.
- 115.Liang W, Mills SE. 2002. Quantitative analysis of β -adrenergic receptor subtypes in pig tissues. *Journal of Animal Science*, 80: 963-970.
- 116.Light ND, Champion AE. 1984. Characterisation of muscle epimysium, perimysium and endomysium collagens. *Biochemical Journal*, 219: 1017-1026.
- 117.Light ND, Champion AE, Voyle C, Bailey AJ. 1985. The role of epimysial, perimysial and endomysial collagen in determining texture in six bovine muscles. *Meat Science*, 13: 137-149.
- 118.Light ND. 1987. The role of collagen in determining the texture of meat. In: AM Pearson, TR Dutson and AJ Bailey (eds.). *Advances in Meat Research*, Vol. 4. AVI. New York, p. 87-107.
- 119.Listrat A, Rakadjyski N, Jurie C, Picard B, Touraille C, Geay Y. 1999. Effect of the type of diet on muscle characteristics and meat palatability of growing salers bulls. *Meat Science*, 53: 115-124.

120. Lorenzen CL, Hale DS, Griffin DB, Savell JW, Belk KE, Frederick TL, *et al.* 1993. National beef quality audit: survey of producer-related defects and carcass quality and quantity attributes. *Journal of Animal Science*, 71: 1495-1502.
121. Lorenzen CL, Miller RK, Taylor JF, Neely TR, Tatum JD, Wise JW, *et al.* 2003. Beef customer satisfaction: trained sensory panel ratings and Warner-Bratzler shear force values. *Journal of Animal Science*, 81: 143-149.
122. Luchak GL, Miller RK, Belk KE, Hale DS, Michaelsen SA, Johnson DD, *et al.* 1998. Determination of sensory, chemical and cooking characteristics of retail beef cuts differing in intramuscular and external fat. *Meat Science*, 50(1): 55-72.
123. Luño M, Beltran JA, Jaime I, Roncales P. 1999. Textural assessment of clenbuterol treatment in beef. *Meat Science*, 51(4): 297-303.
124. Martín R, Hernández PE, Sanz B. 1992. Revisión: residuos de tratamientos veterinarios y salud pública. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 32(5): 461-480.
125. Martínez-Navarro JF. 1990. Food poisoning related to consumption of illicit beta-agonist in liver. *Lancet*, 336: 1311.
126. McKenna DR, Roeber DL, Bates PK, Schmidt TB, Hale DS, Griffin DB *et al.* 2002. National beef quality audit 2000: survey of targeted cattle carcass characteristics related to quality, quantity, and value of fed steers and heifers. *Journal of Animal Science*, 80: 1212-1222.
127. May SG, Dolezal HG, Gill DR, Ray FK, Buchanan DG. 1992. Effects of days fed, carcass grade traits and subcutaneous fat removal on *post mortem* muscle characteristics and beef palatability. *Journal of Animal Science*, 70: 444-453.
128. McCarthy M, De Boer M, O'Reilly, Cotter L. 2003. Factors influencing intention to purchase beef in the Irish market. *Meat Science*, 65: 1071-1083.
129. McCoy J, Sarhan ME. 1988. *Livestock and meat marketing*. Van Nostrand Reinhold Company Inc. Publisher. 3rd Edition. New York, 642 pp.
130. McDonagh MB, Fernandez C, Oddy VH. 1999. Hind-limb protein metabolism and calpain system activity influence post-mortem change in meat quality in lamb. *Meat Science*, 52(1): 9-18.

131. McEvoy GE, Pastoria GA, Byers FM. 1987. Economic impact of the European Economic Community's ban on anabolic implants. Executive summary. USDA-FSIS.
132. McGill LA. 1981. Consumer's viewpoints about meat tenderness. Beef, pork, turkey meat. Proceedings of the 34th Annual Reciprocal Meat Conference, 34: 73-74.
133. McKeith FK. 2001. Effects of ractopamine on meat quality. *Journal of Animal Science*, 79 (Suppl. 1): 239.
134. McNally PW, Warriss PD. 1996. Recent bruising in cattle at abattoirs. *Veterinary Record*, 138: 126-128.
135. Melton SL. 1990. Effects of feeds on flavour of red meat: a review. *Journal of Animal Science*, 68: 4421-4435.
136. Mersmann HJ, Hu CY, Pond WG, Rule DC, Novakofski JE, Smith SB. 1987. Growth and adipose tissue metabolism in young pigs fed cimaterol with adequate or low dietary protein. *Journal of Animal Science*, 64: 1384-1394.
137. Mersmann HJ. 1998. Overview of the effects of β -adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action. *Journal of Animal Science*, 76: 160-172.
138. Miller RK, Cross HR, Crouse JD, Tatum JD. 1987. The influence of diet and time on feed on carcass traits and quality. *Meat Science*, 19(4): 303-313.
139. Miller RK, Tatum JD, Cross HR, Bowling RA, Clayton RP. 1983. Effects of carcass maturity on collagen solubility and palatability of beef from grain-finished steers. *Journal of Food Science*, 48(2): 484-486.
140. Miller MF, Huffman KL, Gilbert SY, Hamman LL, Ramsey CB. 1995. Retail consumer acceptance of beef tenderized with calcium chloride. *Journal of Animal Science*, 73(8): 2308-2314.
141. Mills SE. 2001. Biological basis of ractopamine responses. *Journal of Animal Science*, 79 (Suppl. 1): 238.
142. Mitchell GA, Dunnavan G. 1998. Illegal use of β -adrenergic agonists in the United States. *Journal of Animal Science*, 76: 208-211.

143. Moibi JA, Christopherson RJ, Li Y. 2000. Effect of β -adrenergic agonist L-644,969 on the impact of the thermal environment on in vitro fatty acid synthesis and lipogenic enzymes in sheep. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C* 125: 251-263.
144. Moloney A, Allen P, Joseph R, Tarrant V. 1991. Influence of beta-adrenergic agonists and similar compounds on growth. In: Pearson AM, Dutson TR (eds.). *Growth regulation in farm animals*. Elsevier. New York, p. 455-513.
145. Moloney A. 1999. The quality of meat from beef cattle. Is it influenced by diet? R&H Hall Technical Bulletin Issue No. 4
146. Moody DE, Hancock DL, Anderson DB. 2000. Phenethanolamine repartitioning agents. In: D'Mello JPF (ed.). *Farm animal metabolism and nutrition*. CAB International. p. 65-95.
147. Morgan JB, Jones SJ, Calkins CR. 1989. Muscle protein turn-over and tenderness in broiler chickens fed cimaterol. *Journal of Animal Science*, 67: 2646-2654.
148. Muir PD, Deaker JM, Bown MD. 1998. Effects of forage- and grain-based feeding systems on beef quality: a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 41: 623-635.
149. Murphey CE, Hallet DK, Tyler WE, Pierce JC. 1960. Estimating yields of retail cuts from beef carcasses. Presented at the Sixty-second Meeting of the American Society of Animal Production. Chicago, Illinois.
150. NOM-061-ZOO-1999. Norma Oficial Mexicana. Especificaciones Zoosanitarias de los Productos Alimenticios para Consumo Animal. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Social. Diario Oficial. Primera Sección, Octubre 2000: 12-17.
151. Noricumbo JL. 1996. Finalización: engorda pasto vs grano. Repercusiones en el rendimiento y calidad de la carne. En: Curso de actualización: ganadería, industria y ciencia de la carne en México. Memorias. Depto Producción Animal Rumiantes. División de Educación Continua. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F., 295 pp.
152. Norman GA. 1982. Effect of breed and nutrition on the productive traits of beef cattle in South-East Brazil: Part 3-Meat quality. *Meat Science*, 6: 79.

153. Nute GR. 1996. Assessment by sensory and consumer panelling. In: Taylor SA, Raimundo A, Severini M, Smulders FJM (eds.). Meat quality and meat packaging. ECCEAMST. Utrecht, p. 243-255.
154. O'Connor SF, Tatum JD, Wulf DM, Green RD, Smith GC. 1997. Genetic effects on beef tenderness in *Bos indicus* composite and *Bos taurus* cattle. *Journal of Animal Science*, 75: 1822-1830.
155. Olsson U, Wahlgren NM, Tornberg E. 1995. The influence of pre-slaughter stress on muscle shortening, isometric tension and meat tenderness of beef. *Proceedings of the 41st International Congress of Meat Science, and Technology*. San Antonio, E-36: 614-615.
156. OMS. 1998. Evaluación de residuos de ciertos fármacos de uso veterinario en los alimentos. 47º Informe del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios. Organización Mundial de la Salud. Serie de Informes Técnicos, 876. 92 pp.
157. Page JK, Wulf DM, Schwotzer TR. 2001. A survey of beef muscle color and pH. *Journal of Animal Science*, 79: 678-687.
158. Peacock, F. M., A. Z. Palmer, J. W. Carpenter, and M. Koger. 1979. Breed and heterosis effects on carcass characteristics of Angus, Brahman, Charolais and crossbred steers. *Journal of Animal Science*, 49: 391-395.
159. Pérez M. 2002. Ganaderos del centro y sur del país usan químico prohibido para engordar el ganado. *La Jornada*. Sección Política. (<http://www.jornada.unam.mx/2002/sep02/020912/015n1pq/php?origen=index.html>)
160. Piggott JR, Simpson SJ, Williams SAR. 1998. Sensory analysis. *International Journal of Food Science and Technology*, 33: 7-18.
161. Powell TH, Dikeman ME, Hunt MC. 2000. Tenderness and collagen composition of beef semitendinosus roasts cooked by conventional convective cooking and modelled, multi-stage, convective cooking. *Meat Science*, 55: 421-425.
162. Preston RL. 1975. Biological responses to oestrogen additives in meat-producing cattle and lambs. *Journal of Animal Science*, 41: 1414.
163. Pringle RD, Calkins CR, Koohmaraie M, Jones SJ. 1993. Effects over time of feeding β -adrenergic agonists to wether lambs on animal performance, muscle

- growth, endogenous muscle proteinase activities and meat tenderness. *Journal of Animal Science*, 71: 636-644.
164. Pringle TD, Williams SE, Lamb BS, Johnson DD, West RL. 1997. Carcass characteristics, the calpain proteinase system, and aged tenderness of Angus and Brahman crossbred steers. *Journal of Animal Science*, 75: 2955-2961.
165. Pulce C, Lamaison D, Keck G, Bostvironnois C, Nicolas J, Descotes J. 1991. Collective human food poisonings by clenbuterol residues in veal liver. *Veterinary Human Toxicology* 33: 480-481.
166. Raes K, Balcaen A, Dirinck P, de Winne A, Claeys E, Demeyer D, *et al.* 2003. Meat quality, fatty acid composition and flavour analysis in Belgian retail beef. *Meat Science*, 65: 1237-1246.
167. R-Biopharm. 1996. RIDASCREEN Clenbuterol. Enzyme immunoassay for the quantitative analysis of clenbuterol and other β -agonists. R-Biopharm GmbH. Art. No. 1705. Darmstadt, Germany.
168. Rehfeldt C, Schadereit R, Weikard R, Reichel K. 1997. Effect on growth, carcass and skeletal muscle characteristics in broiler chickens. *British Poultry Science*, 38(4): 366-373.
169. Renand G, Picard B, Touraille C, Berge P, Lepetit J. 2001. Relationships between muscle characteristics and meat quality traits of young Charolais bulls. *Meat Science*, 59: 49-60.
170. Resurreccion AVA. 2003. Sensory aspects of consumer choices for meat and meat products. *Meat Science*, 66: 11-20.
171. Ri JX, Zi RX, Hong LC. 1999. Effects of ractopamine at different dietary protein levels on growth performance and carcass characteristics in finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 79: 119-127.
172. Ribeiro GAI, Proença DGCI, Dias FTC. 1997. Avaliação do risco toxicológico para o homem devido à ingestão de carne com resíduos hormonais. Universidade Técnica de Lisboa. Faculdade de Medicina Veterinária. *Toxicologia 1996/97* (<http://www.fmv.utl.pt/democ/sft/sem9697/g36.htm#b01>).

173. Robbins K, Jensen J, Ryan KJ, Homco-Ryan C, McKeith FK, Brewer MS. 2003. Consumer attitudes towards beef and acceptability of enhanced beef. *Meat Science*, 65(2): 721-729.
174. Roeber DL, Belk KE, Tatum JD, Wilson JW, Smith GC. 2001. Effects of three levels of α -tocopheril acetate supplementation to feedlot cattle on performance of beef cuts during retail display. *Journal of Animal Science*, 79: 1814-1820.
175. Romans JR, Tuma HJ, Tucker WL. 1965. Influence of carcass maturity and marbling on the physical and chemical characteristics of beef. I. Palatability, fiber diameter and proximate analysis. *Journal of Animal Science*, 24: 681.
176. Romboli I, Turi RM, Giuliotti L, Preziuso P, Campodoni G, Gianfaldoni D, *et al.* 1997. Further investigations on the effect of clenbuterol on performances, carcass composition, meat characteristics and residues in some organs and tissues of Muscovy ducks. *Archiv fur Geflugelkunde*, 61(1): 28-32.
177. Rousset S, Jolivet P. 2002. Discrepancy between expected and actual acceptability of meat products, eggs and fish: the case of older consumers. *Journal of Sensory Studies*, 17: 61-75.
178. Rubio LMS, Zorrilla J, Liccaga DC, Montiel AN. 1999. Efecto del clorhidrato de zilpaterol (Zilmax) en la calidad de la carne de bovinos. *Memorias de la XXXV Reunión Anual de Investigaciones Pecuarias*. Octubre 19-22. Mérida.
179. Safari E, Channon HA, Hopkins DL, May DG, van de Ven R. 2002. A national audit of retail lamb loin quality in Australia. *Meat Science*, 61: 267-273.
180. Sánchez EJ. 1990. Anabólicos y hormonas. En: Avila E, Shimada A, Llamas G, (eds.). *Anabólicos y aditivos en la producción pecuaria*. Capítulo 4. Alteradores del metabolismo y de la salud. *Sistema de Educación Continua en Producción Animal en México A.C. México, D.F.*, p. 131-164.
181. Sánchez RG, Gómez R, Avalos L, Iruegas L, Roseta D. 1999. Oportunidades de desarrollo en la industria de la carne de bovino en México. *FIRA Boletín Informativo México* 32(312): 5-119.
182. Savell JW, Harris JJ, Cross HR, Hale DS, Beasley LC. 1991. National beef market basket survey. *Journal of Animal Science*, 69: 2883-2893.

183. Secretaría de Economía. 2002. Subsecretaría de Negociaciones Comerciales Internacionales. Información Arancelaria y Normativa (02012099).
184. Seideman SC, Croase JD, Cross HR. 1986. The effect of sex condition and growth implants on bovine muscle fiber characteristics. *Meat Science*, 17: 79-95.
185. Sensky PL, Parr T, Bardsley RG, Buttery PJ. 1996. The relationship between plasma epinephrine concentration and the activity of the calpain enzyme system in porcine longissimus dorsi muscle. *Journal of Animal Science*, 74: 380-387.
186. Shackelford SD, Savell JW, Croase JD, Cross HR, Schanbacher BD, Johnson DD, *et al.* 1992. Palatability of beef from bulls administered exogenous hormones. *Meat Science*, 32: 397-405.
187. Shackelford SD, Wheeler TL, Koohmaraie M. 1995. Relationship between shear force and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *Journal of Animal Science*, 73: 3333-3340.
188. Shackelford SD, Wheeler TL, Meade MK, Reagan JO, Byrnes BL, Koohmaraie M. 2001. Consumer impressions of tender Select beef. *Journal of Animal Science*, 79(10): 2605-2614.
189. Shanks BC, Wulf DM, Maddock RJ. 2002. Technical note: the effect of freezing on Warner-Bratzler shear force values of beef longissimus steaks across several *post mortem* aging periods. *Journal of Animal Science*, 80: 2122-2125.
190. Sheard PR, Nute GR, Chappell AG. 1998. The effect of cooking on the chemical composition of meat products with special reference to fat loss. *Meat Science*, 49(2): 175-191.
191. Shearer J, Burgess G, English PR. 1986. A study of consumer attitudes to fat in meat. British Society of Animal Production. Winter Meeting. Paper No. 88.
192. Sherbeck JA., Tatum JD, Field TG, Morgan JB, Smith GC. 1995. Feedlot performance, carcass traits, and palatability traits of Hereford and Hereford x Brahman steers. *Journal of Animal Science*, 73: 3613-3620.
193. Silva JA, Patarata L, Martins C. 1999. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing. *Meat Science*, 52: 453-459.

194. Simmons NJ, Young OA, Dobbie PM, Singh K, Thompson BC, Speck PA. 1997. Post-mortem calpain system kinetics in lamb: effects of clenbuterol and preslaughter exercise. *Meat Science*, 47(1-2): 135-146.
195. Smith, GC, Savell JW, Clayton RP, Field TG, Griffin DB, Hale DS, *et al.* 1992. In: Smith GC (ed.) *The Final Report of the National Beef Quality Audit-1991*. Colorado State University, Fort Collins and Texas A&M University. College Station, p 236.
196. Smith DJ, Paulson GD. 1997. Distribution, elimination and residues of [¹⁴C] clenbuterol HCl in Holstein veal calves. *Journal of Animal Science*, 75: 454-461.
197. Smith DJ. 1998. The pharmacokinetics, metabolism, and tissue residues of β -adrenergic agonists in livestock. *Journal of Animal Science*, 76: 173-194.
198. Smith DJ. 2000. Total radioactive residues and clenbuterol residues in swine after dietary administration of [¹⁴C] clenbuterol for seven days and preslaughter withdrawal periods of zero, three, or seven days. *Journal of Animal Science*, 78: 2903-2912.
199. Sporano V, Grasso L, Esposito M, Oliviero G, Brambilla G. 1998. Clenbuterol residues in non-liver containing meat as a cause of collective food poisoning. *Veterinary Human Toxicology*, 40(3): 141-143.
200. Stecchini ML, Giomo A, Corino C, Polidori F. 1991. Effects of clenbuterol on heavy pigs: carcass and meat quality. *Selezione Veterinaria*, 32 (Suppl. 1): 251-257.
201. Tarrant PV, Granding T. 1993. Cattle transport. In: Granding T (ed.). *Livestock handling and transport*. CAB International. Wallingford, p. 109-126.
202. Tatum JD, Smith GC, Berry BW, Murphey CE. 1980. Carcass characteristics, time on feed and cooked beef palatability attributes. *Journal of Animal Science*, 50(5): 833-840.
203. Tatum JD, Smith GC, Carpenter ZL. 1982. Interrelationships between marbling, subcutaneous fat thickness and cooked beef palatability. *Journal of Animal Science*, 54(4): 777-784.
204. Tatum, JD. 1993. The effects of anabolic implants on beef quality traits. *Meat Focus International*, February: 71-74.

205. Taylor W. 1984. Risks associated with the exposure of human subjects to endogenous and exogenous anabolic steroids. In: Anabolics in animal production: public health aspects, analytical methods and regulation. Paris: Office International des Epizooties. p 273-287.
206. Torrecano G, Sánchez-Escalante A, Jiménez B, Roncalés P, Beltrán JA. 2003. Shear values of raw samples of 14 bovine muscles and their relation to muscle collagen characteristics. *Meat Science*, 64: 85-91.
207. Touraille C. 1994. Incidence des caractéristiques musculaires sur les qualités organoleptiques des viandes. *Rencontres Recherches Ruminants*, 1 : 169-176.
208. USDA/ERS. 2002. Changing consumer demands create opportunities for U.S. food system. USDA Economic Research Service. *Food Review*, 25(1): 19-22.
209. USDA. 2003. Consumer education and information. Focus on: beef... from farm to table. Food Safety and Inspection Service. United States Department of Agriculture. (<http://www.fsis.usda.gov/ao/pubs/focusbeef.htm>)
210. USMEF. 2003. United States Meat Export Federation. (<http://www.usmef.org>)
211. Van der Rest M, Garrone R. 1991. Collagen family of proteins. *The FASEB Journal* 5: 2814-2823.
212. Van der Wal PG, Bolink AH, Merkus GSM. 1988. Differences in quality characteristics of normal, PSE and DFD pork. *Meat Science*, 24: 79-84.
213. Velle W. 1982. The use of hormones in animal production. In: Hormones in animal production. Selected papers presented to the joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. FAO Animal Production and Health Paper No. 31. p. 1-24.
214. Vestergaard M, Sjørsen K, Klastrup S. 1994. Growth, composition and eating quality of *longissimus dorsi* from young bulls fed the beta-agonist cimaterol at consecutive developmental stages. *Meat Science*, 38: 55-66.
215. Vestergaard M, Therkildsen M, Henckel P, Jensen LR, Andersen HR, Sjørsen K. 2000. Influence of feeding intensity, grazing and finishing feeding on meat and eating quality of young bulls and the relationship between muscle fibre characteristics, fibre fragmentation and meat tenderness. *Meat Science*, 54: 187-195.

216. Villanueva MV, Aluja AS. 1998. Estado actual de algunas plantas de sacrificio de animales para consumo humano en México. *Veterinaria de México*, 29 (3):273-278.
217. Villegas G, Bolaños A, Olguín L. 2001. La ganadería en México I. 5.1. Temas selectos de geografía de México. Plaza y Valdés (eds.). México, D.F., 158 pp.
218. Villegas TJ. 2003. Competitividad del sector ganadero. Primera de dos partes. *México Ganadero*, 491: 3-9.
219. Wagner JR, Jones DJ, Mowrey DH. 2001. Effect of Paylean (Rac-HCl) on lean and primal cut yields from the pork carcass. *Journal of Animal Science*, 79 (Suppl. 2): 57.
220. Walter MJ, Goll DE, Kline EA, Anderson LP, Carlin AF. 1965. Effects of marbling and maturity on beef muscle characteristics. I. Objective measurements of tenderness and chemical properties. *Food Technology*, 19: 841.
221. Warriss PD, Kestin SC, Brown SN. 1989. The effects of beta-adrenergic agonists on carcass and meat quality in lambs. *Animal Production*, 48(2): 385-392.
222. Warriss PD. 1996. Introduction: What is meat quality? In: Taylor SA, Raimundo A, Severini M, Smulders FJM (eds). *Meat quality and meat packaging*. ECCEAMST. Utrecht, p. 3-10.
223. Warriss PD. 2000. *Meat Science. An introductory text*. CABI Publishing. New York, 310 pp.
224. Wheeler TL, Davis GW, Clark JR, Ramsey CB, Rourke TJ. 1989. Composition and palatability of early and late maturing beef breed types. *Journal of Animal Science*, 67(1): 142-151.
225. Wheeler TL, Savell JW, Cross HR, Lunt DK, Smith SB. 1990a. Effect of postmortem treatments on the tenderness of meat from Hereford, Brahman and Brahman-cross beef cattle. *Journal of Animal Science*, 68(11): 3677-3686.
226. Wheeler TL, Savell JW, Cross HR, Lunt DK, Smith SB. 1990b. Mechanisms associated with the variation in tenderness of meat from Brahman and Hereford cattle. *Journal of Animal Science*, 68(12): 4206-4220.

227. Wheeler TL, Koohmaraie M, Cundiff LV, Dikeman ME. 1994. Effects of cooking and shearing methodology on variation in Warner-Bratzler shear force values in beef. *Journal of Animal Science*, 72: 2325-2330.
228. Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M. 1996. Sampling, cooking, and coring effects on Warner-Bratzler shear force values in beef. *Journal of Animal Science*, 74: 1553-1562.
229. Wheeler TL, Shackelford SD, Johnson LP, Miller MF, Miller RK, Koohmaraie M. 1997. A comparison of Warner-Bratzler shear force assessment within and among institutions. *Journal of Animal Science*, 75: 2423-2432.
230. Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M. 1999. Tenderness classification of beef: IV. Effect of USDA quality grade on the palatability of "tender" beef longissimus when cooked well done. *Journal of Animal Science*, 77: 882-888.
231. Wheeler TL, Cundiff LV, Shackelford SD, Koohmaraie M. 2001. Characterization of biological types of cattle (Cycle V): carcass traits and longissimus palatability. *Journal of Animal Science*, 79: 1209-1222.
232. Whipple G, Koohmaraie M, Dikeman ME, Crouse JD. 1990. Predicting beef-Longissimus tenderness from various biochemical and histological muscle traits. *Journal of Animal Science*, 68: 4193-4199.
233. Williams SE, Johnson DD, Hargrove DD, Waackman DL. 1987. Palatability and carcass characteristics of Angus and Angus x Brahman steers when fed in different seasons, on different diets and slaughtered at two end points. *Journal of Animal Science*, 65 (Suppl. 1): 289.
234. Zerby HN, Belk KE, Sofos JN, McDowell LR, Smith GC. 1999. Case life of seven retail products from beef cattle supplemented with alpha-tocopheril acetate. *Journal of Animal Science*, 77: 2458-2463.
235. Wulf DM, Tatum JD, Green RD, Morgan JB, Golden BL, Smith GC. 1996. Genetic influences on beef longissimus palatability in Charolais and Limousin-sired steers and heifers. *Journal of Animal Science*, 74: 2394.
236. Wulf DM, O'Connor SF, Tatum JD, Smith GC. 1997. Using objective measures of muscle color to predict beef longissimus tenderness. *Journal of Animal Science*, 75: 684-692.

237. Wulf DM, Emmett RS, Leheska JM, Moeller SJ. 2002. Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability. *Journal of Animal Science*, 80: 1895-1903.
238. Zu X, Zhang Z, Ma M, Zhang F. 2000. Effect of clenbuterol on carcass performance of meat rabbits. *Chinese Journal of Animal Science*, 33(6): 27-28.