



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN

Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

CALIDAD DE LA CARNE DE BOVINOS

SUPLEMENTADOS CON VITAMINA E

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

PRESENTA:

HORTENCIA BARRAGÁN GONZÁLEZ

Bajo la supervisión de:

GILBERTO ARANDA OSORIO, Ph.D.



Diciembre de 2009

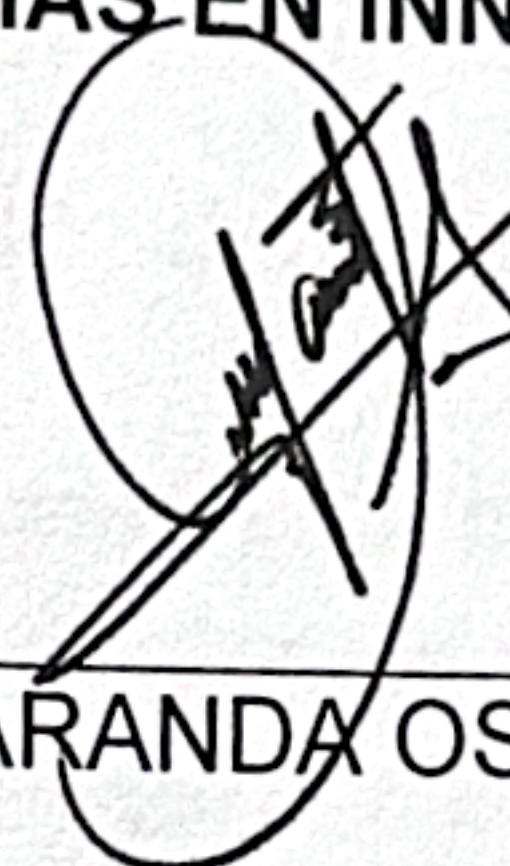
Chapingo, Estado de México.

CALIDAD DE LA CARNE DE BOVINOS SUPLEMENTADOS CON VITAMINA E

Tesis realizada por Hortencia Barragán González, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



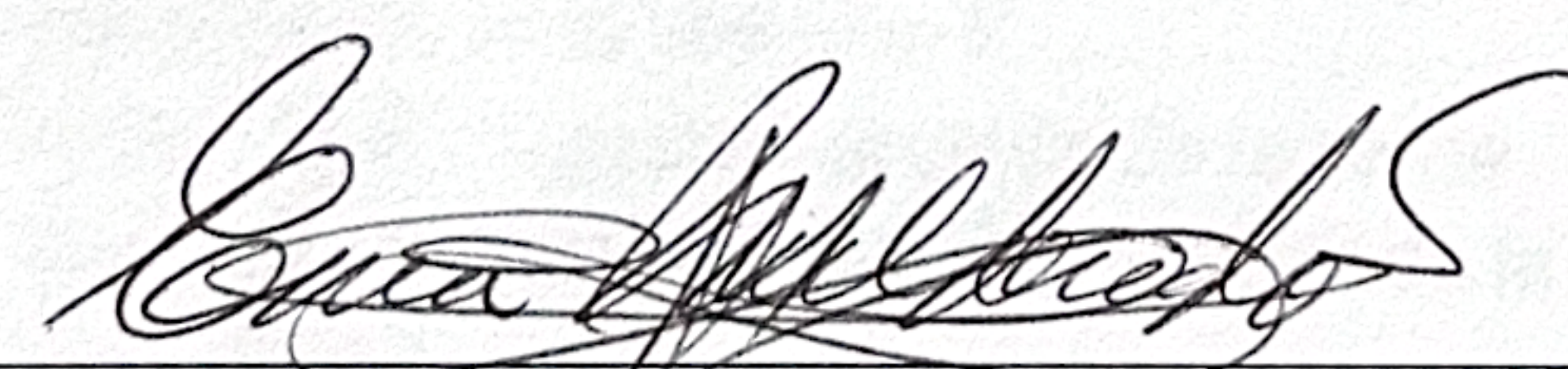
Ph.D. GILBERTO ARANDA OSORIO

ASESOR:



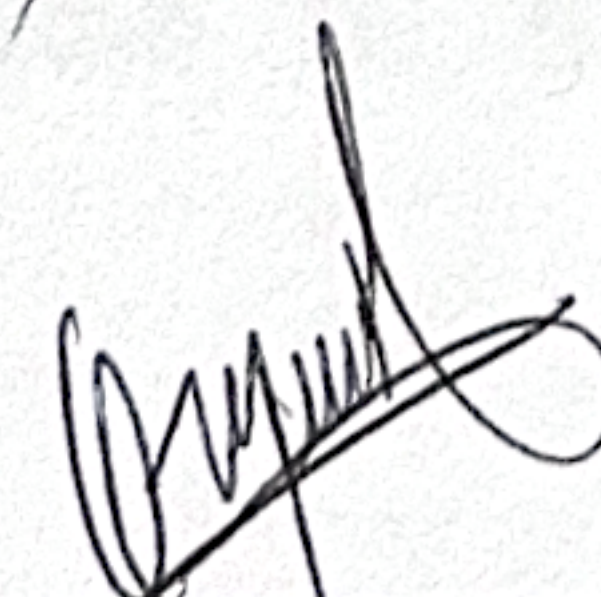
Ph.D. MAXIMINO HUERTA BRAVO

ASESOR:



Dra. EMA MALDONADO SIMÁN

ASESOR



Ph.D. OMAR HERNÁNDEZ MENDO

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE APÉNDICES	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
DATOS BIOGRÁFICOS	ix
1 INTRODUCCIÓN	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Características de la industria de la carne bovina en México	3
2.2 Sistemas de producción de bovinos para carne	4
2.3 Calidad de la carne	6
2.3.1 Concepto de calidad para los distintos eslabones de la cadena de la carne	9
2.3.2 Características generales del músculo	12
2.3.3 Proceso de transformación de músculo a carne	14
2.3.4 Composición química de la carne	16
2.3.5 Composición de la canal	19
2.3.6 Factores que influyen en la calidad de la carne	20
2.3.7 Factores biológicos que controlan la calidad de carne	32
2.3.8 Medición de la calidad de la carne	34
2.4 Vitamina E	46
2.4.1 Bioquímica de la vitamina E	47
2.4.2 Vitamina E como conservador de la carne	48
2.4.3 Relación de la vitamina E con el color de la carne	48
2.5 Literatura citada	49
3 CALIDAD DE LA CARNE DE BOVINOS SUPLEMENTADOS CON VITAMINA E	54
3.1 Resumen	54
3.2 Abstract	55
3.3 Introducción	56
3.4 Materiales y métodos	57
3.5 Resultados y discusión	64
3.6 Conclusiones	73
3.7 Literatura citada	73

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Ingredientes utilizados y composición de la dieta para la finalización de los bovinos.	62
Cuadro 2. Efecto de los días de suplementación (37, 49 y 63) de 1, 000 UI de vitamina E animal ⁻¹ día ⁻¹ en la calidad de carne bovina y rendimiento de la canal.	65
Cuadro 3. Rendimiento y calidad de carne de bovinos suplementados con 2,000 UI de vitamina E animal ⁻¹ día ⁻¹ durante 77 días.	66
Cuadro 4. Nivel de significancia (probabilidades) de los efectos y las interacciones en las variables estudiadas.....	68
Cuadro 5. Rendimiento y calidad de la carne de bovinos suplementados con 3,000 UI de vitamina E animal ⁻¹ día ⁻¹ y R-carnitina (500 g ton ⁻¹ alimento) durante 55 días.	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la cadena de producción de carne bovina en México	8
Figura 2. Estructura del músculo.	13
Figura 3. Composición de las partes principales de la canal bovina.....	20
Figura 4. Influencia de la suplementación de 3, 000 UI de vitamina E animal ⁻¹ día ⁻¹ en la calidad de la carne (pH, luminosidad, color a, color b, croma y hue°) de bovinos a diferentes días en anaquel (1, 8 y 16).	71
Figura 5. Efecto de la suplementación de 3,000 UI de vitamina E animal ⁻¹ día ⁻¹ y R-carnitina en la capacidad de retención de agua (CRA) de la carne a diferentes días en anaquel (1,8 y 16).....	72

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Efecto de los días de suplementación de 1,000 UI de vitamina E animal ⁻¹ día ⁻¹ en relación al valor de pH en la carne (Experimento 1).	78
Apéndice 2. Efecto de los días de suplementación de 1,000 UI de vitamina E animal ⁻¹ día ⁻¹ en relación con la luminosidad de la carne (Experimento 1).	79
Apéndice 3. Efecto de los días de suplementación de 1,000 UI de vitamina E animal ⁻¹ día ⁻¹ en relación con la intensidad del color de la carne (croma) (Experimento 1).	80
Apéndice 4. Efecto de los días de suplementación de 1,000 UI de vitamina E animal ⁻¹ día ⁻¹ en relación con el ángulo de tono (hue°) en la carne (Experimento 1).	81
Apéndice 5. Efecto de la suplementación de 2,000 UI de vitamina E animal ⁻¹ día ⁻¹ en el pH de la carne a diferentes días en anaquel (Experimento 2).	82
Apéndice 6. Efecto de la suplementación de 2,000 UI de vitamina E animal ⁻¹ día ⁻¹ en la luminosidad de la carne a diferentes días en anaquel (Experimento 2).	83
Apéndice 7. Efecto de la suplementación de 2,000 UI de vitamina E animal ⁻¹ día ⁻¹ en la intensidad del color de la carne (croma) a diferentes días en anaquel (Experimento 2).	84
Apéndice 8. Efecto de la suplementación de 2,000 UI de vitamina E animal ⁻¹ día ⁻¹ en el ángulo de tono (hue°) de la carne a diferentes días en anaquel (Experimento 2).	85
Apéndice 9. Efecto de la suplementación de 2,000 UI de vitamina E animal ⁻¹ día ⁻¹ en la capacidad de retención de agua a diferentes días en anaquel (Experimento 2).	86

DEDICATORIA

Hay personas que siempre nos dicen cuánto nos aman y ni las escuchamos, hay personas que nos hieren y no dejan cicatriz, pero hay personas que simplemente aparecen un segundo en nuestra vida y nos marcan para siempre...

A mis gemelos que están con Dios

Por tu amor, por tu nobleza, por tu dulce mirada y por todo lo que representabas en nuestras vidas...

¡Te extrañamos mucho!

A la memoria de mi hermano Carlos Oswaldo

(09 abril 1979 - 29 diciembre 2008)

Con amor Horte

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y principalmente al ***Posgrado en Producción Animal***, por la formación profesional y personal recibida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico recibido para realizar mis estudios de maestría y la investigación correspondiente.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT) por la ayuda económica para la escritura final de la presente tesis.

A la Universidad Autónoma Metropolitana por las facilidades otorgadas y apoyo en las determinaciones analíticas durante la fase de laboratorio.

Al Dr. Gilberto Aranda Osorio, por la dirección del trabajo de investigación, consejos y la confianza brindada durante mis estudios de maestría.

A la Dra. Ema Maldonado Simán, Dr. Maximino Huerta Bravo y Dr. Omar Hernández Mendo por la asesoría durante el desarrollo de la investigación que culmina con la escritura del presente documento.

A la Dra. Edith Ponce Alquicira por la amistad y el apoyo e invaluable durante el desarrollo de la presente investigación.

Al M.C. Juan Carlos García Ortiz por su amable apoyo en la fase de campo.

A mis compañeros y profesores de posgrado: por su apoyo y amistad incondicional.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nombre: Hortencia Barragán González

Fecha de Nacimiento: 12 octubre de 1980

Lugar de Nacimiento: Tacáztcuaro, Michoacán

Profesión: Ing. Agrónomo Especialista en Zootecnia

Cédula Profesional: 4988003



Desarrollo Académico

1993-1996: Preparatoria Agrícola.

Universidad Autónoma Chapingo

1996-2000: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

Departamento de Zootecnia

Universidad Autónoma Chapingo

2007-2009: Maestro en Ciencias en Innovación Ganadera

Posgrado en Producción Animal

Departamento de Zootecnia

Universidad Autónoma Chapingo

1 INTRODUCCIÓN

El tipo y la cantidad de los alimentos suministrados, el aporte de nutrientes y sus interrelaciones, y los aditivos incluidos en la ración, influyen en aspectos como el rendimiento de la canal y la calidad de la carne bovina (Cañeque *et al.*, 1989; Beriain, 1998; Owens y Gardner, 2008). El primer aspecto que el consumidor considera para la compra de carne es el color, ya que lo relaciona con la frescura (Risvik, 1994; Monahan *et al.*, 1994; Liu *et al.*, 1995; McDowell *et al.*, 1996). El color está relacionado fundamentalmente con el tipo de alimentación y manejo durante el período previo al sacrificio (INRA, 1988). Por ello, en los años más recientes y debido al aumento en la presión de los consumidores en referencia a la calidad de los productos cárnicos, el uso de la vitamina E se extendió hacia la engorda de ganado en corral para obtener mayor calidad en la carne.

La mayor parte de los estudios publicados en bovinos hasta la fecha consideran que un suplemento con 1000 UI de Vitamina E por cabeza/día durante 100 días antes del sacrificio, puede lograr acumulación de esta vitamina en los músculos y controlar la oxidación de lípidos y mioglobina en la carne. Esta última es la responsable de la coloración de la carne (Faustman *et al.*, 1998). La respuesta a la permanencia del color aceptable está relacionada directamente con el tiempo y calidad de la carne. Con el suplemento de la vitamina E no sólo mejora la consistencia del color de la carne y la integridad de las membranas lipoproteicas, sino también reduce la pérdida de líquido en canales y cortes, evitando perder peso de la canal en frío o pérdida de humedad de la carne, además de evitar la oxidación de la mioglobina para mantenerla en estado de oximioglobina, lo que nos da un color rojo cereza por más tiempo.

En el capítulo dos de esta tesis se presenta un análisis de la literatura en donde se puede concluir que existen varios parámetros para medir la calidad de la carne, pero entre los más comunes y más prácticos se encuentran el pH, la capacidad de retención de agua (CRA) y el color (Lawrie, 1997).

En el capítulo tres se presentan los resultados de un estudio con el propósito de estimar la dosis y el tiempo mínimo de suplementación de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹, en el cual no afectara el comportamiento productivo (rendimiento en canal) de ganado bovino y al mismo tiempo, mejorara las características de la carne (pH, CRA, color: luminosidad, croma y hue°) con el fin de aumentar su vida de anaquel.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Características de la industria de la carne bovina en México

La ganadería bovina para la producción de carne se inicia en las zonas tropicales del país, seguido por un proceso de población ganadera en el norte del territorio, el cual ha estado ligado a la exportación de becerros a los Estados Unidos de Norte América. El hato nacional ganadero, inicialmente criollo, se ha ido matizando con animales de razas europeas como: Charolais, Angus, Hereford y Simmental. Sin embargo, bajo condiciones tropicales destacan las razas cebuinas como: Brahman, Indobasil, Gyr, Nelore y Sardo Negro, siendo tal su importancia que México ocupa el segundo lugar en población cebuina en América. Se estima que entre 70 y 80% de la ganadería bovina en México corresponde a ganado cebú y sus cruas (FIRA, 1997).

El organismo oficial agropecuario del país publicó algunas de las características principales de la industria de bovinos para carne en México (Gallardo, 2004). La explotación de bovinos para carne constituye una de las actividades fundamentales del subsector pecuario nacional por la contribución que realiza la oferta de productos cárnicos, así como por la participación en la balanza económica del país, donde las exportaciones de ganado en pie son su principal rubro.

Así mismo, Gallardo (2004), menciona que los patrones culturales de consumo de productos cárnicos han hecho que la carne de bovinos sea el eje gobernador de la demanda y de los precios del resto de las carnes. El consumidor mexicano ha elaborado tradicionalmente la mayoría de sus alimentos con base en carne de bovino. Sin embargo, en los años recientes factores de salud y económicos han propiciado cambios de hábito en el consumo. Actualmente, en el núcleo familiar, la pareja tiene que participar activamente en el ingreso de la familia, por lo que se tiende a consumir platillos que sean poco elaborados, de rápida cocción y de menor costo.

El valor estimado de la producción de ganado para abasto, desde 1994, ha mostrado ser superior al de la carne en canal debido a diferentes factores entre los que se encuentran: menor crecimiento del precio de la carne en canal con respecto al precio medio rural del ganado para abasto, estimándose que mientras éste creció en un 205%, el de la carne en canal fue de 185%. El consumo nacional aparente (CNA) de carne de res en el 2004 mostró un crecimiento de 7.3% con respecto al 2003 (Gallardo, 2004).

El CNA de carne de bovino no ha mantenido una tendencia muy clara en la última década, ya que ha mostrado crecimientos de hasta 13.8% como el de 1994, y decrementos como el experimentado en el año 2003. Estas variaciones han obedecido principalmente a los volúmenes de carne importada, ya que la producción nacional ha mantenido una tendencia que podría clasificarse como estable y con algunos altibajos motivados por los niveles de exportación. Lo anterior se corrobora por la participación porcentual de las importaciones dentro del CNA, que han ido desde 3.2% en 1995 hasta 22% en el 2004 (Gallardo, 2004).

2.2 Sistemas de producción de bovinos para carne

Uno de los sistemas de producción (Aranda *et al.*, 2008) más importante es el llamado de cría, nombre recibido dado el objetivo fundamental de producir becerros y becerras, por lo que abarca desde la gestación, nacimiento, cría y destete de los mismos. Podemos encontrar dos variantes, la cría sin ordeño y la cría con ordeño. En ambos sistemas las crías son vendidas al destete, con un peso que puede variar entre 160 y 220 kg, con una edad entre 6 y 9 meses. El sistema de cría con ordeño también es conocido como doble propósito, en el cual la cría es utilizada para estimular la bajada de la leche y posteriormente cosechar la leche residual, de esta forma se obtienen dos productos, la leche y una cría. La primera, al venderse sirve para cubrir los gastos diarios de la unidad de producción, mientras que la cría será la alcancía hasta el final del año ganadero.

Otro sistema de producción es el denominado de recría, de repasto o paso de aguas, nombre recibido dado que las crías aquí llevan a cabo su crecimiento y desarrollo bajo condiciones de pastoreo (agostadero, pastizales o praderas irrigadas). Este sistema de producción lo desarrollan otro tipo de productores, los cuales dedican sus recursos solamente al cuidado de este tipo animales por uno o dos periodos más de lluvias (y por lo tanto de producción de forrajes), con lo que ya estarán listos para entrar a la fase de finalización, con un peso entre 280 y 320 kg, y con una edad entre 18 y 24 meses (Aranda *et al.*, 2008).

El otro sistema de producción es el denominado de finalización o de engorda, aunque este último nombre no es muy utilizado, ya que actualmente no se busca engordar ganado, sino más bien obtener ganado con la menor cantidad de grasa posible (canales y por lo tanto carne magra). En este sistema se encuentran dos variantes, la finalización en pastoreo y en confinamiento (en algunos casos una combinación o sistema mixto), el tiempo varía de un año a año y medio si es en pastoreo (o menos si es en praderas irrigadas) y de 3 a 6 meses si es en confinamiento, llegando el ganado a un peso final entre 480 a 550 kg. De esta manera, obtener carne de res lleva un tiempo aproximado entre 3 y 4 años, donde el productor de cría es el que invierte más tiempo (entre 1.5 a 2 años) y recursos (mano de obra, tierras) en toda la cadena productiva, pero que lamentablemente es el que menos participación tiene en el precio final de la carne al consumidor. Por lo anterior, la organización para la producción se vuelve una parte imprescindible para poder aumentar la eficiencia productiva y por tanto la rentabilidad de la empresa ganadera. En la Figura 1, se muestra la cadena de producción de bovinos para carne o también denominada sistema-producto bovinos carne (Aranda *et al.*, 2008).

2.3 Calidad de la carne

Según Acevedo (2004) en los últimos años los conceptos de calidad de carne, carne de calidad, producto de calidad y garantía de calidad, entre otros, han ocupado el centro de atención tanto en la investigación como en la producción y comercialización de la carne vacuna.

La calidad es un concepto popularmente confuso, debido al abuso de su utilización como argumento de venta. Sin embargo, es un concepto muy preciso. La calidad supone fijar una serie de parámetros a los que debe ajustarse un producto normalmente elaborado de forma masiva, en serie o, al menos, de forma repetitiva. La calidad puede ser definida como el conjunto de características cuya importancia relativa le confiere al producto un mayor grado de aceptación y un mayor precio frente a los consumidores o frente a la demanda del mercado (Colomer-Rocher, 1988). El precio interviene de modo importante en la calidad, tanto que se puede afirmar que cada nivel de calidad tiene su justo precio. Así, la gestión de la calidad se define como el desarrollo de los productos y servicios más económicos, útiles y satisfactorios para el consumidor o usuario.

La calidad es un término subjetivo al variar con los individuos que la juzgan; relativo porque depende de la situación de la persona en el momento del juicio y dinámico porque varía en el espacio y en el tiempo en función de lo que le gusta al público (Naumann, 1965). Si trasladamos esta definición al caso particular de la carne, nos encontramos con una mayor ambigüedad de este concepto, ya que las necesidades son variables según el estrato de comercialización que lo utilice. Realizando una aproximación a la calidad desde el punto de vista del consumidor, podemos considerar la misma bajo diferentes ópticas:

Calidad higiénico-sanitaria: como cualidad primera, ningún alimento debe suponer riesgo para la salud del consumidor. Agentes bacterianos, parasitarios y residuos son los principales responsables de las alteraciones de la carne (Naumann, 1965).

Calidad nutricional: está dada por su contenido en elementos que responden a las distintas necesidades metabólicas del organismo (agua, vitaminas, minerales, proteínas, lípidos, carbohidratos y valores dietéticos (Naumann, 1965).

Calidad de servicio: está relacionada con la facilidad de empleo por el consumidor y consecuentemente con su presentación, aptitud culinaria, disponibilidad y precio (Naumann, 1965).

Calidad subjetiva o imaginaria: relacionada con características difícilmente medibles, ligadas a la imagen preestablecida sobre un producto (lugar de origen, prohibiciones religiosas, cuestiones éticas de bienestar animal, respeto al medio ambiente y conservación de recursos naturales), hábitos adquiridos o a la influencia de la publicidad. A los alimentos se les asocia un carácter simbólico, siendo preferidos algunos de ellos sólo por haber sido elaborados en un lugar o mediante un procedimiento determinado, que por razones personales o subjetivas se desea favorecer. En resumen, influyen factores culturales, sociales, éticos, ecológicos y geográficos (Naumann, 1965).

Calidad de presentación: incluye la modificación de los cortes tradicionales o el desarrollo de nuevos productos con mejores presentaciones y que pueden variar la intención de compra en un momento dado (Acevedo, 2004).

Calidad funcional o tecnológica: determinada por la característica de la carne para la transformación y conservación (Consigli, 2001).

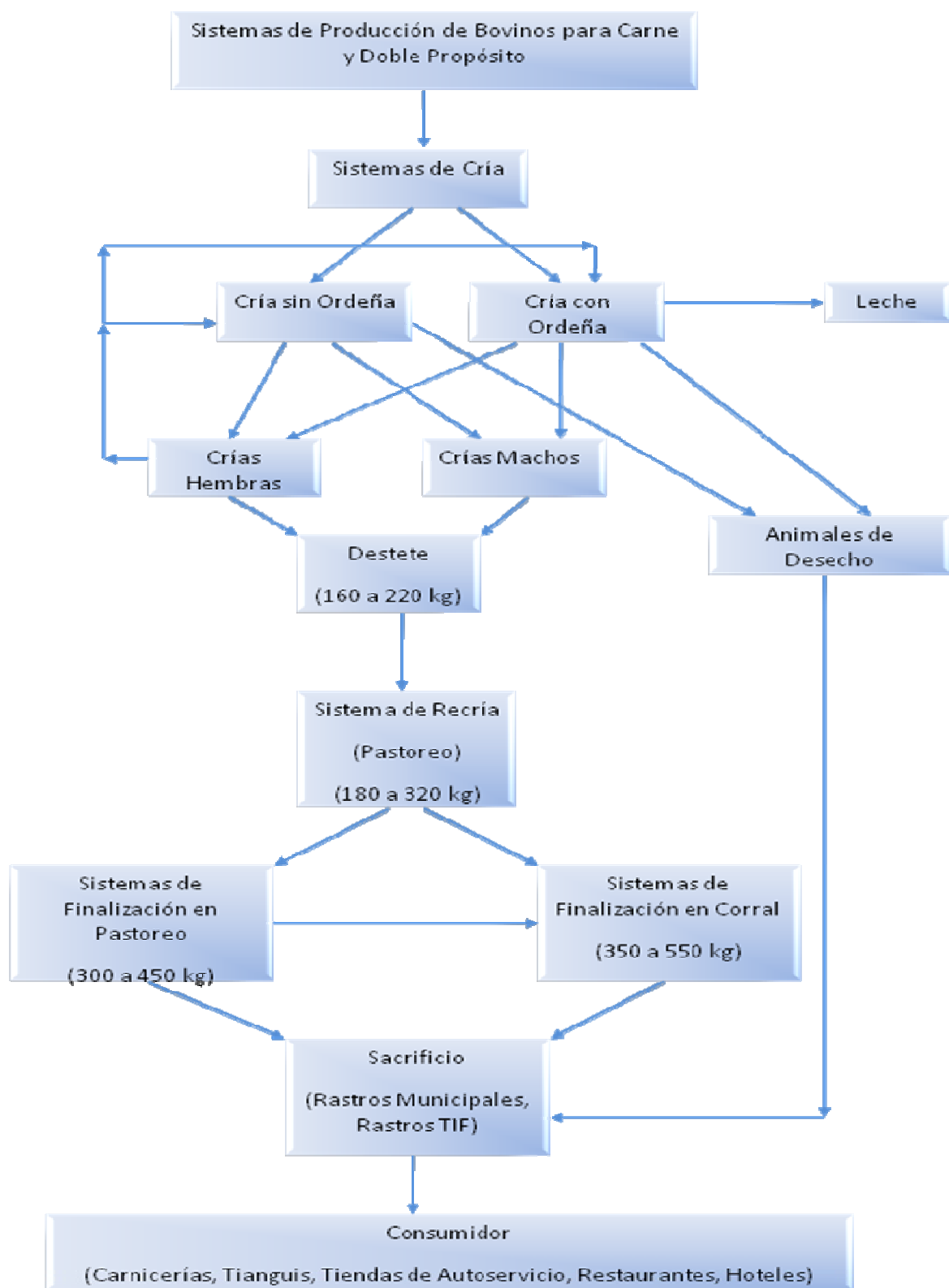


Figura 1. Esquema de la cadena de producción de carne bovina en México (Aranda *et al.*, 2008).

Calidad sensorial: formada por características que percibimos con los sentidos en el momento de la compra o del consumo y que influyen en nuestra satisfacción personal (color, textura, ternura, jugosidad, sabor y aroma (Consigli, 2001).

2.3.1 Concepto de calidad para los distintos eslabones de la cadena de la carne

El concepto de calidad se define en función del objetivo, dependiendo del eslabón en la cadena de producción y comercialización de la carne. La calidad se considera de manera diferente para el ganadero que vende animales, para el industrial que distribuye medias reses o para el carnicero que vende cortes directamente al consumidor. Como se puede apreciar, existen una serie de intereses diferentes que dificultan la existencia de una definición única de la calidad que sea válida para todos los niveles de la producción cárnica. No siempre es posible satisfacer todos los objetivos como los sensoriales, dietéticos o tecnológicos (Acevedo, 2004).

Productor

Según Prescott (1966) el productor debe orientar su objetivo hacia la obtención de un animal en el periodo de tiempo más corto posible y con el menor costo de producción; y que además tenga las características de peso, conformación y suficiente contenido graso, valorados por el industrial. El productor debe producir animales con el máximo contenido de músculo sin descuidar las características de calidad de la carne que busca el consumidor. Por tanto, le interesarán además una alta velocidad de crecimiento y un elevado rendimiento al gancho.

El desafío para los productores es producir carne de alta calidad a un precio rentable. Por ello, el productor debe conocer la influencia de los factores controlables por él, que los diferentes sistemas de explotación tienen en el

producto de su venta; un animal o una res de máxima calidad, según se comercialice por peso vivo o por rendimiento al gancho. Los factores más importantes que dependen del productor y que afectan a la calidad de la res y de la carne, son: el peso, el sexo y la edad del animal, el grado de contenido graso, el ritmo y la forma de la curva de crecimiento, la alimentación recibida y la raza (Prescott, 1966). Sin embargo, en la práctica esta situación es más simple y las variaciones en el grado de contenido graso y en el peso de la res pueden ser responsables en gran medida de las variaciones en el valor de la misma (Berg y Butterfield, 1976).

Industrial

El industrial requerirá reses con proporción máxima de músculo, mínima de hueso y una cantidad de grasa acorde a los requerimientos del mercado. Su prioridad va en el sentido de adquirir animales que den buen rendimiento en su transformación a canal, que ésta tenga buenos perfiles y que presente un cierto grado de contenido graso, sobre todo de cobertura.

La grasa y su distribución constituyen un aspecto de máximo interés en la comercialización de la canal (Berg y Butterfield, 1976) ya que tiene una estrecha relación con el músculo y a la importancia que por sí misma representa. Se interesa además, por la categoría de animal y su peso, que junto con los otros parámetros mencionados definen el precio de la canal.

Carnicero

El carnicero, por su parte, busca satisfacer las exigencias de sus clientes, pero al mismo tiempo está supeditado a proveerse de aquellas canales que el matadero disponga o comercialice. Deberá, por consiguiente, conjugar tales circunstancias con el máximo rendimiento de los cortes de más valor comercial, cuidando el tamaño de las piezas y la cantidad de grasa que éstas posean. Obviamente el carnicero centra su mayor interés en las canales que poseen

una elevada proporción de cortes de primera calidad, los cuales son muy demandados, fácilmente vendibles y a un precio superior (Keane *et al.*, 1989).

A medida que se incrementa el peso de la res, los cortes de inferior categoría aumentan sus proporciones mientras que los correspondientes a los de mayor precio en el mercado experimentan un ligero descenso (Keane *et al.*, 1989). De acuerdo con esto, puede parecer que las reses de menor peso son las más rentables para el carnicero. Sin embargo, ello no es así, ya que el mercado exige un cierto nivel de grasa, razón por la cual el carnicero deberá conjugar dicho aspecto con el del tipo de cortes que le demandan sus clientes y a su vez con el peso de la res, en función del volumen de ventas que tenga.

El desposte según Keane *et al.* (1989), presenta variaciones entre mercados y entre carniceros, debido no sólo a los gustos particulares de los consumidores sino también a que el carnicero busca un máximo aprovechamiento y margen de beneficio de cada corte. Por ello, da mejor salida a los cortes de más difícil venta. Esta operación resulta de suma importancia para la rentabilidad que el carnicero pueda obtener. La variabilidad de los componentes físicos y su distinta distribución, origina que las piezas obtenidas presenten diferentes características culinarias, las cuales, por su calidad o uso, se traducen en el plano comercial en un precio diferente.

Consumidor

Las propiedades organolépticas o sensoriales son características de un alimento, que se perciben por los sentidos. Los caracteres organolépticos, en su más amplia acepción (color, palatabilidad, terneza, jugosidad, sabor, aroma, etc.), son actualmente de extrema importancia, no sólo porque el consumidor se ha hecho más refinado, sino también porque la competencia, cada vez más fuerte, se basa propiamente en estos caracteres que por otra parte son también fácilmente apreciables por el consumidor. Éste demanda, por lo general, una carne con buen contenido en músculo y algo de grasa. Al mismo tiempo

considera en gran medida el color y la ternura como parámetros de aceptación. Las exigencias de los consumidores son múltiples y variadas, contribuyen en cada caso a definir los gustos y características del mercado. En resumen, para el consumidor la calidad se define por: 1) *la apariencia* como color de la carne y de la grasa, forma y peso de la pieza, 2) *la composición* dada por la proporción de carne y grasa en la pieza y de los residuos que quedan en el plato, y 3) *características organolépticas* como ternura, sabor, jugosidad y satisfacción que suscita al comerla (Jeremiah *et al.*, 1972).

2.3.2 Características generales del músculo

El músculo esquelético es un órgano contráctil, del tejido fibroso formado por células alargadas y fusiformes, que sirven para producir el movimiento. Éstos pueden ser de tres tipos:

El músculo *liso* de contracción involuntaria localizado en las vísceras, el *estriado* de contracción voluntaria y el *cardíaco*, localizado en el corazón, constituido por estriación especial y contracción autónoma. Los músculos tienen como función principal la locomoción. Este tejido sirve además como una importante fuente de alimento para el hombre y otros animales superiores en la cadena trófica (Greaser, 1986).

El músculo esquelético se compone de haces de enormes células alargadas. Estas células se conocen como fibras musculares o miofibrillas. La fibra muscular está constituida por el sarcolema, fibras contráctiles, fluido celular (sarcoplasma) y los organelos: túbulos T, mitocondrias, liposomas, retículo sarcoplásmico y aparato de golgi, entre otros (Ruckebusch *et al.*, 1994). El tamaño de las haces musculares están relacionados directamente con la textura de la carne; así, los músculos que no realizan mucha actividad tienen una textura más fina en comparación con los que si la realizan y tienen una textura más gruesa (Fennema, 2000).

Las fibras musculares o miocitos están rodeadas por una membrana de tejido conductivo llamado *endomisio*. Así las distintas células musculares se agrupan en fascículos rodeados por otra membrana *perimisio*. Los distintos fascículos formarán el músculo como tal, envuelto por una membrana llamada *epimisio* (Figura 2).

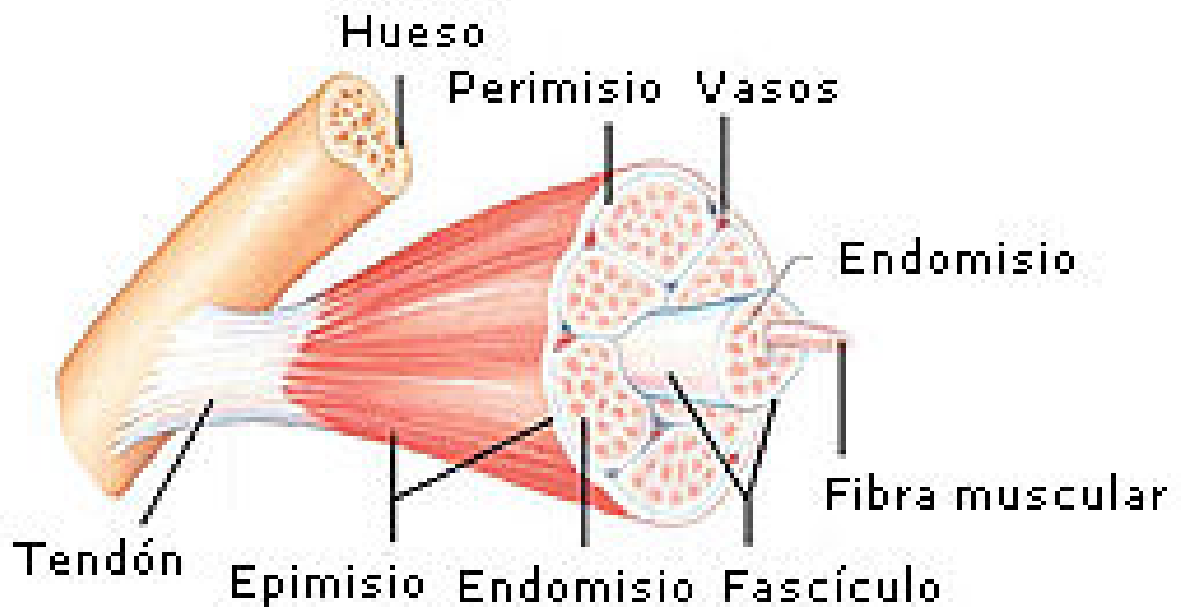


Figura 2. Estructura del músculo (Forrest *et al.*, 1997).

Las proteínas motoras y contráctiles del músculo estriado son la miosina (proteína principal), actina, actiomiosina, troponina, que están en la línea Z. La miosina representa un grupo de proteínas que se encuentra en el miofilamento grueso de la banda A y la actina es otro sistema proteínico complejo presente en la banda I de cada sarcómero (Ruckebusch *et al.*, 1994).

2.3.3 Proceso de transformación de músculo a carne

El proceso de cambio de músculo a carne es complejo e implica una alteración metabólica, física y estructural. Los músculos o sus partes no cambian de manera uniforme. Primero porque en el músculo existen dos tipos de filamento: el rojo y el blanco, que contienen diferentes cantidades de mioglobina, enzimas oxidativas, enzimas glucolíticas y sustratos. Segundo, el efecto de la temperatura en el proceso metabólico es profundo y no es uniforme dentro del mismo músculo (Greaser, 1986). Existen tres fases de transformación de músculo a carne: *pre rigor mortis*, *rigor mortis* y *post rigor mortis*.

El estado previo al *rigor mortis* se caracteriza por músculo suave y plegable, además que presenta cambios bioquímicos como la caída de ATP y del creatinin fosfato; por otro lado, el aumento en la actividad glicolítica con la consecuente caída de pH por la alta producción de ácido láctico (Lawrie, 1997; Forrest *et al.*, 1997).

El agotamiento del ATP es debido a factores como temperatura de la canal y tipo de músculo (Fennema, 2000). La carne en estado previo al *rigor mortis* es suave y se va endureciendo previamente a medida que se completa el *rigor* (Price y Schweigert, 1994).

La rigidez observada durante el *rigor mortis* es debida a la formación de puentes cruzados entre filamentos de actina y miosina, los cuales en ausencia de energía (ATP), son irreversibles (Acevedo, 2004). La instauración del *rigor mortis* se acompaña de cambios físicos como son: pérdida de elasticidad, extensibilidad, acortamiento y aumento de la tensión. Una vez agotado el glucógeno, se aprovecha el creatinin fosfato para la fosforilación de ADP a ATP. Cuando ha desaparecido el creatinin fosfato ya no puede formarse ATP y el músculo empieza a perder extensibilidad (Forrest *et al.*, 1997).

En ausencia de ATP, la rigidez característica del *rigor mortis* es mantenida por la tensión continua que ejercen los puentes transversales de la miosina en los filamentos delgados de actina (Price y Schweigert, 1994). Fennema (2000), afirma que el tiempo de presentación del *rigor mortis* varía de un animal a otro y entre especies, aunque de manera general en ganado bovino es de 6 a 12 horas a temperatura ambiente y termina a las 24 horas *post mortem* cuando el pH final es de 5.3 a 5.4.

Price y Schweigert (1994), indican que el tiempo necesario para la maduración ocurre al almacenar la carne en un rango de temperatura de 2 a 5 °C, durante dos semanas después de haber pasado el *rigor mortis*. Cuando las operaciones de sacrificio se realizan en condiciones higiénicas, la carne se conserva en buen estado durante varios días a temperatura ambiente o durante unas seis semanas a temperaturas ligeramente superior a su punto de congelación a -1.5 °C.

El proceso de maduración comienza cuando los lisosomas de las células musculares liberan unas enzimas denominadas catepsinas y a medida que el pH del músculo desciende, las catepsinas empiezan a degradar la estructura proteica, específicamente en la línea Z de la estructura muscular, que ocasiona la disolución del *rigor mortis*; los tejidos conectivos de colágeno se desnaturalizan en consecuencia del rápido descenso de pH muscular (Forrest *et al.*, 1997).

Según Noricumbo (1996), los cambios más importantes que suceden durante la maduración son: aumento de suavidad y firmeza del músculo; cambios de color, tendiendo a ser rojos más oscuros; cambios en la capacidad de retención de agua de las proteínas; y aumento en el aroma y sabor de la carne. Cuando este proceso natural sufre alteraciones, se producen cortes oscuros por agotamiento de glucógeno en el caso de bovinos, o el músculo pálido, suave y exudativo en los cerdos (Price y Schweigert, 1994).

2.3.4 Composición química de la carne

Las siguientes cifras porcentuales son representativas en la composición de la mayoría de los ingredientes cárnicos: 60-72% de humedad, 10-20% de proteína, 4-20% de grasa y 1% de cenizas (Knipe, 2006).

Humedad

Existe una relación relativamente consistente entre el contenido de humedad de la carne y su contenido proteico. Esta relación es representada por una razón matemática de 3.6 partes de humedad por 1 parte de proteína. A medida que el contenido de proteína aumenta, o disminuye, el contenido de humedad también aumenta o disminuye respectivamente a razón de 3.6:1. Normalmente, a medida que el contenido de grasa aumenta o disminuye, la combinación de humedad y proteína se desplazan en dirección opuesta (Knipe, 2006).

Proteína

La porción proteica según Knipe (2006), es el componente principal de los productos cárnicos. Los costos de los productos están basados en gran parte a la cantidad de proteína cárnica de sus formulaciones, y la mayoría de las regulaciones de procesamiento están basadas, en parte por el contenido proteico de los productos.

Hui *et al.* (2006) indican que existen tres tipos de proteínas en la carne. El tipo de proteína más valioso, tanto para el animal vivo como para el procesador cárnico, es el de las proteínas contráctiles. El tipo de proteína más abundante en la carne es el de las proteínas del tejido conectivo. El tercer tipo de proteínas cárnicas es el de las proteínas sarcoplásmicas.

Las proteínas contráctiles son las proteínas cárnicas más importantes, ya que son las mejores para ligar (o emulsionar) grasa y agua durante la cocción. La actina y la miosina son las proteínas individuales más involucradas en el

proceso de contracción muscular, el cual permite el movimiento de las piernas y otras partes del cuerpo de los animales (Hui *et al.*, 2006).

Las proteínas sarcoplásmicas aparecen con frecuencia como goteo o purga, las cuales se observan en el fondo de los recipientes o tanques de descongelamiento de la carne. Estas proteínas son solubles en agua y con frecuencia son llamadas proteínas del plasma. Si bien estas proteínas son frecuentemente desechadas en la industria cárnica, debido a la suposición de que son sangre, ellas pueden contribuir en la regulación de sustancias añadidas. También contienen la proteína mioglobina, la cual es responsable del color de la carne. Éstas no son extremadamente beneficiosas en la ligazón de agua o grasa durante el procesamiento (Hui *et al.*, 2006).

Knipe (2006), menciona que las proteínas del tejido conectivo son las proteínas animales más abundantes, pero también son dañinas a la estabilidad de los productos cárnicos. El colágeno es la proteína de tejido conectivo más común en la carne, ya que es la base de una red fibrosa que transmite la fuerza de contracción de la fibra muscular a los huesos al recubrir y conectar las fibras musculares y las haces musculares. Hay esencialmente tres tubos concéntricos de tejido conectivo que comprenden cada músculo.

El colágeno es dañino a la estabilidad de los productos cárnicos porque, aunque inicialmente absorbe humedad durante el proceso de cocción, el colágeno se encoge, liberando grasa y humedad de su estructura. Si es cocinado por mucho tiempo en un ambiente húmedo, el colágeno se convierte en gelatina, la cual es también indeseable en la mayoría de los productos cárnicos. La posición anatómica de los músculos determina el contenido de colágeno, ya que los músculos más activos y/o involucrados en los movimientos más leves contienen naturalmente la mayoría del tejido conectivo. Obviamente las piernas de los animales se hallan involucradas en el movimiento y particularmente las piernas delanteras de los animales (especialmente la brazuela) están diseñadas para movimientos más complicados. Por otra parte,

los músculos del lomo en la espalda de los animales son usados primordialmente para sostener la estructura esquelética del animal. Por lo tanto, los lomos contienen mucho menos tejido conectivo que los músculos de la brazuela en las piernas delanteras (Hui *et al.*, 2006; Knipe, 2006).

A medida que el animal envejece ya no se produce más tejido conectivo (Knipe, 2006), pero el tejido conectivo que está presente se une más entre sí por medio de enlaces químicos, lo cual lo hace más duro y menos soluble. Si los animales envejecen al punto de perder tejido muscular -las vacas por ejemplo-, la proporción del músculo que está constituido de colágeno aumentará, incluso si el contenido absoluto permanece igual.

Grasa

La grasa es el componente más variable de la carne en cuanto a composición. Las células grasas viven y funcionan como todos los demás tipos de células y están llenas de lípidos, los cuales pueden variar grandemente en su composición de ácidos grasos. Las cadenas de ácidos grasos pueden variar en longitud de 12 a 20 carbonos y pueden ser totalmente saturadas (ningún enlace doble), mono-insaturadas (un enlace doble) o poli-insaturadas (dos o tres enlaces dobles). Mientras más insaturado sea un ácido graso menor será su punto de fusión, y más susceptible será la grasa a la oxidación y al desarrollo de sabores rancios y malos colores (Knipe, 2006).

Fennema (2000), indica que la oxidación de las grasas ocurre debido a la inestabilidad de los ácidos grasos insaturados. Éstos son relativamente vulnerables a los efectos del oxígeno, iones metálicos (como hierro, y magnesio en músculos y agua dura) y luz ultravioleta, los cuales inician el proceso de oxidación. Una vez iniciado este proceso se auto-propaga y es a veces conocido como *auto-oxidación*. Una vez iniciada la oxidación, no hay manera de prevenir sus efectos dañinos en ácidos grasos.

Los antioxidantes BHA, BHT y propilgalato, sirven para prevenir la formación de subproductos que causan sabores rancios en las etapas tempranas del proceso. Sin embargo, los antioxidantes no detienen el proceso una vez que se ha iniciado, sólo minimizan el grado de deterioro del sabor (Cross *et al.*, 1986).

Fennema (2000), menciona que asumiendo que los clientes desapruében la carne rancia, es mejor desecharla. La adición de carne fresca a la carne rancia es negativa, ya que se añade una fuente fresca de ácidos grasos insaturados los cuales eventualmente se oxidan y producen más rancidez.

La grasa en los productos cárnicos ha recibido mucha publicidad negativa en años recientes, pero ella tiene algunos beneficios. A pesar del hecho de que un alto consumo de grasas por personas adultas inactivas conduce a la obesidad y a otros problemas de salud potenciales, los niños necesitan grasa en sus dietas para un buen crecimiento y desarrollo. Las grasas animales también contribuyen al sabor y textura de los productos cárnicos (Knipe, 2006).

2.3.5 Composición de la canal

Diversas medidas lineales sirven como indicadores de la composición de la canal. La estimación del grosor o espesor de la capa de grasa subcutánea de la canal ha demostrado ser un indicador sencillo y real del contenido graso. A medida que aumenta el espesor de la grasa subcutánea el rendimiento en músculo magro disminuye. Determinar las medidas de la capa grasa de la canal es un procedimiento sencillo que sólo necesita una regla pequeña. La medida de los cortes transversales de los músculos, especialmente del *Longissimus dorsi* situado en la región dorso lumbar, se ha estimado que está directamente relacionada con la cantidad total del músculo de la canal. En la mayoría de los procedimientos de selección y evaluación de las canales se incluyen determinaciones del área del corte transversal de *Logissimus dorsi*. El área se determina mediante un planímetro, o bien utilizando una lámina de plástico transparente que se coloca en el corte muscular lo que permite determinar

directamente la superficie (Lawriel, 1997; López *et al.*, 2004). En la Figura 3 se muestran las partes principales de la canal bovina.

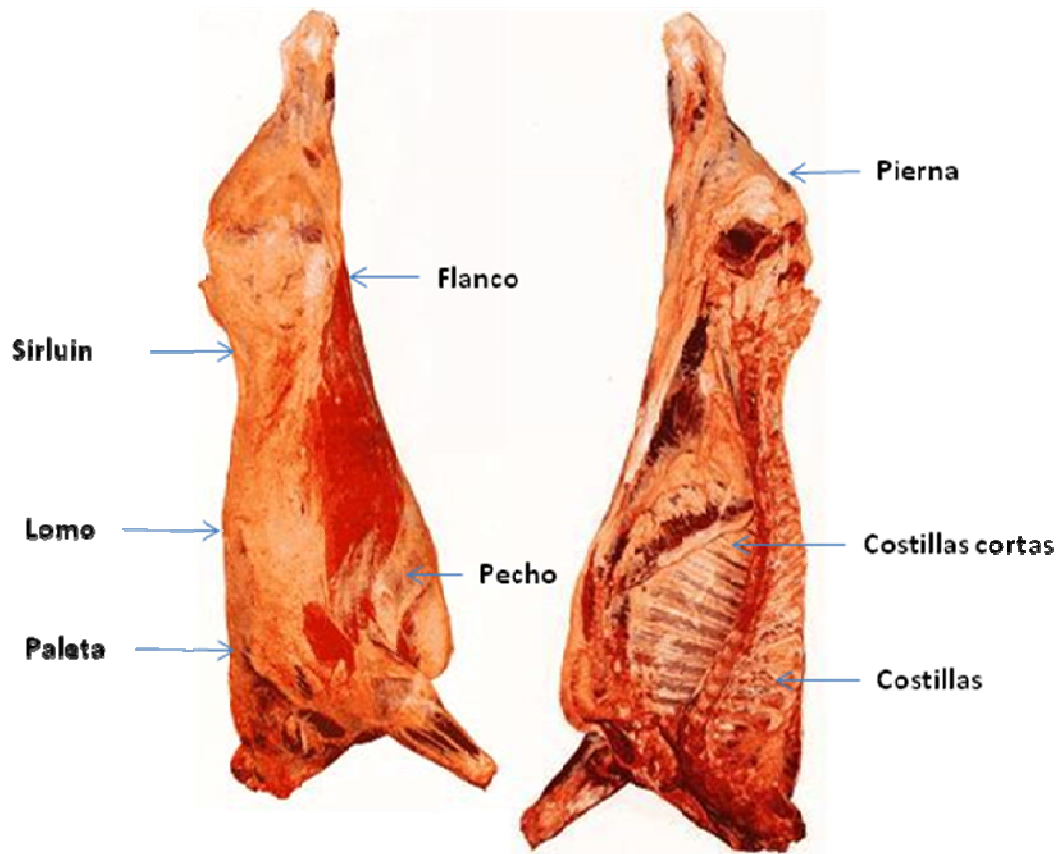


Figura 3. Composición de las partes principales de la canal bovina.

2.3.6 Factores que influyen en la calidad de la carne

Genética

Los efectos de la genética en la calidad de la carne han sido objeto de varios estudios (Jérez, 2005). Entre los parámetros afectados por la genética está el contenido graso, color y suavidad de la carne. Para los pesos de canal o edad del animal comparable, estudios recientes ponen de manifiesto la alta injerencia hereditaria en la composición corporal.

Jérez (2005) indica que en diversos estudios los factores genéticos y ambientales tienen una contribución similar en la variación del contenido graso, color y suavidad. Esto significa que a través de la manipulación genética se puede lograr un mejoramiento significativo de la calidad de las carnes entre ganado de un mismo tipo racial, sin olvidar el control de otros factores. Experiencias han demostrado que el mejoramiento de las características de la canal y de la carne a través de selección artificial y pruebas de progenie no ofrecen resultados prácticos al mejoramiento genético de ganado vacuno para producir calidad, debido al largo tiempo que toma desarrollar y evaluar la progenie. Los métodos tradicionales de mejora genética han sido más exitosos en el sistema de producción lechera, especialmente en los países desarrollados. En la actualidad, la incorporación de técnicas moleculares, que permiten evaluar directamente el perfil genético del ganado vacuno, ofrecen un importante avance en el mejoramiento genético de este ganado. Los estudios en el genoma bovino comenzaron a principios de los años noventa cuando se estableció el proyecto del Mapeo del Genoma Bovino (BovMap). Desde entonces, se han dado grandes avances para descifrar el genoma del vacuno. Los esfuerzos han sido destinados a descubrir los genes que controlan características cuantitativas y cualitativas de importancia económica (QTL, Quantitative Trait Loci, en inglés).

El mapeo de genes o QTLs es un método efectivo para identificar regiones de cromosomas donde uno o varios genes están involucrados en el crecimiento, composición corporal, reproducción o calidad de carne. Los mapas del genoma se han desarrollado gracias al uso de marcadores genéticos, que no son más que fragmentos cortos del ADN, la molécula que codifica nuestra herencia de ubicación conocida en el cromosoma, y que nos permite inferir sobre la posición de genes cercanos a ellos. Los marcadores genéticos están siendo usados por la industria en el desarrollo de una serie de pruebas para determinar el genotipo de cada animal. Esta información genética permite predecir atributos de calidad como terneza, marmoleo y/o caracteres relacionados con el crecimiento o el

rendimiento a edades tempranas, a la vez que permite su uso como una herramienta que ayuda a establecer programas de apareamientos entre animales, garantizando así la transmisión de esos atributos superiores del rebaño. Su gran ventaja es que la progenie puede ser evaluada al nacer, de manera que el productor puede decidir que animales retener y cuales descartar o castrar.

Edad, raza, sexo y castración

Después de la especie, la raza ejerce la influencia intrínseca más general sobre la bioquímica y construcción del músculo. En el ganado vacuno existen diferencias entre las razas usadas primariamente para la producción de leche y aquellas otras que son, por sus características, más adecuadas para la producción de carne. Pero no sólo se encuentran diferencias entre estos dos tipos de animales, sino también entre las distintas razas de ganado vacuno productor de carne (López y Caps, 2004).

Las razas más precoces presentan, en general, una carne más jugosa y tierna que las de desarrollo más tardío, dado que presentan mayor contenido de grasa y tienen mayor facilidad para liberar agua. Las razas con características cárnicas proporcionan una carne más tierna que las de características de doble propósito o lecheras (Lawrie, 1997; Jeréz, 2005).

Respecto al sexo del animal, Lawrie (1997) menciona que en general, los machos tienen menos grasa intramuscular que las hembras, mientras que los animales castrados tienen más grasa intramuscular que la que corresponde a animales sexualmente enteros. En general, para una misma raza y peso al sacrificio, el rendimiento de la canal de las hembras es ligeramente menor que el de los machos, debido a su mayor contenido de grasa de infiltración.

La edad de sacrificio influye en el color de la carne (López y Caps, 2004), ya que el contenido de mioglobina se incrementa con la edad.

Nutrición

Aparte de los factores intrínsecos de los animales (raza y sexo) y de aquellos relacionados con el faenado y el procesado de la carne (sacrificio, maduración y conservación), la calidad de la canal y las cualidades organolépticas y saludables de la carne están muy influenciadas por la nutrición de los animales. La utilización de concentrados en la producción de carne sigue siendo una práctica generalizada, a pesar de que los consumidores cada vez demandan más productos tradicionales. Esto se debe, tal vez, a que el mercado demanda un tipo de canal que por su peso y mermoleo, no es fácil de producir con forrajes. Es por eso que, en los años recientes, se está recomendando el finalizar animales con concentrados (Zea, 2005). Woodward y Wheelock (1990), comentan que el tipo y cantidad de los alimentos suministrados, el aporte de nutrientes y sus interrelaciones, y los aditivos incluidos en la ración influyen en aspectos tales como el rendimiento de la canal, el estado de engrasamiento, el color, olor y ternura de la carne, y la consistencia y el color de la grasa.

Muchas veces, el efecto de finalizar animales se confunde con el que produce el aumento del peso de sacrificio como lo establece Zea (2005). En general, en un finalizado clásico que implica incremento del peso de sacrificio, se produce la mejora de la conformación, aumenta el porcentaje de grasa y disminuye el de carne y hueso, mejorando en conjunto la calidad de la canal. Por ello, es importante que las comparaciones del efecto del acabado se realicen al mismo peso de sacrificio.

El diseño de las raciones para los animales en general y para los rumiantes en particular, debe considerar que la nutrición no sólo busca obtener los mejores los resultados productivos en beneficio directo del ganadero, sino también trata de influir positivamente en las cualidades sensoriales y dietéticas de la carne, para mejorar la percepción organoléptica y sanitaria que el consumidor tiene de la misma, lo que sin duda proporciona un valor comercial añadido. No obstante, aunque algunas de las modificaciones que se pueden realizar en las raciones

para conseguir los objetivos mencionados son de carácter estrictamente nutricional, otras implican la utilización de sustancias cuyo nivel de inclusión deberá ajustarse a las restricciones legales aplicables en cada país (Zea, 2005).

Susceptibilidad al estrés

El estrés consiste de estímulos agresivos que afectan al animal, como el miedo, el hambre, la sed, las condiciones climáticas severas a los agentes nocivos que le causan cambios fisiológicos, y que pueden liderar un estado patológico si el factor que lo provoca se mantiene por mucho tiempo. Estos factores pueden ser considerados perjudiciales dependiendo de la forma en que el organismo es capaz de enfrentar una situación amenazadora y de la metodología a través de la cual recupera el estado de homeostasis (Berg y Butterfield, 1976; Hui *et al.*, 2006).

El manejo de los animales en las horas previas a su sacrificio, son de los más estresantes en su vida y pueden provocar un serio deterioro de la calidad del producto (Warriss, 2004). El manejo inadecuado en esta etapa agrava el estrés en los animales; lo que conlleva cambios de tipo metabólico y hormonal a nivel muscular en el animal vivo, que se traducen en cambios de color, pH y capacidad de retención de agua en el músculo *post-mortem*. Como consecuencia de ello, las características de la carne cambian, tornándose menos aceptables al consumidor y acortándose la vida útil del producto (Hui *et al.*, 2006).

Transporte del animal al matadero

El transporte de los animales (Gallo y Tadich, 2008) comprende en sentido amplio, la carga en el vehículo, el traslado hasta el matadero, la descarga y en caso de que fuese necesario, la recuperación de los animales del estrés originado durante el transcurso de estas operaciones. Durante el transporte, los animales son sometidos a una serie de agentes adversos entre los que se

encuentran los movimientos bruscos, ruidos, luz, calor, frío, viento, humedad, hacinamiento y miedo, entre otros; los que van a desencadenar una serie de reacciones en los animales que pueden originar efectos adversos en la calidad de la carne e incluso conducirlos hasta la muerte. Las incidencias del transporte se pueden resumir en cuatro grandes grupos: pérdidas de peso, enfermedades, traumatismos y muertes (López *et al.*, 2004).

Condiciones ambientales y de alojamiento

El trato que reciben los animales en las granjas de origen por parte de los operarios ejerce un efecto importante en la calidad de la carne obtenida. A partir de los animales provenientes de explotaciones donde los operarios utilizan prácticas correctas de manejo, se generan canales con un 50% menos de contusiones, hematomas y carne oscura firme y seca que las provenientes de animales que son manejados en forma ruda (Grandin, 2001). Los animales asocian el peligro con el humano, porque éste acarrea los mayores estados estresantes, siendo por ello importante tanto el tipo como la calidad de relación con los operarios. No obstante, los animales asocian el peligro, más con un determinado lugar que con determinadas personas (Grandin, 2001; Gallo y Tadich, 2008).

Los establecimientos que eliminan el uso de toques eléctricos durante la carga de animales a los camiones generalmente reducen los niveles de carne oscura, firme y seca. El manejo cuidadoso y calmado de los bovinos jóvenes generan animales adultos dóciles y fáciles de conducir (Grandin, 2001).

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, para mejorar el bienestar de los animales durante los manejos previos a la faena, y a la vez reducir las pérdidas en cantidad y calidad de carne son aconsejables las siguientes prácticas (Grandin, 2001; Hui *et al.*, 2006; Gallo y Tadich, 2008):

1. Reducir al mínimo los manejos estresantes en el predio antes del transporte hacia la planta. Reducir las esperas en corrales antes de la carga, tiempo mínimo de pesajes y otros manejos adicionales, evitar arreos prolongados y extresantes, evitar uso de picanas con clavo y reducir elementos de arreo nocivos, evitar la mezcla de animales de diferentes lotes antes de la carga, descornar animales cuando son jóvenes.
2. Mantener una alimentación que permita reservas adecuadas de glucógeno muscular en las últimas 2-3 semanas antes de enviar a matadero. Esto ayuda a mantener suficientes reservas energéticas para enfrentar en mejor forma las situaciones de estrés.
3. Realizar la carga y descarga en lugares apropiados y con personal entrenado: muchas de las dificultades para cargar animales, que redundan en malos tratos y excesos de picana, se deben a un mal diseño de las estructuras y a falta de capacitación del personal. Las estructuras deben diseñarse en concordancia con las características de comportamiento del animal de cada especie.
4. Evitar el transporte prolongado. El transporte, además del estrés, del ayuno y la falta de agua, implica golpes, pérdidas de balance y cansancio, situación que se agrava con jornadas de transporte más largas porque las reservas de glucógeno se agotan.
5. Cuidar aspectos relativos a las condiciones del transporte. Utilizar camiones con estructura adecuada, permitir un transporte cómodo de los animales, ajustarse a la reglamentación, disminuir la densidad de carga en transportes largos, separar animales de diferentes características (toros, terneros).
6. Reducir los tiempos de espera en las plantas para la faena: a mayor tiempo de espera, mayor estrés, mayor depleción de glucógeno y mayores

probabilidades de sufrir otros problemas como cambios de temperatura, falta de alimento y peleas, entre otras.

7. Cuidar las condiciones de la espera en la planta con corrales cómodos y bien diseñados, buena disponibilidad de agua, no mezclar lotes, protección frente a cambios bruscos de temperatura y otros.

8. Efectuar un arreo adecuado desde los corrales hacia la sala de faena, disminuyendo el uso de picanas, diseñando adecuadamente las mangas, programando la faena para un avance gradual de los animales en la manga, otorgando duchas adecuadas a los animales y capacitar a los arreadores.

9. Usar los métodos de insensibilización en forma correcta para evitar sufrimiento innecesario: capacitar a los operarios, evitar tiempo prolongado entre insensibilización y sangrado, preocuparse de mantener adecuadamente los equipos de insensibilización y su funcionamiento, confirmar que el noqueo fue eficaz y no hay signos de conciencia.

Manejo de la canal

Girard (1991) menciona que la carne es un producto de fácil alteración, ya que sufre cambios que pueden ocasionar su degradación. Estas alteraciones se evidencian por la presencia de parásitos y microorganismos, y por alteraciones fisicoquímicas y organolépticas.

Los procesos usados en la conservación de la carne pretenden evitar la alteración microbiana sin afectar la calidad organoléptica. El que consiga o no el último fin depende del tiempo de almacenamiento que permita el método en cuestión (Hui *et al.*, 2006).

La carne que ha sido obtenida con suficientes cuidados durante el proceso de beneficio de los animales, generalmente contiene pocos microorganismos, lo cual significa que este producto es de buena calidad higiénica. La

contaminación de la carne puede provenir de diferentes medios dentro de los cuales se pueden mencionar (Guerrero *et al.*, 2002; Hui *et al.*, 2006):

La superficie externa de los animales (piel). Se debe practicar un minucioso lavado de animales *ante-mortem*, con el fin de evitar la introducción de suciedades y microorganismos a la carne durante el proceso de desuello.

Rotura de órganos internos. Durante el proceso de la extracción de las vísceras blancas, si el operario no tiene suficiente cuidado, puede romper los estómagos e intestinos y transferir estos materiales a la carne, provocando su contaminación.

Condiciones de salud del personal que manipula la carne. La carne se puede contaminar al ser manipulada por personas que presentan enfermedades infectocontagiosas como en los siguientes casos: heridas, llagas y lesiones de la piel, parásitos, enfermedades respiratorias, desaseo de personal, instalaciones y equipos de trabajo, uso de agua contaminada para lavado de carnes y beneficio de animales sanos junto con enfermos.

Atendiendo los puntos enunciados anteriormente y enfatizando en la higiene del personal que manipula las carnes, para prevenir la contaminación de la carne se recomienda: que todo el personal que labora con las carnes esté en buenas condiciones de salud; se debe hacer un chequeo médico por lo menos cada seis meses para garantizar el estado sanitario, prestar especial atención con la limpieza de las instalaciones, equipos y utensilios que estén en contacto con la carne, las manos de los operarios deben lavarse, desinfectarse y secarse antes de manipular las canales y las carnes, y en forma especial después de retornar del baño (Hui *et al.*, 2006).

Transporte de las canales al establecimiento

Las canales que ha sido obtenidas con suficientes cuidados durante el proceso de beneficio de los animales, generalmente contiene pocos microorganismos, lo cual significa que este producto es generador de carne con buena calidad higiénica. La contaminación de la carne puede provenir de diferentes medios dentro de los cuales se pueden mencionar el transporte de las canales (Price y Schweigert, 1994). Algunos aspectos que se deben tomar en cuenta para el transporte de la carne son:

El vehículo de transporte debe contener caja con refrigeración, esto para mantener la cadena de frío; debe estar higiénico, tanto la caja como el equipo y los utensilios que estén en contacto con las canales, deberá tener rieles para el colgado de las canales, con una separación entre ellos de por lo menos 50 cm y estar a una altura suficiente para evitar que las cabezas o pechos hagan contacto con el piso; las menudencias deberán transportarse en recipientes cerrados; si se realiza el transporte de las pieles, patas y cuernos vacunos, deberán introducirse en bolsas o recipientes plásticos cerrados y no en el piso como se observa con frecuencia; se recomienda no sobrecargar la caja, se debe realizar el transporte lo más rápidamente posible, las manos de los operarios deben lavarse, desinfectarse y secarse antes de manipular las canales, el conductor de la unidad de transporte no debe tener contacto con las canales (Hui *et al.*, 2002).

Residuos químicos

La presencia de residuos de sustancias indeseables en los productos alimentarios es motivo de preocupación para los consumidores y para las autoridades sanitarias, debido al riesgo que presentan para la salud humana. Los animales ingieren gran cantidad de sustancias que pueden ser dañinas para la salud, ya sea que provengan del aire, del agua, de los alimentos que ingieren o de los suministrados en forma de medicamentos. Algunas de estas

sustancias se metabolizan rápidamente y apenas se encontrarán residuos en el animal, pero en otras se excretan lentamente y estarán presentes en mayor o menor grado en los diferentes tejidos del animal (Guerrero *et al.*, 2002).

El término residuo es muy amplio, pues engloba a todos aquellos compuestos o sustancias químicas que pueden estar presentes en la cadena alimentaria y ser potencialmente peligrosos para la salud humana. Los residuos que pueden estar presentes en la carne y en los productos cárnicos pueden dividirse en tres grandes grupos (Lawrie, 1997; Casademont y García-Regueiro, 1999):

Residuos presentes de forma natural. Son sustancias que han estado siempre presentes en la naturaleza y que forman ya parte de la cadena alimentaria en cantidades importantes a causa de los métodos agrícolas modernos y la contaminación ambiental, como los materiales pesados o las micotoxinas.

Residuos causados por el hombre. En este grupo se incluyen los residuos de productos debido a la intervención directa del hombre, tales como productos químicos utilizados en la agricultura, como los pesticidas, DDT, lindano o hexaclorobenzol. Compuestos usados en procesos industriales, como hidrocarburos organoclorados, dioxinas, percloroetileno o compuestos organometálicos, medicamentos y sustancias promotoras de crecimiento las cuales no deberían causar ningún problema si se utilizan correctamente, pero su uso inadecuado, sin observar los tiempos de retirada recomendados o el uso de sustancias ilegales, pueden significar un riesgo para la salud.

Almacenamiento de la carne

Para una buena conservación de la carne es necesario trabajar higiénicamente desde el momento de la matanza y regirse por las normas higiénicas del tratamiento de carnes. Un buen desangrado de la res garantizará un menor desarrollo de microorganismo, así como una buena desinfección de los grupos

de trabajo, y evitando el contacto con suciedades (Rambosttom *et al.*, 1976; Knipe, 2006).

Ramsbottom *et al.* (1976) mencionan que un empaque al vacío y atmósferas controladas, así como la utilización de absorbedores de oxígeno en los paquetes y no exponerlos inmediatamente después de envasados en las vitrinas de los establecimientos, retardan la acción bacteriana y los cambios oxidativos catalizados por la luz.

Temperatura de conservación

El frío y la congelación constituyen los procesos más utilizados para la conservación de la calidad de las carnes (Lawrie, 1997). Las alteraciones de la carne se pueden prevenir mediante el uso del frío. Las temperaturas inferiores o superiores al óptimo del crecimiento de los microorganismos impiden su desarrollo. La carne y los productos cárnicos se conservan bien por refrigeración o tratamientos térmicos. En la aplicación del frío, como norma, se debe aplicar en productos sanos, lo más rápido posible y se debe mantener en forma continua su aplicación. La refrigeración actúa retardando la vida y la actividad de los microorganismos, además de disminuir la actividad enzimática. Para inhibir el crecimiento microbiano, las canales deben enfriarse tan rápido como sea posible, utilizando como índice de la eficacia del proceso la temperatura de la porción más profunda de la canal, en este caso se pierde agua desde la superficie de la canal, porque ésta está aún caliente y causa evaporación de humedad. De acuerdo con las normas internacionales, las carnes refrigeradas se deben mantener a una temperatura de 4°C (López y Caps, 2004).

La congelación se aplica en medias canales, cortes mayoristas y minoristas. Las normas internacionales exigen que las carnes congeladas permanezcan a -18 °C.

Algunos aspectos que se deben tener en cuenta son (Knipe, 2006):

1. Velocidad de congelación. Se recomienda la aplicación de congelación rápida. Si ésta es lenta, se forman cristales grandes de hielo que destruyen las paredes celulares, produciendo mayores pérdidas de jugo durante la descongelación.
2. Desnaturalización de las proteínas, que puede ocurrir por reducción en la capacidad de retención de agua, pérdidas de jugo en la descongelación y liberación de enzimas que facilitan reacciones indeseables.
3. La oxidación de la grasa es el mayor obstáculo para el almacenamiento de carne por largos periodos. La presencia de hemoglobina en la carne funciona como un catalizador en la reacción de oxidación.
4. Descongelación, en la cual los cristales de hielo pasan a forma líquida. Parte del jugo es exudado debido a la reducción en la capacidad de retención de agua de las proteínas.

2.3.7 Factores biológicos que controlan la calidad de carne

Grasa veteada o marmoleo

El marmoleo se refiere a la grasa que se deposita en el perimio, entre los haces de fibras musculares, es decir, la grasa en la porción magra del músculo. Reduce la fuerza a realizar durante el corte o masticación e incrementa la jugosidad. El marmoleo contribuye a la jugosidad y al aroma de carne fresca. Desde hace muchos años se ha utilizado como una medida prioritaria de calidad en la evaluación de canales (Girard, 1991).

Colágeno

La fuerza del músculo es debida al armazón de tejido conectivo. A mayor edad se desarrolla un vínculo intramolecular más fuerte que lo hace más difícil de degradar en la cocción (Girard, 1991).

Fibras musculares

Lo más importante respecto a la dureza de la carne, es el agrupamiento de las fibras musculares que ocurre durante el enfriamiento. Los músculos con altas proporciones de fibra rojas tienden a ser más tiernos que aquellos que contienen fibra blanca (Girard, 1991).

Disminución de pH

Una caída rápida del pH *post-mortem* produce carne pálida, blanda y exudativa (PSE). Una caída retardada causa carne oscura, seca y firme (DFD). El pH menor también es influido por la raza y manejo pre-sacrificio (Hui *et al.*, 2006).

Desarrollo del tejido

Lawrie (1997), indica que los bovinos con un desarrollo de tejido inmaduro exhiben una gama de anomalías que afectan adversamente a la calidad de la carne. Así, animales con estos tejidos presentan mucha agua y baja grasa en el tejido conectivo entre los músculos.

Suavidad

La suavidad es uno de los factores que más afectan la palatabilidad de la carne, la suavidad de la carne depende en gran parte de la edad del animal; como lo afirman López y Caps (2004), la carne de canales de animales relativamente jóvenes es más tierna que la de los animales adultos.

Color

El color de la carne fresca ejerce una gran influencia en el consumidor al comprarla. La mayoría de los consumidores tienen una idea propia del aspecto de la carne y cualquier desviación de tal color determinará el rechazo o discriminación de la carne en cuestión. Podrá asociar un color más oscuro de lo normal con sequedad de la carne, con la dureza e incluso con olores desagradables (Shackelford *et al.*, 1994).

La calidad de la canal debe estudiarse paralelamente con los métodos de evaluación cuantitativa, así como cualitativa. En esta última evaluación, en años recientes, los productores ponen más atención en el control de los factores que afectan las características organolépticas de la carne como el color, la ternura y el marmoleo. También pueden realizarse evaluaciones cualitativas utilizando instrumentos de penetración o cortado que estimen la dureza, estableciendo mediante análisis químico, la cantidad de grasa en músculo para cuantificar el grado de marmoleo y que puede llevarse a cabo con paneles de degustadores entrenados para evaluar la calidad (Faustman *et al.*, 1998).

2.3.8 Medición de la calidad de la carne

En la medición de la calidad de la carne se encuentran la calidad de la canal, calidad tecnológica de la carne, calidad organoléptica de la carne y calidad de la grasa, las cuales se describen a continuación:

Calidad de la canal

Rendimiento de la canal

El rendimiento en la canal es la relación entre el peso de la canal y el peso vivo expresado en porcentaje. Los factores que afectan al rendimiento de la canal son: la duración del ayuno, alimentación (composición y nivel), duración del transporte y tipo genético (Prescott, 1966; López *et al.*, 2004).

Peso de la canal

La industria de la carne suministra alimento a diferentes mercados más o menos abundantes y con distintas exigencias. Las canales deben ser escogidas a partir de las entregas de los ganaderos. Con el fin de asegurar una cierta homogeneidad se realizan unas horquillas de pago y se penalizan a los animales demasiado flacos o pasados de peso. Las penalizaciones en algunos mercados pueden ser de entre un 10 a 20% del precio final (López *et al.*, 2004).

Porcentaje de músculo

Todos los sistemas de clasificación utilizados intentan dar una apreciación de la composición muscular de la canal de una manera más o menos directa. El porcentaje de músculo es la relación entre el peso del músculo y el peso de la canal expresado en porcentaje (Price y Schweiger, 1994; López y Caps, 2004).

Conformación

La conformación es la forma general de la canal, su grado de redondez y compacta. Se entiende por conformación al espesor de los planos musculares y adiposos en relación con el tamaño del esqueleto. La evaluación de la conformación puede realizarse de forma objetiva a través de medidas indirectas o de forma subjetiva mediante apreciación visual, siendo ésta la forma más común (López *et al.*, 2004).

Calidad tecnológica de la carne

Color

Page *et al.*, 2001, considera que el color es una de las características más importantes en la apariencia de un alimento. A la Industria de la carne le es muy importante la apariencia física de su producto, ya que tiene un efecto directo en la aceptación por el consumidor.

Hay algunos factores que determinan que la carne tenga uno u otro color, pero el fundamental es la cantidad de mioglobina que ésta posea. La mioglobina es un pigmento que contiene hierro y cumple, en el músculo, la misma función que la hemoglobina en la sangre. Es decir, transporta y almacena el oxígeno necesario para el funcionamiento del tejido (Faustman *et al.*, 1998).

El 95% del hierro de la carne se encuentra en la mioglobina. La carne es una fuente rica en hierro asimilable. Cuando el hierro de la mioglobina se oxigena u oxida, ocurren cambios en el color de la carne. La forma inicial de la mioglobina, previo a que las superficies cortadas sean expuestas al aire, es de un color rojo púrpura. A través del contacto con el aire (oxigenación), el color se convierte en un rojo brillante que se conoce como "florecimiento"; a medida que la superficie cortada es expuesta aún más al oxígeno (oxidación), el color rojo brillante se torna marrón claro. El cambio de color debido a la oxidación, es similar a la oxidación del metal (Page *et al.*, 2001).

La forma que adopte la mioglobina determina el color. La mioglobina reducida o deoximioglobina es el color que toma la carne poco después del sacrificio, dando un color rojo púrpura, ya que en el interior del músculo cuenta con poco oxígeno (Murray *et al.*, 2004). La oximioglobina es rica en O₂, dando un color rojo vivo, como normalmente está en los músculos. La metamioglobina es la mioglobina oxidada, esto por un contacto prolongado con oxígeno tomando colores pardos en la carne (Cross *et al.*, 1986; Murray *et al.*, 2004).

El color puede definirse por características como son el valor de "*hue°*" y el valor de "*croma*". *Hue°* representa el tinte o color real y determina el grado de brillantez u oscuridad del color y, *croma* se refiere al grado de pureza o saturación. Estos elementos describen la intensidad del color de la carne (Konica Minolta, 2007).

El sistema Hunter se utiliza para la determinación del color. Este sistema también conocido como color uniforme, está basado en la teoría de los colores oponentes a la visión del color. En esta teoría se supone que hay un estado de conexión-sígnal inmediata entre los receptores de luz en la retina y el nervio óptico que transmite las señales de color al cerebro. En este mecanismo de conexión, las respuestas al rojo son contrastadas con el verde. Las respuestas al verde son contrastadas con el azul. Esas dos dimensiones son representadas por símbolos “a” y “b”, donde “a” mide las tonalidades de rojo (+) hasta azul (-). La tercera dimensión del color es la luminosidad o blancura expresada como “L” y mide las tonalidades de blanco (100) hasta negro (0) (Acevedo, 2004; Konica Minolta, 2007).

Las diferencias en el color de la carne pueden también deberse a los diferentes tipos de fibras musculares. La fibra roja predomina en músculos que requieren una contracción a largo plazo sin una fase de descanso; por ejemplo, el músculo del corazón. Se sabe que los corredores de largas distancias desarrollan altos niveles de fibras rojas en los músculos de sus piernas (Ruckebusch *et al.*, 1994). El metabolismo oxidativo de estas fibras requiere de un sistema circulatorio bien desarrollado, mitocondrias y mioglobina (la cual almacena oxígeno). El contenido relativamente alto de mioglobina le da a las fibras rojas su nombre (Murray *et al.*, 2004).

Acevedo (2004), afirma que la fibra blanca predomina en músculos diseñados o necesarios para movimientos (contracciones) rápidos, pero en los que se dispone o necesita de un periodo de descanso. Un ejemplo de fibras blancas serían los atletas que corren muy rápido por distancias cortas y que luego necesitan detenerse y descansar. Las fibras blancas dependen de un metabolismo anaeróbico para obtener energía. Este sistema depende más del glucógeno muscular que de la mioglobina y las mitocondrias; por tanto, este tipo de fibra tiene un color menos rojo. Knipe (2006), indica que los músculos no están compuestos de un solo tipo de fibra sino de mezclas de fibras rojas y

blancas. Un músculo más rojo, en puerco o res, sugiere el contenido de un mayor porcentaje de fibras rojas que blancas. En general el puerco tiende a tener más fibras blancas que la carne de res, y viceversa. Los animales y la gente pueden cambiar el tipo de fibra predominante en sus músculos al cambiar la naturaleza de su entrenamiento físico. Las fibras blancas son otra razón por la que hay más carne PSE en puerco que en res.

Los músculos y sus partes no cambian de color de manera uniforme, primero porque en el músculo existen dos tipos de filamentos, rojo y blanco, que contienen diferentes cantidades de mioglobina, enzimas oxidativas, enzimas glucolíticas y sustratos. La mioglobina es una proteína que contiene el grupo “hemo”, un tetrapirrol cíclico que consiste en cuatro moléculas de pirrol unidas mediante puentes de metileno A. Ésta red plana de dobles enlaces conjugados absorbe luz visible y da un color rojo intenso al “hemo”. Un átomo del ión ferroso reside en el centro del tetrapirrol planar. La oxidación y reducción de los átomos de hierro y cobre de los citocromos, es esencial para su función biológica como transportadores de electrones. Por el contrario, la oxidación de Fe^{2+} de la mioglobina a Fe^{3+} destruye su actividad biológica (Murray *et al.*, 2004).

La mioglobina es una proteína sarcoplásmica responsable del transporte y almacenamiento del oxígeno dentro del tejido muscular, siendo el principal pigmento de la carne, por lo que del color de este producto depende fundamentalmente el estado en el que se encuentra la mioglobina. En el músculo, el hierro se encuentra en la mioglobina en forma de ión ferroso. El grupo “hemo” puede tener asociada una molécula de oxígeno formando entonces la oximioglobina, de color rojo brillante, que es el que se observa en la parte exterior de la carne. En el interior, la mioglobina no tiene oxígeno unido, estando entonces en forma de desoximioglobina, lo que proporciona un color rojo púrpura más intenso y oscuro que el de la oximioglobina. Estas dos formas

son interconvertibles dependiendo de la presión parcial de oxígeno y, en la práctica, de la superficie de contacto (Murray *et al.*, 2004).

En las condiciones de una atmósfera normal, el ión ferroso es inestable, pasando a ión férrico. En la mioglobina la presencia del grupo “hemo” y de la cadena de proteína lo protege. Pero aún así, la oxidación se produce con cierta rapidez, especialmente si la superficie de contacto es grande, como en el caso de la carne picada. La mioglobina con el hierro en forma férrica recibe el nombre de metamioglobina o ferrimioglobina y tiene un color marrón poco atractivo. Es lo que sucede con la carne almacenada por periodos largos de tiempo (Murray *et al.*, 2004).

En el proceso de transformación de músculo a carne ocurren muchos cambios bioquímicos. Uno de los más importantes está en la fase de maduración, ya que comienza cuando los lisosomas de las células musculares liberan unas enzimas denominadas catepsinas y a medida que el pH del músculo desciende reactivan las enzimas catepsinas que comienzan a degradar la estructura proteica, específicamente en la línea Z de la estructura muscular, lo que ocasiona la disolución del *rigor mortis*; los tejidos conectivos de colágeno se desnaturalizan a consecuencia del rápido descenso de pH muscular (Forrest *et al.*, 1979).

En el proceso de maduración, el color de la carne cambia tendiendo a tonalidades de rojos más oscuros y cuando éste proceso natural sufre alteraciones en los bovinos, se producen cortes muy oscuros por agotamiento de glucógeno (Price y Schweigert, 1994). Santos (1995), afirma que el cambio del color de la carne está muy relacionado con el deterioro oxidativo.

Dentro de los factores que afectan el color de la carne está la temperatura (Santos, 1995). El color se degrada rápidamente produciendo metamioglobina al consumirse el oxígeno, por lo que a bajas temperatura se estabiliza el color. La edad del animal disminuye la estabilidad del color al aumentar la edad del animal y varía con el tipo de músculo (Monahan *et al.*, 1994; Warris, 2004). El

sistema de envasado es otro factor que afecta el color. El efecto de pH, cuando el pH es alcalino se traduce en colores oscuros y si este cae a pH ácidos, da colores claros (Liu *et al.*, 1996). El pH del músculo vivo es normalmente mayor que 7. Después del sacrificio, desciende a valores entre 5.4 y 5.7 en las carnes normales. El pH de la carne tiene un gran efecto en muchas de sus propiedades comerciales, ya que tiene efectos importantes en el color y la capacidad de retención de agua, y sólo un efecto ligero en el sabor y la ternura. Por ello, es difícil predecir la ternura de la carne de bovino mediante el pH (Shackelford *et al.*, 1994). Monsón *et al.* (2004) mencionan que la concentración de mioglobina en la carne cambia dependiendo de su grado de acidez.

Capacidad de retención de agua y pH

La capacidad de retención de agua y pH de la carne han sido revisados por Guerrero *et al.* (2002). A continuación se presenta un resumen de sus hallazgos. La retención de agua se define como la capacidad que tiene la carne para retener el agua libre durante la aplicación de fuerzas externas, tales como el corte, la trituración y el prensado. Muchas de las propiedades físicas de la carne cruda como color, textura y firmeza, así como la jugosidad y suavidad al ser procesada, dependen en parte de la capacidad de retención de agua. La retención de agua es una propiedad fundamental en carne y productos cárnicos, ya que se relaciona con la jugosidad y la ternura. El agua se asocia con la superficie de las proteínas, por interacciones dipolo-dipolo y por puentes de hidrógeno, y forma una sola capa o mono-capa en la superficie de las proteínas.

Son varios los factores que influyen en la retención de agua: concentración de proteína, concentración de sal, grado de desnaturalización, presencia de compuestos de bajo peso molecular, tales como azúcares o alcoholes. En general, a medida que aumenta la concentración de proteína y la temperatura del ambiente, también aumenta la cantidad de agua ligada.

La retención de agua de los concentrados proteicos aumenta en el intervalo de 20 a 100°C. En muchos casos esto es debido a la formación de geles proteicos, en los que el agua se asocia con la superficie de las proteínas por puentes de hidrógeno y se atrapa dentro de los poros de la red proteica.

Las proteínas en las fibras musculares se asocian por cargas en la superficie de las moléculas proteicas. Al aumentar la concentración de sal, los iones del sodio y el cloro se unen a los grupos cargados de las proteínas, debilitando las interacciones de las fibras, lo que permite que se introduzca más agua, ya que hay menos interacciones proteína-proteína y más interacciones proteína-agua.

El poder de retención de agua de la carne se muestra muy sensible a las variaciones del pH. Cuando el pH desciende la capacidad de retención de agua en carne también disminuye. El pH en el cual la capacidad de retención de agua está en su mínimo valor (pH 5.5), corresponde a su punto isoeléctrico de la actomiosina, que constituye el mayor porcentaje de las proteínas estructurales del músculo; según avanza la rigidez cadavérica se induce una degradación de ATP en el músculo y se produce un mayor entrecruzamiento de la actina y la miocina, lo que da como resultado una reducción considerable de la capacidad de retención de agua durante las primeras horas *post-mortem*. Este fenómeno hace que la capacidad de retención de agua del músculo *pre-rigor* sea mucho mayor que en el músculo *post-rigor*.

Al igual que con la solubilidad, el pH influye en las cargas. En un homogeneizado muscular, la retención de agua disminuye a un mínimo en el punto isoeléctrico (pH 5.0, aproximadamente). En ese momento la interacción proteína-proteína entre aminoácidos, cargados, es dominante. Si el pH se retira del punto isoeléctrico, la proteína se hace cada vez más cargada y las interacciones proteína-proteína ceden su lugar a interacciones proteína-agua.

Actividad del agua

Girard (1991) menciona que los microorganismos necesitan la presencia de agua, en una forma disponible, para crecer y llevar a cabo sus funciones metabólicas. La mejor forma de medir la disponibilidad de agua es mediante la actividad del agua. La actividad del agua, es definida como el equilibrio relativo de la presión de vapor de agua pura con la que se encuentra en la carne. La actividad del agua tiene como efecto directo la posibilidad de que ocurran relaciones bioquímicas o crecimiento microbiano. Se considera que un máximo de 5% del agua total en el músculo está ligada a través de grupos hidrofílicos de las proteínas (agua fuertemente ligada). Una cantidad considerable de agua se inmoviliza, debido a la configuración física de las proteínas (agua débilmente ligada; Guerrero *et al.*, 2002).

Calidad organoléptica de la carne

Las cualidades organolépticas de la carne son aquellas que son percibidas por el consumidor en el momento del consumo de carne y son:

Textura

Carbajal *et al.* (2008) mencionan que en las canales muy jóvenes, la carne será de textura muy fina; en canales maduras la carne será muy áspera. La textura de la carne depende del tamaño de los haces de fibras musculares, es decir, del número y diámetro de las fibras, así como de la cantidad de tejido conectivo que forma el perimio tisular. Su dureza o blandura depende de la mayor o menor dificultad que presente a ser troceada durante la masticación, estando en función de la cantidad de tejido conectivo que exista y de la grasa intermuscular que contenga.

Suavidad

La suavidad es importante en la carne para consumo en fresco y para cocción al calor. Los efectos e interacciones de muchos factores concurren a la terneza final de la carne. Las estructuras y funciones del músculo son las responsables primarias de la suavidad. Los músculos son heterogéneos y variables, dentro de ciertos límites. Estas diferencias dependen y se relacionan con las características de los animales y el manejo antes de la faena (especie, edad, sexo, peso, genotipo, estado nutricional o sanitario, región de origen, transporte, temperamento, stress y sacrificio). Prácticamente estos factores o antecedentes de calidad se consideran incluidos en las categorías comerciales del mercado de animales para faena y abasto (Cross *et al.*, 1986).

En estado de rigidez cadavérica, los músculos aparecen firmes y la carne es menos tierna que antes y después de la muerte. Se conoce, empíricamente, que a la res hay que "orearla", "dejarla descansar" o "al sereno". Al resumen anterior pueden agregarse otros factores relacionados con la terneza; entre ellos los "puntos de cocción" (tiempo-temperatura) preferidos y la "sensibilidad" del paladar de los consumidores para percibir la terneza (Carbajal *et al.*, 2008).

La carne al cocinarse se expone a una fuente de calor que eleva su temperatura. Entre las reacciones más comunes en este proceso está la coagulación de la proteína responsable de la contracción muscular, la miosina, que coagula a los 50 °C, lo que hace que la carne adquiera firmeza, al mismo tiempo que libera moléculas de agua y esta es la causante de los jugos iniciales que desprende la carne al ser cocinada. Al alcanzar la temperatura de 60 °C, otras proteínas empiezan a coagular y la carne se va poniendo cada vez más firme, cuando se alcanza una temperatura en el intervalo de 60 y 65 °C la carne libera muchos jugos y encoge apreciablemente. Estos cambios se producen debido a la desnaturalización del colágeno en las células y la carne pierde la sexta parte de su terneza (Carbajal *et al.*, 2008).

Jugosidad

La jugosidad representa, en cierto modo, la percepción de la humedad en el momento del consumo, pudiéndose distinguir dos componentes. En primer lugar la impresión de humedad durante las primeras masticaciones, producida por la liberación rápida de jugo de la carne, y en segundo lugar la jugosidad que se mantiene después un tiempo posterior debido al efecto estimulante de la grasa en la salivación (Zea y Díaz, 1991).

Es conveniente señalar que el comportamiento de la capacidad de retención de agua afecta, tras el cocinado, a la impresión de jugosidad y succulencia en el proceso de la masticación. Es difícil establecer la relación entre el contenido en agua, medido en la canal y la jugosidad determinada subjetivamente; algunos investigadores señalan que existe correlación entre ambos parámetros (Pierce *et al.*, 1974). Además existe una importante relación entre jugosidad y ternura percibiéndose más tierna una pieza jugosa que otra similar con la misma textura, pero con menos jugo (Wood, 1990).

No existen métodos específicos disponibles para la medición de la jugosidad; sin embargo, se puede tener una idea de la misma por predicción de la grasa y contenido de humedad usando técnicas químicas, debido a la relación que existe con el veteado. El método que se usa más comúnmente es el análisis sensorial mediante un panel de degustación (Risvik, 1994).

Sabor

El sabor es una impresión compleja resultante de la percepción de olores y gustos que se basa en la existencia y características de sustancias químicas (volátiles y solubles; Shackelford *et al.*, 1994). El sabor de las carnes posee cerca de 1000 compuestos químicos identificados en los constituyentes volátiles de la carne de res. Estos compuestos volátiles están descritos como hidratos de carbono, alcoholes, aldehídos, ésteres, furanos, piridinas, pirazinas, pirroles,

oxacinas y otros compuestos, que se fundamenten generalmente en el átomo de azufre y en los elementos halógenos (Shackelford *et al.*, 1994; Murray *et al.*, 2004).

Los sabores y aromas de la carne provienen predominantemente de los compuestos acíclicos azufrados y de los compuestos heterocíclicos que contienen nitrógeno, oxígeno o azufre. No obstante, existen diferencias respecto a la cantidad de los compuestos según la especie animal de que se trate (Cross *et al.*, 1986; Colmer-Rocher, 1988).

El sabor es uno de los componentes clave, además de la suavidad y jugosidad, ya que determinan la palatabilidad de la carne. El sabor de la carne fresca se ve afectado por más de 750 compuestos aromáticos que se liberan durante la cocción. Varios factores que afectan el sabor de la carne fresca incluyen la especie, la edad del animal al momento de la matanza, el corte que se está consumiendo, cómo fue manipulada la carne, y la cantidad y tipo de añejamiento. Sin embargo, la preparación es el factor más importante que afecta el sabor, ya que la adición de sal o especias, el método de preparación y el grado de cocción sustancialmente afectan la percepción del sabor (Guerrero *et al.*, 2002).

Calidad de la grasa

La calidad de la grasa depende de la consistencia de tejido adiposo y del grado de oxidación de los lípidos. La oxidación de los lípidos está estrechamente vinculada con la composición en ácidos grasos del tejido adiposo y principalmente de su tasa de ácidos grasos poliinsaturados. La consistencia del tejido adiposo es más compleja, depende a la vez del punto de fusión de los lípidos y de la resistencia mecánica de la trama de colágeno (Monahan *et al.*, 1994).

Actualmente la meta del productor es proporcionar animales dotados potencialmente de las características necesarias para convertir productos cárnicos gustosos. Ello puede alcanzarse mediante una producción, alimentación y manejo adecuados.

La calidad de la carne, es decir, lo suave, jugosa y sabrosa que pueda ser, no es lo mismo que su comestibilidad. Los consumidores pueden asegurarse de obtener la calidad que buscan sin hacer un examen exhaustivo de la carne. En los Estados Unidos de América se determina el estado de calidad bajo el emblema de USDA (Servicio de Inspección y Seguridad Alimentaria del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). Bajo este emblema o etiqueta de certificación, los estadounidenses aseguran que la carne es comestible.

2.4 Vitamina E

La vitamina E está ampliamente distribuida en los alimentos de los animales. En la naturaleza, la síntesis de vitamina E es una función de las plantas, por lo que sus productos son la fuente principal de la misma. Es abundante en los granos completos de cereales, en particular de germen, y por consiguiente en los productos que lo contienen. Los forrajes verdes y otros materiales fibrosos son excelentes fuentes de vitamina E. Las fuentes naturales más concentradas son los aceites de germen de trigo, soya, cacahuete y semilla de algodón (McDonald *et al.*, 2006).

Existen pocos informes en la toxicidad de la vitamina E en animales y humanos. En la investigación experimental con animales, aparecen descripciones dispersas de signos hemorrágicos, desórdenes nerviosos, edemas, cambios en las glándulas endocrinas y antagonismo con la vitamina K (Church *et al.*, 2004).

Las manifestaciones de deficiencia de vitamina E son variadas y algunas son específicas de ciertas especies, pero pueden dividirse en tres grandes categorías: fallas relacionadas con la reproducción, alteración de la permeabilidad celular y lesiones musculares.

El suplemento de vitamina E en cantidades adecuadas en dietas al ganado incrementa la producción de anticuerpos (en particular de la inmunoglobulina G). La vitamina E juega un papel antioxidante inter e intracelular. Esta capacidad previene la oxidación de materiales lípidos insaturados en las células. Así las grasas protegen la membrana celular de un rompimiento o desequilibrio, dando lugar a la conservación de las características normales de carne (Rodríguez, 2001).

2.4.1 Bioquímica de la vitamina E

Aún no se define una función metabólica única e inequívoca para la vitamina E. Sin embargo, se ha observado que actúa como antioxidante liposoluble en las membranas celulares (Murray *et al.*, 2004).

La vitamina E existe en tres formas: α , β , y δ , pertenecientes al grupo de los tocoferoles. Éstos contienen dobles ligaduras en su estructura, por lo que funciona en el metabolismo del animal como un antioxidante natural protegiendo sustancias como ácidos grasos insaturados, carotenoides y ácido ascórbico (Santos, 1995).

La vitamina E es el compuesto genérico descriptivo de dos familias de compuestos, los tocoferoles y los tocotrienoles. Los diferentes vitámeros (compuestos con actividad vitamínica similar) cuentan con potencias biológicas distintas; el más activo es el D- α -tocoferol (Murray *et al.*, 2004).

2.4.2 Vitamina E como conservador de la carne

Una vida útil prolongada de la carne es una cualidad muy apreciada, tanto por el comerciante y distribuidor, como por el consumidor. El deterioro del color y la oxidación de los lípidos son los principales responsables de la disminución de la vida útil de la carne (Consigli, 2001).

El contenido de vitamina E en el músculo, ya sea por la presencia natural o por su adición en la dieta de los animales, ejerce una acción eficaz frente al deterioro oxidativo de la carne (Jayasingh *et al.*, 2002). Un antioxidante es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas. La oxidación es una reacción química de transferencia de electrones de una sustancia a un agente oxidante. Las reacciones de oxidación pueden producir radicales libres que comienzan reacciones en cadena que dañan las células. Los antioxidantes terminan estas reacciones quitando intermedios del radical libre e inhiben otras reacciones de oxidación, al oxidarse ellos mismos. Los niveles bajos de antioxidantes o la inhibición de las enzimas antioxidantes causan estrés oxidativo y pueden dañar o matar las células. El uso de vitamina E como un conservador es utilizada en la industria para alargar la vida de anaquel de la carne (Liu *et al.*, 1996).

2.4.3 Relación de la vitamina E con el color de la carne

Las evidencias indican que el índice de la decoloración de la carne está relacionado con la eficacia de los procesos de oxidación (Faustman *et al.*, 1998). El suplementar vitamina E en la dieta estabiliza el color, ácidos grasos y colesterol polinsaturado en el músculo contra el deterioro oxidativo. El efecto es debido a la incorporación de esta vitamina en las membranas subcelulares, donde maximiza la capacidad antioxidante del sistema, aumentando el poder reductor (Guo *et al.*, 2006).

La ausencia de mecanismos reductores acelera el aumento de metamioglobina, debido a la desnaturalización de la mioglobina, bajando la tensión del oxígeno y produciendo un color pardo (Liu *et al.*, 1996).

La vitamina E juega un papel importante como estabilizador del color, ya que su uso permite reducir la oxidación de la metamioglobina, dando pie a que se transforme en deoximioglobina, la cual al ser más rica en oxígeno y nos genera un color rojo vivo en la carne (Guo *et al.*, 2006). De igual manera, la oxidación de lípidos en la carne se asocia con el sabor rancio, pérdida de jugosidad y en el color (Faustman *et al.*, 1998).

2.5 Literatura citada

- Acevedo S., M. 2004. Evaluación de los atributos principales de la calidad de la carne de res de origen local e importada según se ofrece al consumidor. Tesis de Maestría. Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico. pp: 25-50.
- Aranda O., G., O. García J., A. Monzón J., G. Hernández A., y N. Ortega G. 2008. ¿Qué implica producir carne de res en México?. Extensión al Campo 2: 10-11.
- Berg, R. T., and R. M. Butterfield. 1976. New Concepts of Cattle Growth. University of Sidney Press. Sydney, Australia. 240 p.
- Beriain, M. J. 1998. Calidad de la Carne Ovina. *In*: C. Buxadé (coordinador), Ovino de carne: aspectos claves. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. pp: 401-418.
- Cañeque V., C., F. Ruiz de Huidobro., J. Dolz F., y J. Hernández A. 1989. Producción de Carne de Cordero. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 520 p.
- Carbajal L., M., N. Ospina M., O. Martínez A., L. Ramírez S., C. Restrepo C., S. Adarve S., y S. Restrepo R. 2008. Evaluación de textura a cinco cortes de carne de res conservados por esterilización en envase de hojalata. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica 15(2): 232-243.
- Casademont G., F., y J. García-Regueiro A. 1999. Residuos en productos de origen animal, problemática de su control analítico. Eurocarne 75: 45-58.
- Church D., C., W. Pond G., y K. Pond R. 2004. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales. 2ª ed. Limusa. México. 621 p.

- Colomer-Rocher, F. 1988. Estudio de los parámetros que definen los caracteres cuantitativos y cualitativos de las canales bovinas. IV Curso de Producción de Carne y Leche a base de Pastos y Forrajes. CIAM. 90 p.
- Consigli, R. 2001. El negocio de la carne. La Voz del Campo EEA INTA Manfredi. Universidad Católica de Córdoba. 6ª Jornada. pp: 18-25.
- Cross, H. R., P. R. Durlan, and S. C. Seindeman. 1986. Sensory Qualities of Meat. *In: Muscle as Food*. Academia Press. Australia. pp: 279-315.
- Faustman, C. W., K. M. Chan., D. M. Schaefer, and A. Havens. 1998. Beef color update: the role for vitamin E. *Journal of Animal Science* 76: 1019-1026.
- Fennema, O. R. 2000. Química de los Alimentos. 2a. Acribia. Zaragoza, España. pp: 105-145.
- FIRA. 1997. Oportunidades para el desarrollo de la ganadería bovina productora de carne en México. *Boletín Informativo* 26: 114-259.
- Forrest, J. C., E. D. Aberle, H. B. Heddrick, M. D. Judge, y R. A. Merkel. 1997. Fundamentos de la Ciencia de la Carne. Acribia. Zaragoza, España. 364 p.
- Gallardo N., J. 2004. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de bovino en México. SAGARPA. pp: 16-30.
- Gallo, C., y B. N. Tadich. 2008. Bienestar animal y calidad de carne durante los manejos previos al faenamiento en bovinos. *Revista Electrónica de Veterinaria* 9(10): 1695-1704.
- Girard, J. P. 1991. Tecnología de la Carne y de los Productos Cárnicos. Acribia. Zaragoza, España. pp: 93-113.
- Grandin, T. 2001. Antemortem handling and welfare. *In: Meat Science and Applications*. Y. H. Hui, R. W. Rogers, and O. A. Young (Eds). Marcel Dekker, NuevaYork. pp: 67-80.
- Greaser, M. L. 1986. Conversion of muscle to meat. *In: Muscle as Food*. Academic Press. Sídney, Australia. pp: 37-87.
- Guerrero I., L. E. Ponce A., y L. Pérez C. 2002. Curso Práctico de Tecnología de Carnes y Pescado. Manual de Prácticas de Laboratorio. Universidad Autónoma Metropolitana. México. 171 p.
- Guo, Q., B. T. Richert, J. R. Bugess, D. M. Webel, D. E. Orr, M. Blair, G. E. Fitzner, D. D. Hall, A. L. Grant, and D. E. Gerrard. 2006. Effects of dietary vitamin E and fat supplementation on pork quality. *Journal of Animal Science* 84: 3089-3099.
- Hui, Y. H., I. Guerrero L., y R. M. Rosmini. 2006. Ciencia y Tecnología de Carnes. Limusa. México. 634 p.
- INRA (Institut National de la Recherche Agronomique).1988. Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins. INRA. Paris, Francia. 471 p.

- Jayasingh, P., D. P. Cornforth, C. P. Brennand, C. E. Carpenter, and D. R. Whittier. 2002. The quality in the meat. *Food of Science* 67: 3493-3510.
- Jeremiah, L. E., Z. L. Carpener, and G. C. Smith. 1972. Beef color as related to consumer acceptance and palatability. *Journal of Food Science* 37: 476-489.
- Jérez, N. T. 2005. Influencia Genética en la Producción de Carne de Calidad. *Manual de Ganadería Doble Propósito*. México, D.F. 641 p.
- Keane, M. G., G. J. More, and J. Connolly. 1989. Growth and carcass composition of Friesian, Limousin x Friesian and Bionde d' Aquitaine x Friesian steers. *Animal Production* 48: 353-368.
- Konica Minolta. 2007. Comunicación Precisa de los Colores. <http://www4.konicaminolta.eu/pcc/es/part1/index.html>. Consultado el 14 de junio de 2007.
- Knipe, L. 2006. Ciencia Básica del Procesado de la Carne. Departamento de Zootecnia. Universidad del Estado de Ohio. U.S.A. pp: 254-269.
- Lawrie, R. A. 1997. Ciencia de la Carne. 2ª ed. Acribia. Zaragoza, España. pp: 9-125.
- Liu, Q., M. C. Lanari, and D. M. Schaefer. 1995. A review of vitamin E supplementation for improvement of beef quality. *Journal of Animal Science* 73: 3131-3140.
- Liu, Q., K. K. Scheller, S. C. Arp, D. M. Schaefer, and S. N. Williams. 1996. Color coordinates for assessment of dietary vitamin E effects on beef color stability. *Journal of Animal Science* 74: 117-126.
- López C., J., C. Ventanas, y C. García. 2004. Obtención de la canal, tecnología del sacrificio y faeneado del ganado vacuno. Bases anatómicas, tecnológicas y comerciales de la carnización del vacuno. Departamento de Anatomía y Embriología. Facultad de Veterinaria de Cáceres, España. 215 p.
- López R., V., y A. Caps V. 2004. Tecnología de Mataderos. Mundi-Prensa. Madrid, España. 430 p.
- McDonald, R. A. Edwards, J. F. D. Greenhaldh, y C. A. Morgan. 2006. Nutrición Animal. 6ª ed. Acribia. Zaragoza, España. pp: 63-90.
- McDowell, L. R., S. N. William, N. Hidirolou, C. A. Njeru, G. M. Hill, L. Ochoa, and N. S. Wilkinson. 1996. Vitamin E supplementation for the ruminant. *Animal Feed Science Technology* 60: 196-273.
- Monahan, F. J., A. Asghar, J. I. Gray, and D. J. Buckley. 1994. Effect of oxidized dietary lipid and vitamin E on the colour stability of pork chops. *Meat Science* 37: 205-215.

- Monson, F., C. Saduño, and I. Sierra. 2004. Influence of cattle breed and ageing time on textural meat quality. *Meat Science* 68: 595-602.
- Murray R., K., D. Granner K., P. Mayes A., y W. Rodwell V. 2004. *Bioquímica Ilustrada. El Manual Moderno*. México. 717 p.
- Naumann, H. D. 1965. Evaluation and measurement of meat quality. *In: Food Quality: Effects of Production Practices and Processing*. G. W. Irving y S. R. Hoover (eds). American Association for the Advancement of Science. Washington. U.S.A. pp: 77-90.
- Noricumbo, S. 1996. La calidad de la carne se fundamenta en una buena dieta. *Carne y Leche* 33: 24-37.
- Owens, F. N., and B. A. Gardner. 2008. A review of the impact of feedlot management and nutrition on carcass measurements of feedlot cattle. *Proceedings of the American Society of Animal Science*. <http://www.asas.org/JAS/symposia/proceedings/0940.pdf>> Consultado el 18 de octubre de 2008.
- Page, J. K., D. M. Wolf, and T. R. Schwotzer. 2001. A survey of muscle color and pH. *Journal of Animal Science* 79: 678-687.
- Pierce, J. C, C. E. Murphey, and D. Hallet. 1974. Classification, grading and marketing of livestock and meat. *In: Animal Agriculture*. W. H. Freeman. pp: 72-45.
- Prescott, J. H. D. 1966. The influence of different systems of beef production on carcass characteristics and meat quality. *In: Beef Cattle Production*. R. Q. Cannell. pp:90-99.
- Price J., F., y B. Schweigert S. 1994. *Ciencia de la Carne y de los Productos Cárnicos*. 2ª ed. Acribia. Zaragoza, España. 580 p.
- Ramsbottom J., M., J. Price F, y B. Schweigert S. 1976. *Ciencia de la Carne*. Acribia. Zaragoza, España. pp: 523-548.
- Risvik, E. 1994. Sensory properties and preferences. *Meat Science* 36: 67-77.
- Rodriguez V., I. 2001. Aplicación de selenio y vitamina E a ovejas pelibuey en gestación final y lactancia. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 94 p.
- Ruckebusch Y., L. Phaneuf, y R. Dunlop. 1994. *Fisiología de Pequeñas y Grandes Especies*. El Manual Moderno. México, D. F. 862 p.
- Santos S., A. 1995. *Química y Bioquímica de Alimentos*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 450 p.
- Shackelford, S. D., M. Koohmaraie, and J. W. Savell. 1994. Quality of the meat. *Meat Science* 37: 185-195.

- Warriss, P. D. 2004. Insensibilización y sacrificio de bovinos. Revista Informativa sobre carne y productos cárnicos. Archivos de Medicina Veterinaria 31: 77-79.
- Wood, J. D. 1990. Consequences for meat quality of reducing carcass fatness. *In: Reducing Fat in Meat Animals*, J. D. Wood and A. V. Fisher (eds). Elsevier Applied Science. London. pp: 344-397.
- Woodward, J., and V. Wheelock. 1990. Consumer attitudes to fat in meat. *In: Reducing Fat in Meat Animals*. J. D. Wood and A. V. Fisher (eds). Elsevier Applied Science. London. pp: 66-100.
- Zea S., J. 2005. Alimentación y calidad de la carne en terneras: influencia del sistema productivo. *In: Memoria del XXI Curso de Especialización FEDNA*. 7 al 9 de noviembre. Madrid, España. pp: 83-109.
- Zea J., M., y D. Díaz. 1991. La calidad de la carne en relación con los sistemas de producción bovina. Veterinaria México 39: 45-57.

3 CALIDAD DE LA CARNE DE BOVINOS SUPLEMENTADOS CON VITAMINA E

3.1 Resumen

El objetivo fue determinar la cantidad y duración de la suplementación con vitamina E para mejorar la vida de anaquel de la carne, sin afectar el rendimiento en canal de bovinos. Se realizaron tres experimentos: 1) 1,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ durante 37, 49 y 63 días; 2) 2,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ durante 77 días; 3) 3,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ durante 55 días; utilizando 36, 24 y 24 toretes de cruce comercial (cebú x europeo), respectivamente. Se evaluó pH, capacidad de retención de agua, luminosidad, concentración del color y ángulo de tono de la carne a 1, 8 y 16 días post-sacrificio (Exp. 2 y 3). El modelo estadístico del experimento 1 incluyó el efecto del nivel de vitamina E, del periodo de suplementación y su interacción, evaluado únicamente en el día 1. Los modelos de los experimentos dos y tres incluyeron los efectos del nivel de vitamina E, tiempo y su interacción. En el experimento tres se agregó carnitina y sus interacciones correspondientes. La variable rendimiento se analizó con el procedimiento GLM, y las variables de calidad en carne con PROC MIXED con medidas repetidas del programa SAS. Las medias se compararon con la prueba de Tukey. En los tres experimentos, la dosis o el tiempo de suplementación con vitamina E no tuvieron efecto negativo en el rendimiento de la canal. Para las características de la canal, en el experimento 1, se encontraron diferencias ($p < 0.01$) en luminosidad, croma y ángulo de tono, sólo en la carne de animales suplementados con vitamina E durante 63 días; en el experimento 2, no se encontraron diferencias en características de la carne en el día uno post-sacrificio, pero sí ($p < 0.01$) en los días 8 y 16 post-sacrificio; en el experimento 3, los valores en características de la carne fueron similares a lo encontrado en el experimento 2. La suplementación con 2,000 ó 3,000 UI vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ conserva por más tiempo las características deseables de la canal (pH, color y capacidad de retención de agua), esperándose resultados similares; por lo que se recomienda un nivel mínimo de suplementación con 2,000 UI animal⁻¹ día⁻¹ por un periodo mínimo de 60 días, para mejorar las características y prolongar la vida en anaquel de la carne bovina.

Palabras clave: bovinos, vitamina E, productividad, calidad de carne.

BEEF QUALITY OF BOVINES SUPPLEMENTED WITH VITAMIN E

3.2 Abstract

The objective of this study was to determine quantity and duration of the vitamin E supplementation to improve the shelf life, without affecting the yield in the beef cattle carcass. Three experiments were conducted: 1) 1,000 UI of vitamin E animal⁻¹ day⁻¹ during 37, 49, and 63 days; 2) 2,000 UI of vitamin E animal⁻¹ day⁻¹ during 77 days; 3) 3,000 UI of vitamin E animal⁻¹ day⁻¹ during 55 days. 36, 24, and 24 steers of commercial crossbreeding (Zebu x European) were respectively used. The pH, water holding capacity, brightness, color concentration, and color tone or hue of meat were evaluated at 1, 8, and 16 days post-slaughter (Expt. 2 and 3). The statistical model for the experiment 1 included the effect of vitamin E level of the supplementation period and its interaction, evaluated only at day 1. The models of the experiments two and three included the effects of the vitamin E level, time, and its interaction. In experiment three carnitine and its corresponding interactions were aggregated. Yielding variable was analyzed with the GLM procedure, and the meat quality variables with PROC MIXED with repeated measurements of the SAS program. The measurements were compared with the Tukey's test. In the three experiments, the dose or time of vitamin E supplementation had no negative effect on the carcass yield. For the carcass characteristics, in experiment 1, differences ($p < 0.01$) in brightness, chroma and color tone or hue of meat of animals supplemented with vitamin E during 63 days were found; in experiment 2, no differences were found on the meat characteristics on day one post-slaughter, but there were differences ($p < 0.01$) on days 8 and 16 post-slaughter; in experiment 3, the values in characteristics of meat were similar to what was found in experiment 2. Supplementation with 2,000 or 3,000 UI of vitamin E animal⁻¹ day⁻¹ retains for longer the desirable characteristics of the carcass (pH, color, and water holding capacity), expecting similar results, a minimum level of supplementation with 2,000 UI animal⁻¹ day⁻¹ for a minimum period of 60 days is recommended to improve the characteristics and extend meat shelf life of beef.

Key words: bovines, vitamin E, productivity, meat (beef) quality.

3.3 Introducción

El primer aspecto de calidad que el consumidor considera al momento de comprar carne es el color (Jeremiah *et al.*, 1972; Risvik, 1994). El color está relacionado con el grado de oxidación de la mioglobina, que a su vez depende del grado de protección de la misma frente a los prooxidantes (Liu *et al.*, 1995; McDowell *et al.*, 1996). Por otro lado, el interés que los ganaderos muestran por la calidad de la carne que producen sus animales ha ido en aumento en los años más recientes, con el propósito de conseguir mayor aceptación por los consumidores (Drake, 2007). Si los ganaderos son capaces de optimizar los atributos de los productos, ello ayudará a incrementar su valor entre los consumidores (Clark, 1998).

La suplementación con 1,000 UI de Vitamina E $\text{animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ por un periodo de 100 días, permite acumular vitamina E en los músculos y controlar la oxidación de lípidos y mioglobina en la carne (Arnold *et al.*, 1993b; Mitsumoto *et al.*, 1993); esta última es la responsable de la coloración de la carne (Faustman *et al.*, 1998a). La respuesta a la permanencia del color aceptable está relacionada directamente con el tiempo. La vitamina E no sólo mejora la consistencia del color de la carne y la integridad de las membranas lipoproteicas, sino también reduce la pérdida del líquido en canales y carne (Acevedo, 2004). Existen varios indicadores para medir la calidad de la carne; entre los más comunes y prácticos se encuentran el pH, capacidad de retención de agua (CRA) y color, los cuales están altamente relacionados entre sí (Lawrie, 1997).

El objetivo del presente trabajo fue suplementar vitamina E a la dieta de bovinos, para determinar el tiempo de aplicación y la dosis adecuada para mejorar las características productivas de bovinos en etapa de finalización y vida de anaquel de la carne.

3.4 Materiales y métodos

Esta investigación consistió de tres experimentos. En el primer experimento se suministraron 1,000 UI animal⁻¹ día⁻¹ de vitamina E durante 37, 49 y 63 días, para conocer el tiempo mínimo de suplementación que mejore la calidad de la carne; en el segundo experimento se suministraron 2,000 UI animal⁻¹ día⁻¹ de vitamina E por un periodo de 77 días, con el fin de ver si el doble (respecto al experimento 1) de cantidad de vitamina E afectaba el comportamiento productivo y mejoraba la calidad de la carne, y la vida de anaquel en los días primero, octavo y décimo sexto post-sacrificio; y en el tercer experimento se suplementaron 3,000 UI animal⁻¹ día⁻¹ durante 55 días, con el objetivo de evaluar si el triple de suplementación de vitamina E tenía efecto negativo en el comportamiento productivo y si mejoraba las características de la carne, y la vida de anaquel en los días primero, octavo y décimo sexto post-sacrificio.

Localización

Las investigaciones se realizaron en el Módulo de Bovinos Productores de Carne de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado a 19° 21'N y 98° 53' O que a una altitud de 2250 m. El clima de la región es C(W0)(W)b(i)g, que corresponde a un clima templado sub-húmedo, con una precipitación media anual de 644.8 mm y 5% de lluvia invernal (García, 1984).

Animales, instalaciones y equipo

Se usaron corraletas individuales provistas de techo, con una superficie de 4 m² cada una, equipadas con pisos de barras “slats”, comederos individuales de concreto, bebederos automáticos compartidos y fosa para la recolección de heces. En los experimentos uno, dos y tres se utilizaron 36, 24 y 24 toretes de la craza comercial cebú X europeo respectivamente, los animales provinieron de la región de Acayucan Veracruz y tuvieron pesos promedios al inicio de los experimentos de 513, 396 y 435 kg, respectivamente.

Manejo de recepción

A la llegada del ganado se les proporcionó agua limpia y forraje en greña para permitir su recuperación, y realizar el manejo de recepción que se menciona a continuación:

Identificación individual con arete de plástico, colocado en la oreja izquierda.

Desparasitación interna y externa y aplicación de vitaminas liposolubles (A, D y E) con Ademas® LA (Intervet-Schering-Plough Veterinaria, con una composición por cada 100 ml: 1 g de Ivermectina, 8.85 g de vitamina A, 0.06 g de vitamina D y 1.5 g de vitamina E). La dosis aplicada fue 1 ml por cada 50 kg de peso, vía intramuscular.

Vacunación. Se aplicaron vacunas contra *Clostridium spp.* y *Pasteurella* (*C. chauvoei*, *C. septicum*, *C. novyi*, *C. sordelli*, *C. perfringens* C y D, *Pasteurella*, *multocida* tipos A y D, *Mannheimia (Pasteurella) haemolytica* A-1), con la bacterina-toxoide Bobact-8® (Intervet-Schering-Plough Veterinaria), previniendo contra pasteurelisis neumónica (fiebre de embarque), carbón sintomático (pierna negra), edema maligno, gangrena gaseosa, hepatitis necrótica infecciosa, riñón pulposo y enterotoxemia. La dosis suministrada fue 5 ml animal⁻¹ vía intramuscular.

Implante. Se utilizó el implante de Synovex Plus (200 mg de acetato de trenbolona y 28 mg de benzoato de estradiol), el cual se colocó en la parte posterior de la oreja entre la piel y el cartílago.

Pesaje. El ganado fue pesado el día que fueron introducidos a las corraletas individuales (peso inicial), al momento de iniciar la suplementación con vitamina E y al finalizar el experimento (peso final).

Tratamientos y análisis estadísticos

El diseño del experimento uno fue completamente al azar con arreglo factorial 2 x 3. Los factores fueron dos niveles de vitamina E (0 y 1,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹) y tres periodos de suplementación (37, 49 y 63 días), con seis repeticiones por tratamiento. Se utilizaron animales pesados (550 kg), medianos (510 kg) y ligeros (480 kg) con la finalidad de que fueran sacrificados a un peso similar independientemente del tiempo de suplementación con vitamina E. Para el análisis de rendimiento en canal y de las variables de calidad de la carne (pH, color: L, a, b, croma y hue°) se usó el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + P_j + T*P_{ij} + E_{ijk}$$

Donde Y_{ijk} es cada una de las variables de respuesta, μ es la media general, T_i es el efecto del i-ésimo tratamiento ($i = 1, 2$), P_j es el efecto del periodo de suplementación ($j = 37, 49$ y 63), $T*P_{ij}$ es el efecto de la interacción entre el i-ésimo tratamiento y el j-ésimo periodo, y E_{ijk} es el error experimental.

El diseño del experimento dos fue completamente al azar, cuyos tratamientos fueron dos niveles de vitamina E (0 y 2,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹), suplementados durante un periodo de 77 días. Cada tratamiento tuvo 12 repeticiones, donde cada animal fue una unidad experimental. El peso promedio inicial de los animales fue 396.2 kg. El modelo utilizado para el análisis de rendimiento en canal fue:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_i X_{ij} + E_{ij}$$

Donde Y_{ij} es el valor de la variable de respuesta, μ es la media general, T_i es el efecto de i-ésimo tratamiento ($i = 1$ y 2), β_i es el coeficiente de regresión asociado a la covariable lineal de peso vivo inicial (X_{ij}) y E_{ij} es el error experimental.

Para el análisis de las variables de calidad de la carne (pH, CRA, color: L, a, b, croma, hue°), en los días 1, 8 y 16 post-sacrificio se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + A_j (T_i) + D_k + (T*D)_{ik} + E_{ijkl}$$

Donde Y_{ijkl} es el valor de cada variable de respuesta, μ es la media general, T_i es el efecto de i-ésimo tratamiento ($i = 1$ y 2), $A_j (T_i)$ es el efecto aleatorio de j-ésimo animal anidado dentro del i-ésimo tratamiento, D_k son los días de evaluación post-sacrificio ($k = 1, 8$ y 16), $(T*D)_{ik}$ es la interacción entre el i-ésimo tratamiento y el k-ésimo días post-sacrificio, y E_{ijkl} es el error experimental.

El diseño del experimento tres fue completamente al azar con un arreglo factorial 2×2 con repeticiones en el tiempo (1, 8 y 16 días post- sacrificio). Los factores fueron dos niveles de vitamina E (0 y 3,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹) y dos niveles de R-carnitina (0 y 500 mg ton⁻¹) suplementadas durante un periodo de 55 días. Cada tratamiento tuvo seis repeticiones, y la unidad experimental constó de un animal. El peso promedio inicial de los animales fue 432.5 kg. Las variables evaluadas fueron: rendimiento en canal y calidad de la carne (pH, color: L, a, b, croma, hue°, y CRA). El modelo utilizado para el análisis de rendimiento en canal fue el mismo que para el experimento dos.

Para el análisis de las variables de calidad de la carne (pH, CRA, color: L, a, b, croma, hue°), en los días 1, 8 y 16 post-sacrificio se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{ijklm} = \mu + V_i + C_j + A_k (V*C)_{ij} + D_l + (V*C)_{ij} + (V*T)_{ik} + (C*T)_{jk} + (V*C*T)_{ijk} + E_{ijklm}$$

Donde Y_{ijklm} es el valor de cada variable de respuesta, μ es la media general, V_i es el efecto de i-ésimo nivel de vitamina E ($i = 0$ y 1), C_j es el efecto de j-ésimo nivel de carnitina ($j = 0$ y 1), $A_k (V*C)_{ij}$ es el efecto aleatorio del k animal anidado dentro de la interacción entre el i-ésimo nivel de vitamina E, el j-ésimo nivel de carnitina, D_l son los días de evaluación post-sacrificio ($l = 1, 8$ y 16), $(V*C)_{ij}$ es la

interacción entre el i -ésimo nivel de vitamina E y el j -ésimo nivel de carnitina, $(V*T)_{ik}$ es la interacción entre el i -ésimo nivel de vitamina E y el l -ésimo día de evaluación post-sacrificio, $(C*T)_{jk}$ es la interacción entre el j -ésimo nivel de carnitina y el l -ésimo día de evaluación post-sacrificio, $(V*C*T)_{ijk}$ es la interacción entre el i -ésimo nivel de vitamina E, el j -ésimo nivel de carnitina y el l -ésimo día de evaluación post-sacrificio, y E_{ijklm} es el error experimental.

Las variables, rendimiento, pH y color (L, a, b, croma y hue°) del experimento uno se analizaron con el procedimiento GLM del programa SAS (SAS, 2004); para el experimento dos y tres las variables de calidad, pH, color, y capacidad de retención de agua (CRA) se analizaron con PROC MIXED con medidas repetidas del programa SAS (SAS, 2004). Se consideró la estructura de covarianza CS (Compound Symetry). Las medias de mínimos cuadrados se compararon con la prueba de Tukey.

Alimentación

La dieta experimental fue formulada para ser representativa de la región donde se da la finalización de ganado bovino, la cual cubrió los requerimientos de acuerdo con las tablas de NRC (2000; Cuadro 1); la dieta fue esencialmente la misma para los tres experimentos. El alimento residual fue colectado y pesado antes de la alimentación de la mañana, lo que sirvió para cuantificar el consumo y así ajustar el alimento ofrecido diario. La dieta se suministró dos veces al día (8:00 y 16:00 h).

La composición de la pre-mezcla mineral fue proteína 56% (equivalente del NNP de la urea); Calcio, 19.60%; Fósforo, 2.10 %; Magnesio, 0.70%; Cloro, 10%; Potasio, 1%; Azufre, 0.11%; Manganeso, 1250 ppm; Zinc, 1800 ppm; Hierro, 815 ppm; Cobre, 500 ppm; Yodo, 64 ppm; Selenio, 20 ppm; Cobalto, 10 ppm; Lasolacida, 1,500 ppm; Vitamina, A 300,000 UI; Vitamina D, 100,000 UI; y Vitamina E, 500 UI.

La vitamina E que fue utilizada para suplementación tenía una concentración de 500 UI g⁻¹ (Laboratorio Bayer), por lo que se utilizaron 2, 4 y 6 g para lograr una concentración de 1,000 (experimento uno), 2,000 (experimento dos) y 3,000 UI animal⁻¹ día⁻¹ (experimento tres). La vitamina E suplementaria fue colocada en la parte superior del alimento suministrado en la mañana, poniendo un poco de melaza para asegurar su ingestión.

Cuadro 1. Ingredientes utilizados y composición de la dieta para la finalización de los bovinos.

Ingrediente	Base seca, %
Maíz	42.15
Barredura de pan	24.60
Paja de cebada	22.91
Pasta de soya	7.93
Pre-mezcla mineral	2.01
Bicarbonato de calcio (buffer)	0.40
Composición nutricional	Valor
Materia seca, %	89.77
Energía neta de mantenimiento, Mcal kg ⁻¹	1.79
Energía neta de ganancia, Mcal kg ⁻¹	1.16
Proteína cruda, %	13.13
Fibra cruda, %	11.16
Calcio, %	0.60
Fósforo, %	0.31
Potasio, %	1.01
Relación Ca:P	1.94:1

Obtención de la muestras

Los animales fueron sacrificados en un rastro comercial al día siguiente de finalizar cada experimento. Las muestras para el análisis de carne se tomaron del músculo *Longissimus dorsi* entre la 12ª y 13ª costilla de cada media canal. Las chuletas se identificaron y se colocaron en bolsas de plástico, y fueron refrigeradas a una temperatura de 4 °C.

Variables de respuesta

Las variables de respuesta fueron: rendimiento de la canal, capacidad de retención de agua (CRA; método de cloruros; Guerrero *et al.*, 2002), pH (potenciometría) y color. Para obtener el color de la carne se midió la luminosidad (L^*), el índice de color a^* y b^* (colorímetro Hunter Lab.; Minolta, 1993), en el músculo *Longissimus dorsi*. Con los cuales se obtuvieron la concentración de color (croma) y el ángulo de tono (hue°).

La concentración de color (croma: 0 a 360) y el ángulo de tono (hue°) se obtuvieron con las siguientes ecuaciones (Minolta, 1993):

$$\text{Croma} = (a^*)^2 + (b^*)^2$$

$$\text{Hue}^\circ = \tan^{-1} (b^*/a^*)$$

Donde a^* es un índice de color que va de verde (-) a rojo (+), y b^* es el índice de color que va de azul (-) a amarillo (+).

Análisis de laboratorio para la calidad de la carne

Los análisis se realizaron en el laboratorio de Bioquímica de Macromoléculas de la Universidad Autónoma Metropolitana, siguiendo la metodología desarrollada por Guerrero *et al.* (2002). En el experimento uno sólo se evaluó pH y color como características de la canal. La evaluación se realizó al primer día post-sacrificio, tomándose las lecturas de las muestras de carne por triplicado.

Para los experimentos dos y tres se midió pH, capacidad de retención de agua (CRA) y color en los días uno, ocho y decimo sexto post-sacrificio, con el mismo procedimiento utilizado en el experimento uno.

3.5 Resultados y discusión

Los resultados del experimento uno se presentan en el Cuadro 2. El rendimiento en canal y el pH no fueron afectados ($p>0.34$) por la dosis de vitamina E, por el tiempo de suministro de la vitamina o por su interacción. En cambio, las variables L^* , a^* , b^* , croma y hue° fueron afectadas ($p<0.01$) por los factores estudiados y su interacción. La interacción se manifestó en que la vitamina E funcionó únicamente en aquellos toretes alimentados con la dosis de $1,000 \text{ UI día}^{-1}$ durante 63 días, en donde la canal tuvo valores más altos ($p<0.05$) de luminosidad (L^*), índice de verde a rojo (a^*), índice de azul a amarillo (b^*), intensidad del color (croma); y menor ($p<0.05$) ángulo de tono (hue°) que el resto de las canales de los toretes que recibieron el otro tratamiento.

Hill *et al.* (1990) tampoco encontraron beneficios en el rendimiento en canal con el suministro de $1,000 \text{ UI de vitamina E animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ durante 100 días. Esto contrasta con los resultados de Miller y Brzezinska-Slebodzinska (1993), quienes lograron mejores rendimientos en canal utilizando 250, 500 ó $1,500 \text{ UI de vitamina E animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en la dieta de bovinos.

El mejoramiento de la calidad de la canal de bovinos suplementados con vitamina E también fue demostrado por Liu *et al.* (1996b), en un tiempo menor de suplementación (42 días), pero con el doble de vitamina E en comparación con la utilizada en este estudio. En el mismo estudio pero con otro experimento, estos investigadores también mejoraron la calidad de la canal con una dosis menor de vitamina E ($500 \text{ UI animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$), durante un periodo de tiempo mayor (126 días).

Los resultados del experimento dos se presentan en el Cuadro 3. De las variables estudiadas en este experimento, únicamente el rendimiento de la canal no fue afectado por la dosis de vitamina E suplementaria ($p>0.21$), lo cual coincide con los resultados obtenidos por varios autores (Morrisey *et al.*, 1994; Liu *et al.*, 1995; Wulf *et al.*, 1995; Liu *et al.*, 1996c; Sanders *et al.*, 1997 Macit *et al.*, 2003).

Cuadro 2. Efecto de los días de suplementación (37, 49 y 63) de 1, 000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ en la calidad de carne bovina y rendimiento de la canal.

Variables ^y	Días suplementados ^z						Probabilidad			
	37		49		63					
	Testigo	Vit.E	Testigo	Vit.E	Testigo	Vit.E	EEM ^x	Vit.E	Días	Vit×Día
Rend	59.67 ^a	59.54 ^a	59.84 ^a	59.79 ^a	60.74 ^a	60.74 ^a	0.46	0.48	0.20	0.79
pH	5.51 ^a	5.52 ^a	5.52 ^a	5.52 ^a	5.52 ^a	5.52 ^a	0.01	0.34	0.59	0.94
L*	38.00 ^b	38.05 ^b	37.92 ^b	38.28 ^b	37.85 ^b	39.32 ^a	0.12	<.01	<.02	<.01
a*	15.79 ^b	15.77 ^b	15.78 ^b	15.79 ^b	15.77 ^b	18.42 ^a	0.02	<.01	<.01	<.01
b*	9.38 ^b	9.36 ^b	9.40 ^b	9.40 ^b	9.40 ^b	9.90 ^a	0.02	<.01	<.01	<.01
croma	18.37 ^b	18.34 ^b	18.37 ^b	18.37 ^b	18.36 ^b	20.91 ^a	0.01	<.01	<.01	<.01
hue°	0.34 ^a	0.34 ^a	0.34 ^a	0.34 ^a	0.34 ^a	0.28 ^b	0.01	<.0001	<.01	<.01

^zMedias sin una letra en común, dentro de hileras, son diferentes ($p<0.05$).

^yRend = rendimiento en %; L* = luminosidad (0-100%; L = 0 indica negro, L = 100 indica blanco); a* = negativos indican verde y positivos indican rojo; b* = valores negativos indican azul y positivos indican amarillo; croma = intensidad del color (0-60); hue° = ángulo de tono (0-360°).

^xEEM = error estándar de la media.

Las características de la calidad de la carne (pH, color y capacidad de retención de agua) fueron afectadas por la vitamina E, días post-sacrificio y su interacción. La interacción se manifestó en que el pH, color y capacidad de retención de agua evaluadas al primer día post-sacrificio, no estuvieron afectadas por el nivel de vitamina E suplementaria; sin embargo, las medias de cuadrados mínimos de estas características evaluadas al octavo y décimo-sexto día fueron diferentes ($p<0.01$). En un estudio realizado por Yin y Faustman (1993) tampoco encontraron diferencias de pH en la carne al primer día post-sacrificio de animales suplementados con y sin vitamina E. Hui *et al.* (2006)

indicaron que la carne inicia el proceso de descomposición a un pH de 6, similar al encontrado en la carne del grupo testigo al día 8 y 16 post-sacrificio.

Cuadro 3. Rendimiento y calidad de carne de bovinos suplementados con 2,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ durante 77 días.

Variable ^y	Días post-sacrificio ^z							Probabilidad		
	1		8		16		EEM ^x			
	Testigo	Vit. E	Testigo	Vit.E	Testigo	Vit.E			Vit.E	Días
Rend	59.95 ^a	59.01 ^a					0.59	0.21		
pH	5.52 ^c	5.52 ^c	5.99b	5.53 ^c	6.51 ^a	5.53 ^c	0.01	<.01	<.01	<.01
L*	37.26 ^a	37.18 ^a	28.34 ^d	36.90 ^b	24.23 ^e	36.53 ^c	0.02	<.01	<.01	<.01
a*	16.65 ^c	16.15 ^c	17.53 ^b	16.71 ^c	19.66 ^a	16.17 ^c	0.06	<.01	<.01	<.01
b*	7.78 ^e	7.79 ^e	10.21 ^b	9.08 ^d	12.67 ^a	9.31 ^c	0.04	<.01	<.01	<.01
croma	18.38 ^e	18.31 ^e	20.29 ^b	19.02 ^d	23.39 ^a	19.53 ^c	0.06	<.01	<.01	<.01
hue°	0.21 ^c	0.23 ^c	0.33 ^b	0.29 ^c	0.39 ^a	0.28 ^c	0.01	<.01	<.01	<.01
CRA	18.71 ^c	18.71 ^c	69.88 ^b	25.16 ^c	75.84 ^a	27.51 ^c	0.04	<.01	<.01	<.01

^z Medias sin una letra en común, dentro de hileras, son diferentes ($p < 0.05$).

^y Rend = rendimiento en %; L* = luminosidad (0-100%; L = 0 indica negro, L = 100 indica blanco); a* = negativos indican verde y positivos indican rojo; b* = valores negativos indican azul y positivos indican amarillo; croma = Intensidad del color (0-60); hue° = ángulo de tono (0-360°).

^x EEM = error estándar de la media.

La capacidad de retención de agua evaluada al día 8 y 16 post-sacrificio fue menor ($p < 0.05$) en la carne de animales suplementados con vitamina E. Comstock *et al.* (1991) indicaron que la capacidad de retención de agua es un factor importante en la vida de anaquel de la carne, y encontraron que a mayor concentración de vitamina E en músculo hay menor pérdida de agua en la carne (humedad estable), lo cual le da apariencia de fresca.

Liu *et al.* (1996a), Arnold *et al.* (1992) y Arnold *et al.* (1993a), publicaron resultados similares a los obtenidos en este trabajo para intensidad de color (croma) en la carne de bovinos suplementados con vitamina E y evaluándose a 6 y 12 días post-sacrificio. Sherbeck *et al.* (1995) y Faustman *et al.* (1998b) reportaron que 2,000 UI animal⁻¹ día⁻¹ de vitamina E suplementada durante 100 días, estabilizan el color por más de 20 días en carne de bovinos.

Ledwar (1985) encontró que la luminosidad de la carne se mejora si se suplementan los animales con 1,500 UI de vitamina E, durante periodos igual o mayor que 90 días; esto coincide con los resultados encontrados en este trabajo, ya que la luminosidad de la carne de los animales testigo disminuyó drásticamente al incrementar el tiempo de anaquel, en tanto que la disminución de la luminosidad de carne de animales suplementados con vitamina E fue menor. De forma similar, Krzywicki (1979; 1500 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ durante 65 días), Shaefer *et al.* (1995; 2,600 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ durante 45 días) y Liu *et al.* (1996b; 2,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ durante 60 días) observaron que la carne de animales suplementados con vitamina E perdió menos luminosidad que la carne de los animales no suplementados.

El ángulo de tono (hue°) evaluado al primer día post-sacrificio no fue diferente entre tratamientos, pero sí ($p<0.01$) cuando se evaluó en los días 8 y 16 post-sacrificio, lo cual coincide con los resultados obtenidos por Liu *et al.* (1996b). Greene *et al.* (1971), Williams *et al.* (1992) y Macit *et al.* (2003) indicaron que controlando la oxidación se evitan los cambios de la mioglobina a oximioglobina y se estabiliza el color por mayor tiempo, por lo que se aumenta la vida de anaquel cuando se utilizan antioxidantes como la vitamina E.

Los resultados del análisis de varianza del experimento tres se muestran en el Cuadro 4. La suplementación con vitamina E, carnitina o ambas no afectó ($p>0.15$) el rendimiento en canal. Esto confirma los resultados de la suplementación con vitamina E obtenidos en los experimentos uno y dos en el rendimiento en canal. Shimada *et al.* (2004) indicaron que la carnitina no genera mayores rendimientos de la canal, pero disminuye la deposición de ácidos grasos en músculo. De acuerdo con Bremer (1983) y Vaz y Wanders (2002), la carnitina es responsable del transporte de ácidos grasos al interior de la mitocondria (encargadas de producir energía); este proceso permite tomar energía de la grasa y por ende evita la deposición de la misma en músculo, lo

que origina que las canales tengan una mayor masa muscular y por lo tanto mayor rendimiento, lo cual no fue posible observar en el presente experimento.

El patrón de comportamiento de las características de la canal (pH, color y CRA) fue afectado ($p<0.01$) por la vitamina E, el día post-sacrificio y la interacción. Los promedios para estas variables se encuentran en el Cuadro 5. La CRA también fue afectada ($p<0.01$) por las interacciones carnitina x día post-sacrificio y vitamina E x carnitina x día post-sacrificio.

Cuadro 4. Nivel de significancia (probabilidades) de los efectos y las interacciones en las variables estudiadas.

Variable ^z	Probabilidad						
	Vit. E	Carnitina	Vit. E × Carnitina	Día	Carnitina x Día	Vit. E x Día	Vit. E × Carnitina × Día
Rend	0.15	0.07	0.73				
pH	<0.01	<0.15	0.55	<0.01	0.69	<0.01	0.50
L*	<0.01	0.29	0.29	<0.01	0.35	<0.01	0.35
a*	<0.01	0.63	0.32	<0.01	0.09	<0.01	0.24
b*	<0.01	0.42	0.45	<0.01	0.48	<0.01	0.23
Croma	<0.01	0.80	0.47	<0.01	0.08	<0.01	0.36
hue°	<0.01	0.39	0.14	<0.01	0.22	<0.01	0.12
CRA	<0.01	0.06	0.12	<0.01	0.01	<0.01	0.01

^zRend = rendimiento en %; L* = luminosidad (0-100%; L = 0 indica negro, L = 100 indica blanco); a* = negativos indican verde y positivos indican rojo; b* = valores negativos indican azul y positivos indican amarillo; croma = Intensidad del color (0-60); hue° = ángulo de tono (0-360°).

El efecto de la suplementación con 3,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹, y evaluado a 1, 8 y 16 días post-sacrificio en las características de la carne fue igual al que se encontró suplementando 2,000 UI animal⁻¹ día⁻¹ en el experimento dos. No hubo diferencias ($p>0.5$), en pH, color y CRA al día uno post-sacrificio, pero sí a los días 8 y 16 ($p<0.01$), observándose un pH más estable, menor cambio de color y menor pérdida de agua (CRA) en la carne de los animales suplementados con vitamina E, independientemente si los animales fueron suplementados o no con R-carnitina (Figura 4). Este patrón también fue observado por Faustman y Cassens (1990a), Faustman y Cassens (1990b), Faustman y Cassens (1991), Arnold *et al.* (1993b) y Sanders *et al.* (1997). El pH de la carne de los animales suplementados con vitamina E se

mantuvo relativamente constante con ligeros incrementos (rango = 0.15), en contraste con el pH de la carne de los animales no suplementados, que aumentó significativamente (rango = 1.21), independientemente si se adicionó o no R-carnitina a la dieta de los animales. Resultados similares fueron reportados por Hill y Williams (1993).

Los cambios en luminosidad, intensidad del color (croma) y ángulo de tono (hue°) de la carne entre el primer y el décimo-sexto día post-sacrificio (-12.93 vs -1.91; 5.68 vs 1.51; 0.16 vs 0.06, sin y con vitamina E suplementaria, respectivamente) coincide con los resultados reportado por Yin y Faustman (1993) y por Lanari *et al.* (1993) para luminosidad; y con los reportados por Hunt (1980), Kropf *et al.* (1986), Gaber *et al.* (1992), Starling *et al.* (1995) y Liu *et al.* (1996a), y para croma y hue°; independientemente de la suplementación con R-carnitina.

La adición de R-carnitina a la dieta de los animales (testigo y a la suplementada con vitamina E) no tuvo efecto ($p>0.5$) en las características de la canal evaluadas post-sacrificio (medias de cuadrados mínimos iguales), excepto por la interacción de carnitina x día post-sacrificio y vitamina E x carnitina x día post-sacrificio (Figura 5). Sin embargo, éstas no se consideran relevantes.

Cuadro 5. Rendimiento y calidad de la carne de bovinos suplementados con 3,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ y R-carnitina (500 g ton⁻¹ alimento) durante 55 días.

Variable ^z	Días Post-sacrificio												EEM ^x
	1				8				16				
	Testigo	Carnitina	Vit. E	Vit. E + Carnitina	Testigo	Carnitina	Vitamina E	Vit. E+ Carnitina	Testigo	Carnitina	Vit. E	Vit. E + Carnitina	
Rend	57.39	55.62	56.06	54.84									
pH	5.56	5.58	5.51	5.50	5.98	5.98	5.60	5.60	6.77	6.78	5.66	5.68	0.01
L*	37.20	37.22	38.42	38.42	26.59	28.31	37.8	37.8	24.27	24.28	36.51	36.51	0.48
a*	16.46	16.47	16.45	16.51	17.70	17.65	16.55	16.46	19.64	19.81	16.45	16.49	0.05
b*	7.11	7.13	7.14	7.13	10.27	10.22	8.83	8.83	12.91	12.94	9.67	9.67	0.02
Croma	17.93	17.95	17.93	17.98	20.46	20.39	18.75	18.72	23.61	23.64	19.44	19.43	0.04
hue°	0.22	0.22	0.22	0.22	0.33	0.33	0.28	0.29	0.38	0.38	0.28	0.28	0.05
CRA	18.81	18.78	18.38	18.41	69.83	69.84	25.06	25.06	75.84	75.83	25.39	25.42	0.14

^zRend = rendimiento en %; L* = luminosidad (0-100%; L = 0 indica negro, L = 100 indica blanco); a* = negativos indican verde y positivos indican rojo; b* = valores negativos indican azul y positivos indican amarillo; croma = Intensidad del color (0-60); hue° = ángulo de tono (0-360°).

^yEEM = error estándar de la media.

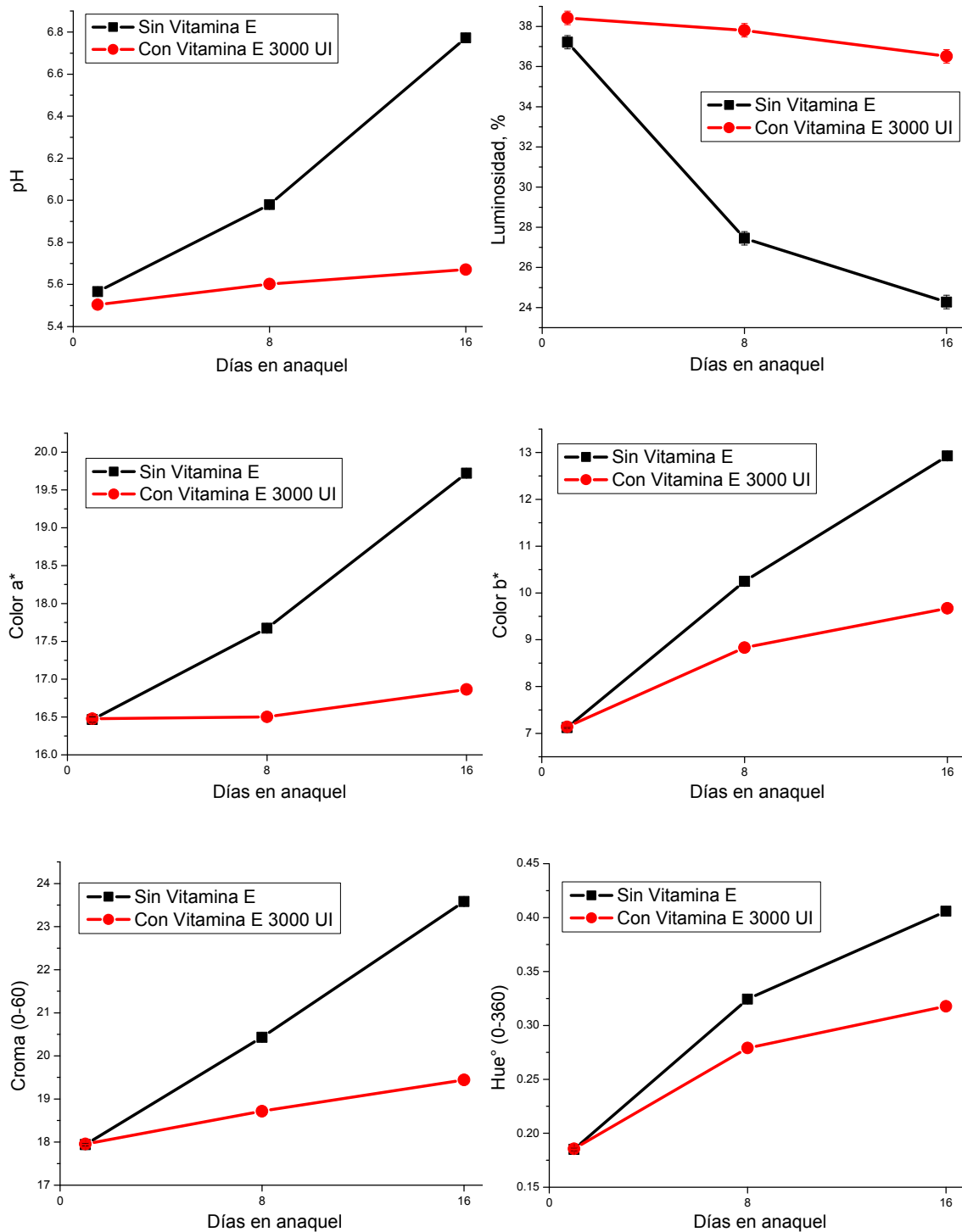


Figura 4. Influencia de la suplementación de 3, 000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ en la calidad de la carne (pH, luminosidad, color a, color b, croma y hue°) de bovinos a diferentes días en anaquel (1, 8 y 16).

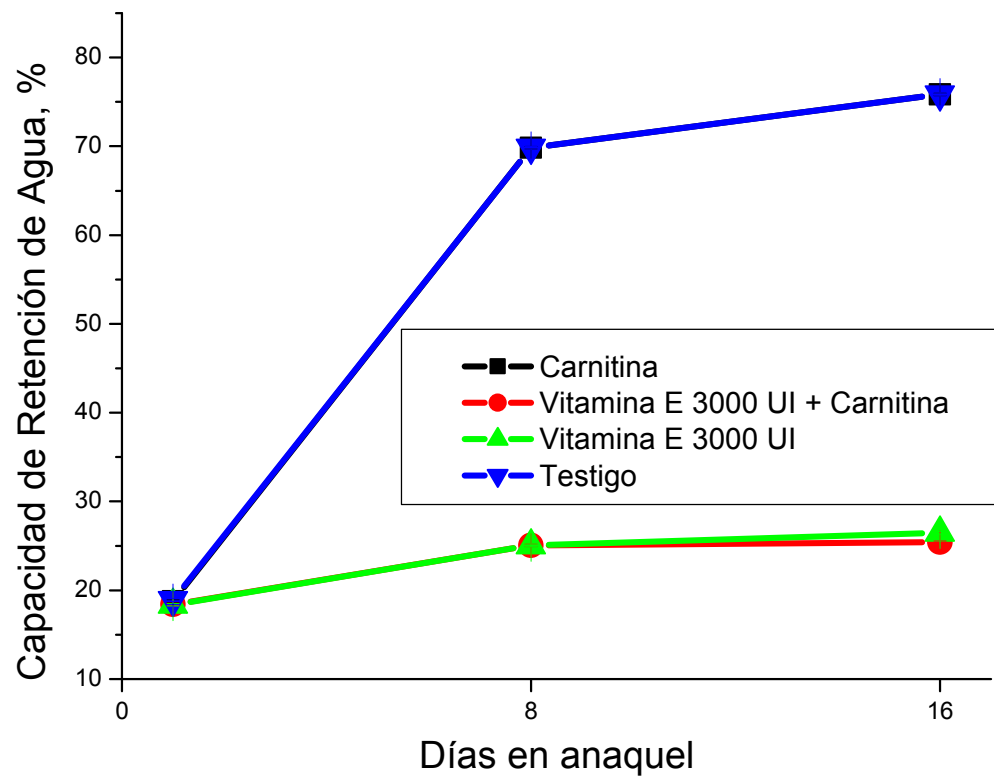


Figura 5. Efecto de la suplementación de 3,000 UI de vitamina E $\text{animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y R-carnitina en la capacidad de retención de agua (CRA) de la carne a diferentes días en anaquel (1,8 y 16).

3.6 Conclusiones

La suplementación con 1,000, 2,000 ó 3,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ durante un periodo menor que 77 días, no modifica el rendimiento de la canal; sin embargo, las características de la canal mejoraron a medida que se aumentó la dosis y tiempo de suplementación, cuando se evaluaron a 8 y 16 días post-sacrificio, sin haber diferencia entre las dosis más altas.

El color de la carne evaluado al día 1 post-sacrificio fue mejorado con la suplementación de 1,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ durante un periodo de 63 días, pero no con 2,000 y 3,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ durante 77 y 55 días.

La adición de vitamina E a la dieta de los bovinos (2,000 ó 3,000 UI animal⁻¹ día⁻¹) conserva por más tiempo las características deseables de la canal (pH, color y capacidad de retención de agua). Se esperan resultados similares en estas características de la canal al adicionar 2,000 ó 3,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹).

Se recomienda un nivel mínimo de suplementación con 2,000 UI animal⁻¹ día⁻¹ por un periodo de al menos 60 días, para mejorar las características y prolongar la vida en anaquel de la carne bovina.

3.7 Literatura citada

- Acevedo, S. M. 2004. Evaluación de los atributos principales de la calidad de la carne de res de origen local e importada según se ofrece al consumidor. Tesis de Maestría. Universidad de Puerto Rico, Puerto Rico. pp: 18-28.
- Arnold, R. N., K. K. Scheller, S. C. Arp, S. N. Williams, D. R. Buege, and D. M. Scheller. 1992. Effect of long or short-term feeding of α -tocopheryl acetate to Holstein and crossbred beef steers on performance, carcass characteristics, and beef color stability. *Journal of Animal Science* 70: 3055-3068.
- Arnold, R. N., K. K. Scheller, S. C. Arp, S. N. Williams, and D. M. Schaefer. 1993a. Dietary α -tocopheryl acetate enhances beef quality in Holstein and beef breed steers. *Journal Food Science* 58: 28-36.

- Arnold, R. N., S. C. Arp, K. K. Sheller, S. N. Williams, and D. M. Schaefer. 1993b. Tissue equilibration and subcellular distribution of vitamin E relative to myoglobin and lipid oxidation in displayed beef. *Journal of Animal Science* 71: 105-118.
- Bremer, J. 1983. Carnitine—metabolism and functions. *Physiological Reviews* 63(4): 1420-1480.
- Clark, J. E. 1998. Taste and flavour: their importance in food choice and acceptance. *Proceedings of the Nutrition Society* 57: 639-643.
- Comstock, C. J., R. A. Roeder, G. T. Scheling, C. J. Brekke, J. C. Miller, R. P. Richard, and B. S. Dalke. 1991. Vitamin E supplementation effects on fresh beef storage properties and shelf-life. *Proceedings of the Nutrition Society* 42: 161-175.
- Drake, D. J. 2007. Understanding and improving beef cattle carcass quality. [www.http://anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/8130](http://anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/8130). Consultado el 12 de diciembre de 2007.
- Faustman, C., W. K. M. Chan, D. M. Schaefer, and A. Havens. 1998a. Beef color update: the role for vitamin E. *Journal of Animal Science* 76: 1019-1026.
- Faustman, C., R. G. Cassens., D. M. Shaefer, D. R. Buege, S. N. Williams, and K. K. Sheller. 1998b. Improvement of pigment and lipid stability in Holstein steer beef by dietary supplementtation with vitamin E. *Journal Food Science* 54: 858-864.
- Faustman, C., and R. G. Cassens. 1990a. The biochemical basis for discoloration in fresh meat. *Journal Muscle Foods* 1: 217-228.
- Faustman, C., and R. G. Cassens. 1990b. The influence of aerobic metmyoglobin reducing capacity on color stability of beef. *Journal Food Science* 55: 1278-1289.
- Faustman, C., and R. G. Cassens. 1991. The effect of cattle breed and muscle type on discoloration and various biochemical parameters in fresh beef. *Journal of Animal Science* 69: 184-199.
- Gaber, M. J., R. A. Roeder, P. M. Davidson, J. C. Miller, R. P. Richard, and G. T. Schelling. 1992. Dose response effects of vitamin E supplementation on fresh beef storage properties and shelf-life. *Journal of Animal Science* 70: 217-228.
- García, M. E. 1984. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen (Para adaptarlas a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. México. 90 p.
- Greene, B. E., I. Hsin, and M. C. Ziper. 1971. Retardation of oxidative color changes in raw ground beef. *Journal Food Science* 36: 940-957.

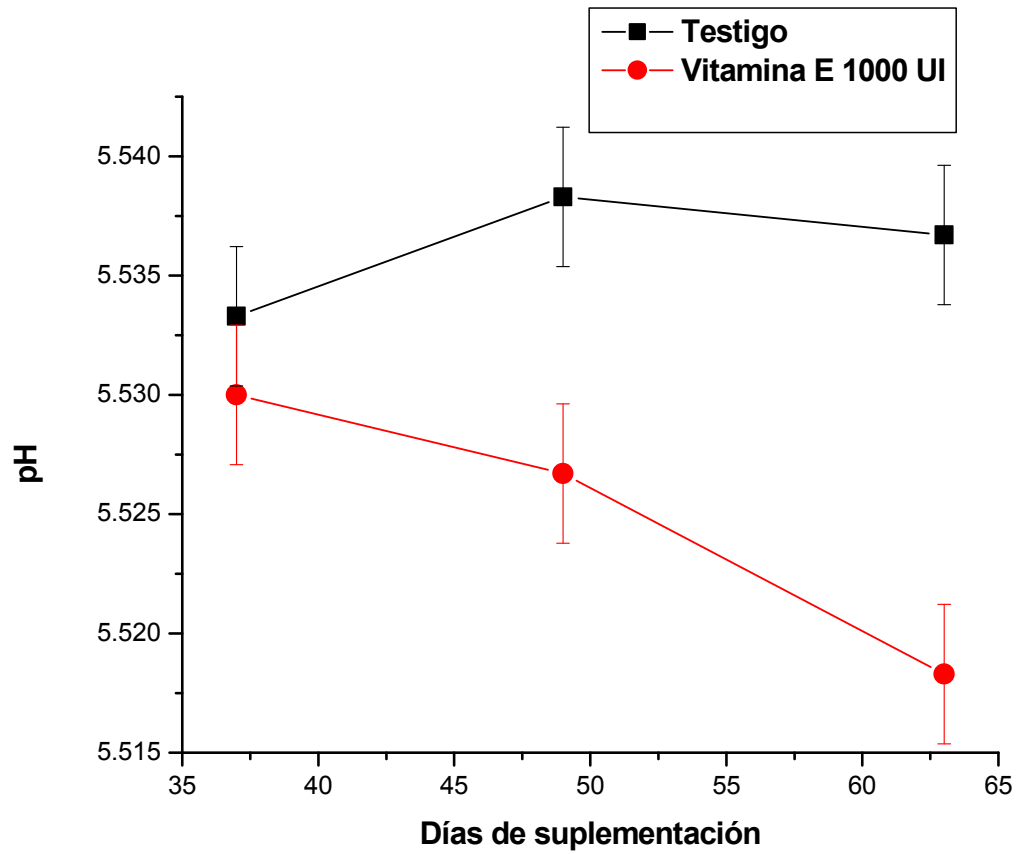
- Guerrero, I. L., E. Ponce A., y L. Pérez C. 2002. Curso práctico de tecnología de carnes y pescado. Manual de prácticas de laboratorio. Universidad Autónoma Metropolitana. México, D.F. 171 p.
- Hill, G. M., R. L. Stuart, P. R. Utley, and J. O. Reagan. 1990. Vitamin E effects on finishing steer performance. *Journal of Animal Science* 68: 557-566.
- Hill, G. M., and S. E. Williams. 1993. Vitamin E in beef nutrition and meat quality. *In: Minnesota Nutrition Proceedings Conference*. J. Linn, G. Wagner, and P. DeSteno (eds.) University of Minnesota. pp: 197-240.
- Hui, Y. H., I. Guerrero L., y R. M. Rosmini. 2006. Ciencia y Tecnología de Carnes. Limusa. México. 634 p.
- Hunt, M. C. 1980. Meat color measurements. *In: Reciprocal Meat Conference Proceedings* 33: 41-54.
- Jeremiah, L. E., Z. L. Carpener, and G. C. Smith. 1972. Beef color as related to consumer acceptance and palatability. *Journal Food Science* 37: 476-489.
- Kropf, D. H., M. C. Hunt, and D. Piske. 1986. Color formation and retention in fresh meat. *In: Proceedings of the Meat Industry Research Conference*. National Live Stock and Meat Board, Chicago, IL. pp: 62-63.
- Krzywicki, K. 1979. Assessment of relative content of myoglobin, oximyoglobin and metmyoglobin at the surface of beef. *Meat Science* 3: 1-9.
- Lanari, M. D., R. G. Cassens, D. M. Shaefer, and K. K. Scheller. 1993. Dietary vitamin E enhances color and display life of frozen beef from Holstein steers. *Journal Food Science* 58: 701-712.
- Lawrie, R. A. 1997. Ciencia de la Carne. 2ª ed. Acribia. Zaragoza, España. pp: 9-25.
- Ledward, D. A. 1985. Post-slaughter influences on the formation of metmyoglobin in beef muscles. *Meat Science* 15: 149-154.
- Liu, Q., M. C. Lanari, and D. M. Schaefer. 1995. A review of vitamin E supplementation for improvement of beef quality. *Journal of Animal Science* 73: 3131-3140.
- Liu, Q., K. K. Scheller, and D. M. Shaefer. 1996a. Technical note: Simplified procedure for vitamin E determination in beef muscle. *Journal of Animal Science* 74: 2406-2410.
- Liu, Q., K. K. Scheller, S. C. Arp, D. M. Shaefer, and M. Frigg. 1996b. Color coordinates for assessment of dietary vitamin E effects on beef color stability. *Journal of Animal Science* 74: 106-116.
- Liu, Q., K. K. Scheller, S. C. Arp, D. M. Shaefer, and S. N. Williams. 1996c. Titration of fresh meat color stability and malondialdehyde development

- with Holstein steers fed vitamin E-supplemented diets. *Journal of Animal Science* 74: 117-126.
- Macit, M., V. Aksakal, E. Emsen, N. Esenbuga, and M. I. Aksu. 2003. Effects of vitamin E supplementation on fattening performance, noncarcass components and retail cut percentages, and meat quality traits of awassi lambs. *Meat Science* 64: 1-6.
- McDowell, L. R., S. N. Williams, N. Hidirolou, C. A. Njeru, G. M. Hill, L. Ochoa, and N. S. Wilkinson. 1996. Vitamin E supplementation for the ruminant. *Animal Feed Science* 60: 273-196.
- Miller, J. K., and E. Brzerinska-Sleobodzinska. 1993. Oxidative stress, antioxidants and animal function. *Journal Dairy Science* 73: 2812-2823.
- Minolta, 1993. Precise color communication. *Color Control from Feeling to Instrumentation*. Minolta Camera, Ltd., N. J. Ramsey. 59 p.
- Mitsumoto, M., R. N. Arnold, D. M. Schaefer, and R. G. Cassens. 1993. Dietary versus post-mortem supplementation of vitamin E on pigment and lipid stability in ground beef. *Journal of Animal Science* 71: 1812-1829.
- Morrissey, P. A., D. J. Buckley, P. A. J. Sheehy, and F. J. Monahan. 1994. Vitamin E and quality meat quality. *Proceedings Nutrition Society* 53: 289-295.
- NRC, 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. The National Academies Press, Washington, D.C. 344 p.
- Risvik, E. 1994. Sensory properties and preferences. *Meat Science* 36: 67-77.
- Sanders, S. K., J. B. Morgan, D. M. Wulf, J. D. Tatum, S. N. Williams, and G. C. Smith. 1997. Vitamin E supplementation of cattle and shelf-life of beef for the Japanese market. *Journal of Animal Science* 75: 2634-2640.
- SAS. 2004. *SAS/STAT User's guide*. (Release 9.1) SAS Publishing, Cary (NC).
- Shaefer, D. M., Q. Liu, C. Faustman, and M. C. Yin. 1995. Supranutritional administration of vitamins E and C improves oxidative stability of beef. *Journal Nutrition* 125: 1792-1801.
- Sherbeck, J. A., D. M. Wulf, J. B. Morgan, J. D. Tatum, G. C. Smith, and S. N. Williams. 1995. Dietary supplementation of vitamin E to feedlot cattle affects beef retail display properties. *Journal Food Science* 60: 250-262.
- Shimada, K., Y. Sakuma, J. Wakamatsu, M. Fukushima, M. Sekikawa, K. Kuchida, and M. Mikami. 2004. Species and muscle differences in L-carnitine levels in skeletal muscles based on a new simple assay. *Meat Science* 68: 357-362.
- Starling, R. D., D. L. Costill, and W. J. Fink. 1995. Relationships between muscle carnitine, age and oxidative status. *European Journal of Applied Physiology* 71(3): 143-146.

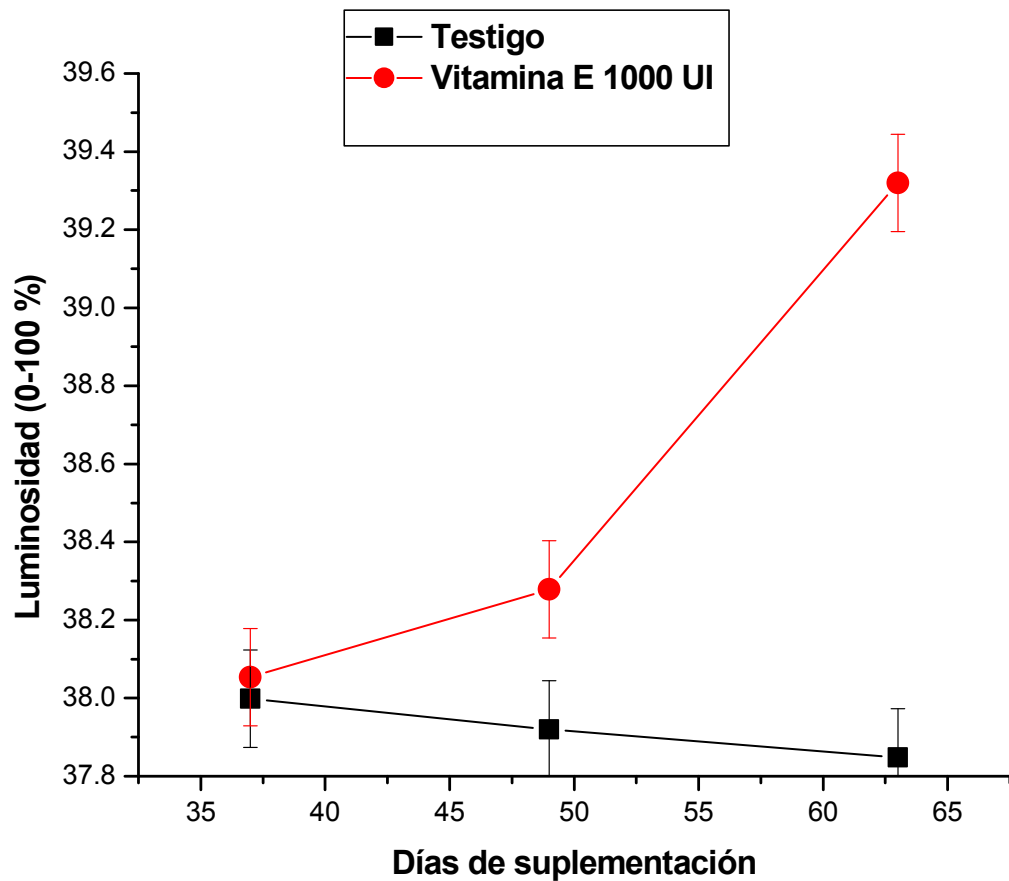
- Vaz, F. M., and R. J. Wanders. 2002. Carnitine biosynthesis in mammals. *Biochemical Journal* 361(3): 417-429.
- Williams, S. N., T. M. Fry, M. Frigg, D. M. Schaefer, K. K. Scheller, and Q. Liu. 1992. Vitamin E as an in Situ post- Mortem Pigment and Lipid Stabilizer in Beef. Pacific Northwest Animal Nutrition Conference. Spokane, WA. 149 p.
- Wulf, D. M., J. B. Morgan, S. K. Sanders, J. D. Tatum, G. C. Smith, and S. Williams. 1995. Effects of dietary supplementation of vitamin E on storage and caselife properties of lamb retail cuts. *Journal of Animal Science* 73: 399-405.
- Yin, M. C., and C. Faustman. 1993. The influence of temperature, pH and phospholipid composition upon the stability of myoglobin and phospholip: liposome model. *Journal Agriculture Food Chemical* 41: 853-871.

APÉNDICES

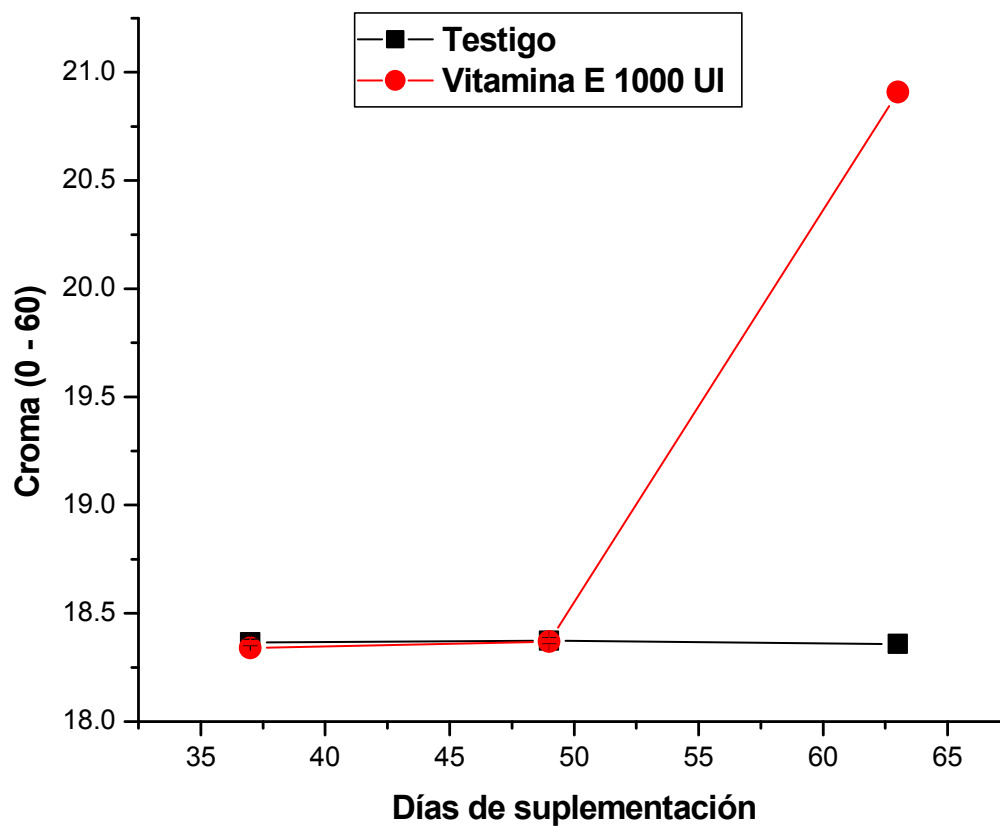
Apéndice 1. Efecto de los días de suplementación de 1,000 UI de vitamina E $\text{animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en relación al valor de pH en la carne (Experimento 1).



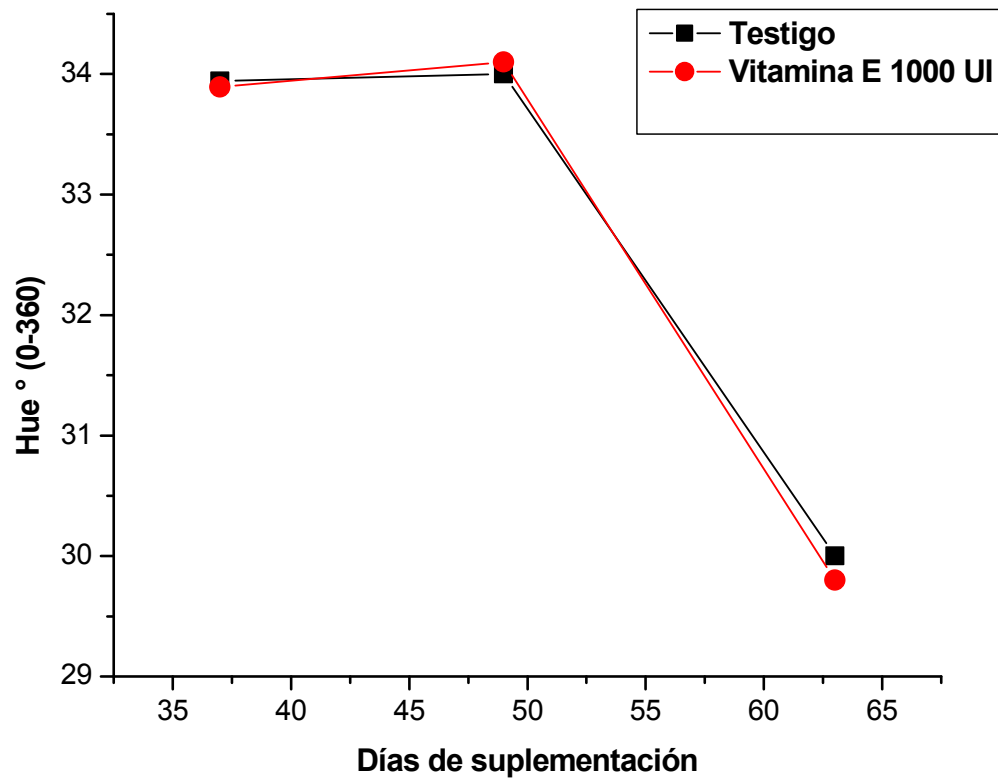
Apéndice 2. Efecto de los días de suplementación de 1,000 UI de vitamina E $\text{animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en relación con la luminosidad de la carne (Experimento 1).



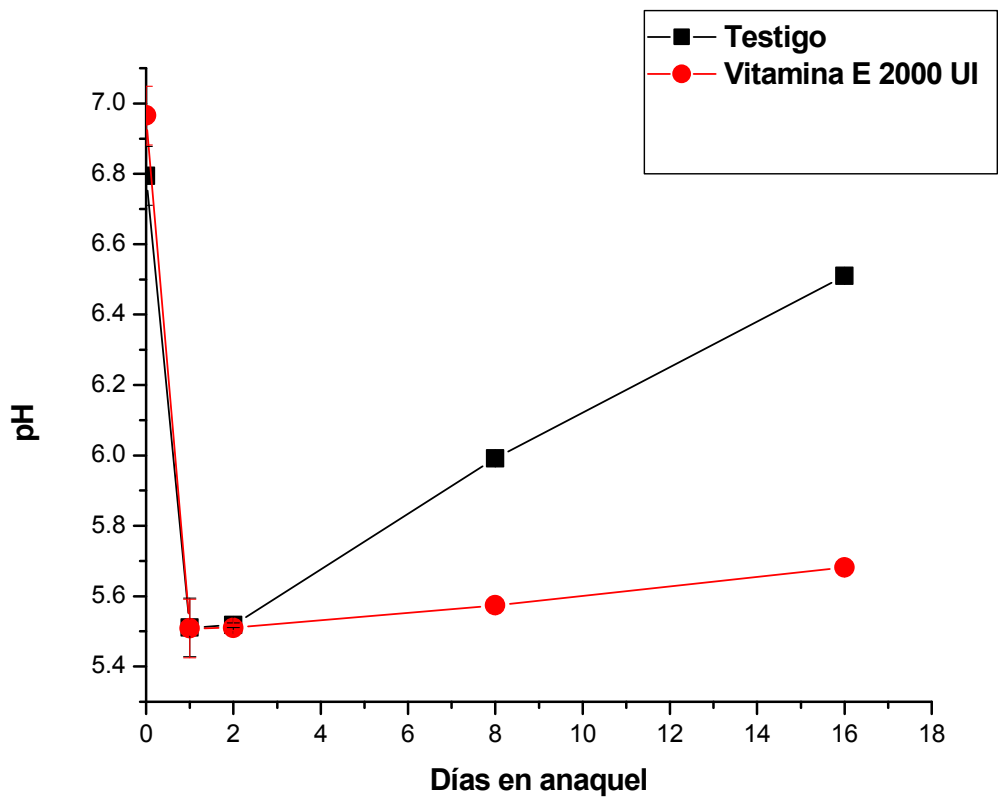
Apéndice 3. Efecto de los días de suplementación de 1,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ en relación con la intensidad del color de la carne (croma) (Experimento 1).



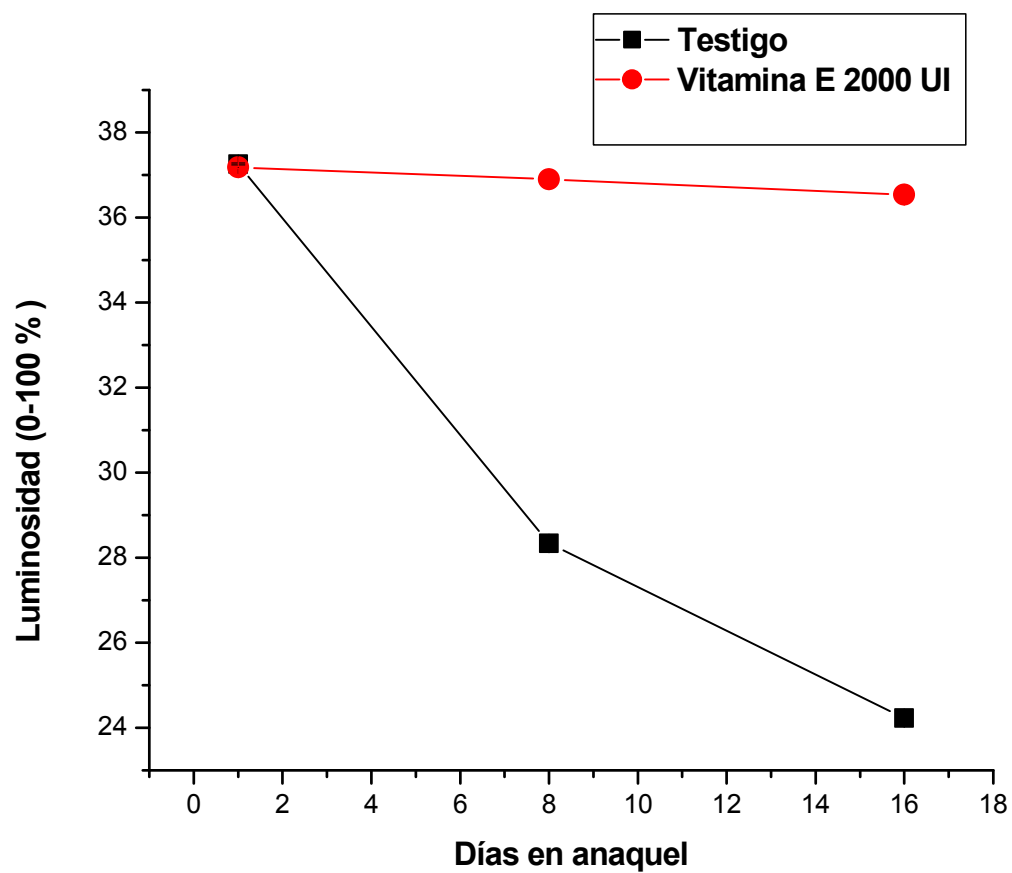
Apéndice 4. Efecto de los días de suplementación de 1,000 UI de vitamina E $\text{animal}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en relación con el ángulo de tono (hue°) en la carne (Experimento 1).



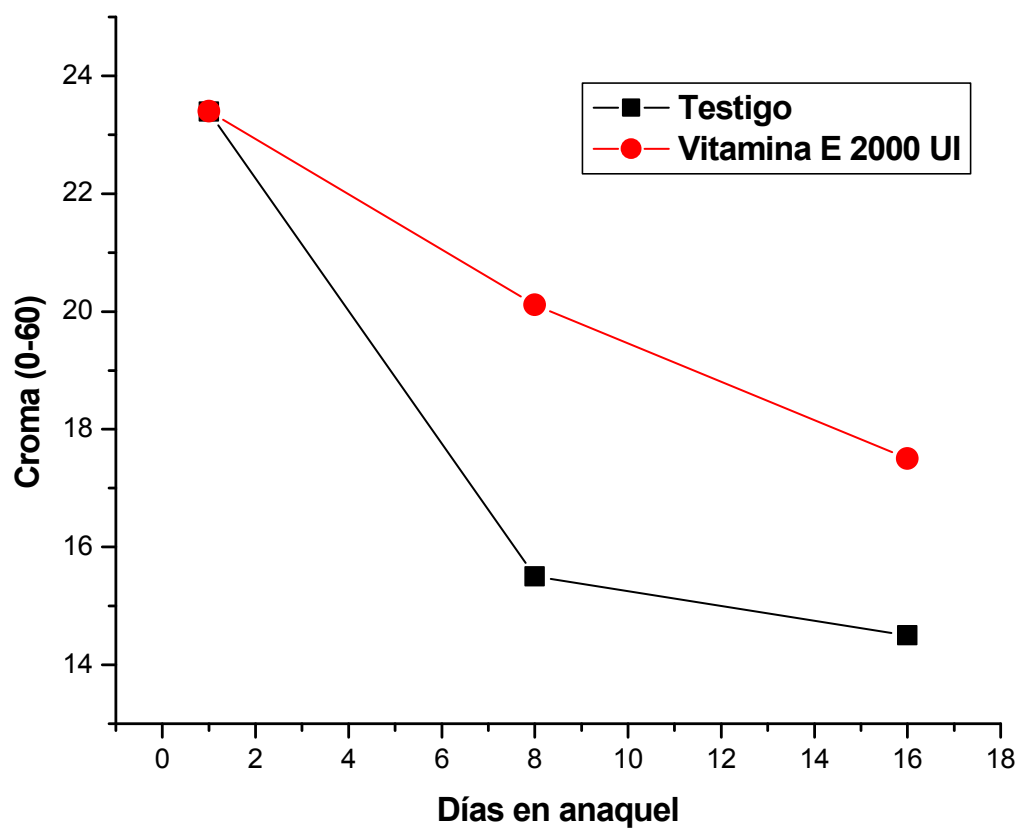
Apéndice 5. Efecto de la suplementación de 2,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ en el pH de la carne a diferentes días en anaquel (Experimento 2).



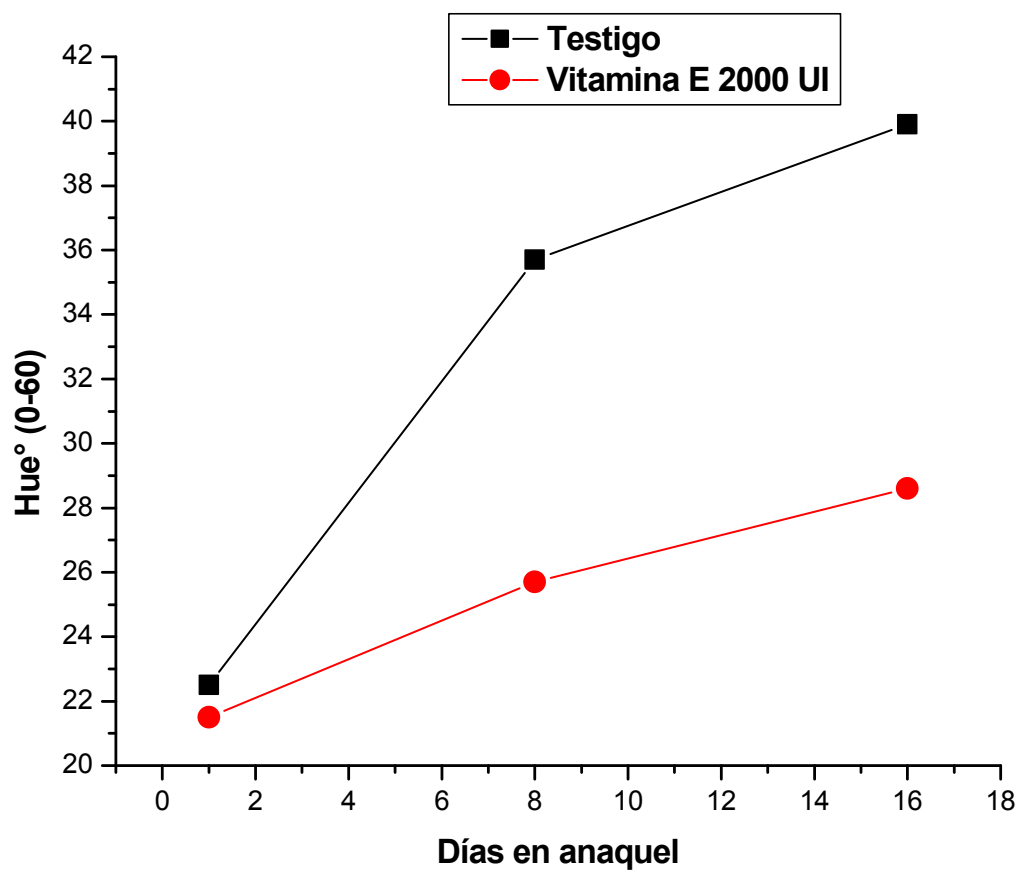
Apéndice 6. Efecto de la suplementación de 2,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ en la luminosidad de la carne a diferentes días en anaquel (Experimento 2).



Apéndice 7. Efecto de la suplementación de 2,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ en la intensidad del color de la carne (croma) a diferentes días en anaquel (Experimento 2).



Apéndice 8. Efecto de la suplementación de 2,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ en el ángulo de tono (hue°) de la carne a diferentes días en anaquel (Experimento 2).



Apéndice 9. Efecto de la suplementación de 2,000 UI de vitamina E animal⁻¹ día⁻¹ en la capacidad de retención de agua a diferentes días en anaquel (Experimento 2).

