



**Centro de Investigación en
Alimentación y Desarrollo, A.C.**

**IMPACTO DE LA SUPLEMENTACION DE ACIDO FERULICO SOBRE LA
CALIDAD DE LA CARNE DE BOVINOS COMERCIALES**

POR

Pedro Abraham Serna Guerrero

TESIS APROBADA POR LA
COORDINACIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS DE ORIGEN ANIMAL

Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRÍA EN CIENCIAS

Hermosillo, Sonora

Noviembre de 2012

APROBACIÓN

Los miembros del comité designado para revisar la tesis de Pedro Abraham Serna Guerrero, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias, dentro del programa de Maestría en Ciencias del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.



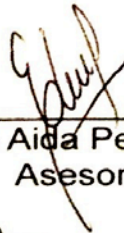
Dr. Humberto González Ríos
Director de tesis



M.C. Libertad Zamorano García
Asesor



M.C. Martín Valenzuela Meléndres
Asesor



Dra. Etna Aída Peña Ramos
Asesor



Dr. Ángel Emilio Aceves Díez
Asesor

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

La información generada en esta tesis es propiedad intelectual del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD). Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso especial del autor, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con autorización escrita del Director General del CIAD.

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos al CIAD, previa aprobación escrita del manuscrito en cuestión del director de tesis.



Dr. Ramón Pacheco Aguilar
Director General

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a dios por permitirme escribir estas líneas y por permitirme culminar con mis estudios de posgrado.

Agradezco a el CONACYT por el apoyo económico brindado durante la realización de este proyecto.

Agradezco al CIAD, esta institución de enorme calidad, que me brindó todo el apoyo durante mi estancia.

Quiero agradecerle a mi asesor de tesis, el Dr. Humberto González Ríos, por sus conocimientos invaluable que me brindo para llevar a cabo esta investigación, y sobretodo su gran paciencia para esperar a que este trabajo pudiera llegar a su fin.

Agradezco a los miembros del comité, el Dr. Ángel Aceves Diez, Dra. Aida Peña Ramos, M.C. Martín Valenzuela Melendres y M. C. Libertad Zamorano García, por las valiosas contribuciones que hicieron al trabajo final y por el tiempo que dedicaron para revisarlo, aun a pesar de tantas actividades que los ocupan.

Agradezco a aquellas grandes personas que hacen posible el conocimiento, los excelentes profesores del programa de maestría. A mis compañeros de la generación, por todos los buenos y malos momentos que viví con ellos. A todos los que alguna vez han compartido sus conocimientos para enriquecernos todos.

Agradezco A la Q.B. Thalia Yamileth Islava Lagarda y a la M.C. Gisela Carvallo Ruiz por toda su ayuda, comprensión y dedicación que en todo momento mostraron durante la realización del análisis de perfil de ácidos grasos.

Agradezco a M.C. Luis Enrique Siqueiros por su apoyo para llevar a cabo las determinaciones proximales en sus instalaciones.

Agradezco nuevamente a la Q.B. Thalia Yamileth Islava Lagarda y a la M.C. Libertad Zamorano García, por todo su apoyo y asesoramiento durante el análisis sensorial de este trabajo.

Agradezco a mis compañeros y amigos que conocí durante mis estudios de maestría: I.B. Gregorio Polloreña López, I.B. Vida Mariel López, I.B. Marcos Santis Gómez, Q.B. Cynthia Barrón Ayala, Q.B. María Dolores Figueroa Pizano, Q.B. Aristeo Villalobos Rodríguez, M.C. Nidia Vanessa Valenzuela Grijalva y a la I.A Fernanda Morales, por todo su apoyo, comprensión, por los momentos que vivimos y que sin lugar a dudas seguiremos viviendo y compartiendo muchos momentos más. Por eso y mas muchas gracias.

A todos mis compañeros de laboratorio de carnes y productos cárnicos: Ely Cohen, Lilly Carrillo, Ely Padilla, Rigo Amezquita, Jimena García, Julio López, y Carlos. Muchas gracias por todo su apoyo.

Agradezco a todas esas personas que me brindaron todo su apoyo cuando mas abatido me sentía, inyectándome animo para continuar lo que había empezado.

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A Mis padres Marcial Serna Pazos y Guadalupe Guerrero Pérez, por darme la vida, quererme mucho, creer en mi y porque siempre me apoyaron. Gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto se los debo a ustedes.

A Mis abuelas Ángela Pérez (QEPD) y Remedios Pazos, por quererme y apoyarme siempre, esto también se lo debo a ustedes.

A Mis hermanos, Carlos Marcial Serna Guerrero y Aimé Marisa Serna Guerrero, por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A mi tía Carmen Soledad Guerrero Pérez, por estar ahí siempre conmigo, por ser un ejemplo a seguir, por todo su cariño y apoyo, la quiero mucho.

A Todos mis amigos: Lupira, Vida, Dolores, Goyo, Marcos, Julissa, Fernanda, Caro, Kikín, Baldo, Celia, Doña Hilda, Lupita Alegría, Samuel. Gracias por compartir los buenos y malos momentos.

A todos aquellos familiares y amigos que no recordé al momento de escribir esto. Ustedes saben quiénes son.

CONTENIDO

INDICE DE CUADROS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.....	3
Situación Nacional de la Producción y Consumo de Carne Bovina.....	3
Parámetros de Calidad en la Carne de Bovino.....	3
Calidad Microbiológica.....	4
Calidad Organoléptica.....	5
Calidad Fisicoquímica.....	6
Cambios en el pH sobre la calidad de la carne.....	6
Efecto de la capacidad de retención de agua sobre la calidad de la carne.....	7
Color y calidad de la carne.....	7
Efecto de la terneza sobre la calidad de la carne.....	8
La oxidación lipídica y su relación con la calidad de la carne.....	8
Composición Lipídica de la Carne de Res.....	9

Uso de Aditivos y Promotores del Crecimiento en Ganadería.....	11
Uso de β -agonistas en Ganado para la Producción de Carne.....	12
Características Químicas y Modo de Acción de β -agonistas.....	13
Efecto del Uso de β -agonistas sobre la Calidad de la Carne.....	14
El Ácido Ferúlico en la Alimentación.....	18
Propiedades del Ácido Ferúlico.....	18
Efecto Antioxidante y Anabolizante del Ácido Ferúlico en el organismo.....	20
HIPOTESIS.....	22
OBJETIVO.....	22
Objetivos Específicos.....	22
MATERIALES Y METODOS.....	23
Descripción de la Población.....	23
Tratamientos.....	23
Análisis de Calidad.....	26
Análisis Físicoquímicos.....	26
Capacidad de retención de agua.....	26
Potencial de hidrógeno (pH).....	26
Color.....	26
Textura.....	27

Análisis Químicos.....	27
Humedad.....	27
Grasa.....	28
Determinación del Perfil de Ácidos Grasos.....	28
Análisis Sensorial.....	30
Calidad de la Carne Durante su Almacenamiento en Anaquel.....	30
Determinación de la oxidación de lípidos.....	31
Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
Calidad Química y Fisicoquímica.....	33
Perfil de Ácidos Grasos.....	38
Calidad Sensorial.....	46
Calidad de la Carne Durante su Almacenamiento en Anaquel.....	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Composición (%) en base seca de la ración experimental.....	24
Cuadro 2. Calidad química y fisicoquímica del músculo <i>Longissimus dorsi</i> para cada tratamiento experimental.....	34
Cuadro 3. Composición de ácidos grasos (% del total de ácidos grasos determinados) del músculo <i>Longissimus dorsi</i> de bovino por tratamiento.....	39
Cuadro 4. Sumas parciales de ácidos grasos y valor nutricional de la grasa intramuscular del músculo <i>Longissimus dorsi</i> de bovino por tratamiento.....	44
Cuadro 5. Parametros de calidad sensorial del músculo <i>Longissimus dorsi</i> para cada tratamiento experimental.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Fórmulas químicas de algunos β -agonistas y de los mediadores fisiológicos, noradrenalina y adrenalina.....	15
Figura 2. Principales receptores β -agonistas adrenérgicos (β 1, β 2) con su respectivo sistema transductor (proteína G); su efector primario (enzima adenilciclase, AC); segundo mensajero (Adenosin Monofosfato cíclico, AMPc); y su efector secundario (proteína cinasa), PKA.....	16
Figura 3. Estructura química del ácido ferúlico.....	19
Figura 4. Cambios en TBARS de la carne durante su almacenamiento en refrigeración.....	50
Figura 5. Comportamiento del parámetro de color L* de la carne durante el almacenamiento en refrigeración.....	51
Figura 6. Comportamiento del parámetro de color a* de la carne durante el almacenamiento en refrigeración.....	52
Figura 7. Comportamiento del parámetro de color b* de la carne durante el almacenamiento en refrigeración.....	53
Figura 8. Comportamiento del parámetro de color Matiz de la carne durante el almacenamiento en refrigeración.....	54

ANEXOS

1. Formato de evaluación sensorial en luz roja para carne cocinada.....	73
2. Formato de evaluación sensorial con luz blanca en carne cruda.	74

RESUMEN

El ácido ferúlico (AF) es un compuesto natural con actividad antioxidante y antimicrobiana presente principalmente en la pared celular de los cereales. Recientemente, se ha sugerido que el AF tiene un efecto promotor del crecimiento animal, por lo cual puede ser una alternativa al uso de compuestos β -agonistas y además mejorar la calidad de la carne por su actividad antioxidante. En el presente estudio se evaluó el impacto de la suplementación dietaria de AF sobre la calidad de la carne de bovinos comerciales. Cien bovinos comerciales (*Bos taurus*) en fase de finalización, fueron asignados al azar a 4 tratamientos (n=25): 1) control; 2) suplementación alimenticia de 6 ppm de AF los últimos 30 días de engorda (AF30); 3) 6 ppm de AF los últimos 60 días (AF60); y 4) 6 ppm de clorhidrato de zilpaterol los últimos 30 días (CZ). Se obtuvo el músculo *Longissimus dorsi* (LD) para evaluar la calidad química, fisicoquímica y atributos sensoriales de la carne; además, se evaluó su calidad durante su almacenamiento en refrigeración a 4°C. Dentro de los resultados más relevantes, el esfuerzo al corte fue afectado por los tratamientos, presentándose una carne más dura ($P \leq 0.05$) en el grupo CZ (10.37 kgF), con respecto a la de AF30 (7.94 kgF). Así mismo, los panelistas percibieron a la carne de AF30 con mejor ($P \leq 0.05$) terneza, jugosidad y sabor que la carne de animales suplementados con CZ. El perfil lipídico mostró pocos cambios significativos, los principales cambios se observaron en el grupo AF30, el cual presentó una disminución del contenido de C16:0. La suma de ácidos grasos poliinsaturados (AGP) y la relación nutricional AGP/AG saturados fue mayor en la carne de los grupos suplementados con AF y/o CZ. Durante el almacenamiento de la carne en refrigeración, los parámetros de color a^* , b^* y ángulo de matiz fueron afectados ($P \leq 0.05$) por los tratamientos, siendo la carne de AF60 la que presentó mayor inestabilidad; mientras que AF30 logró mantener el color rojo por más tiempo. Finalmente, el tratamiento AF30 retardó ($P \leq 0.05$) la oxidación lipídica (TBARS) de la carne. En conclusión, la suplementación con AF durante 30 días a ganado en confinamiento, fue capaz

de mejorar algunos de los parámetros de calidad de la carne como el color, la ternura, jugosidad y sabor. Además, el suplementar AF puede proveer grandes beneficios al mercado, debido a que prolonga la vida de anaquel de la carne.

Palabras clave: Ácido ferúlico, antioxidante, calidad de la carne, bovinos

ABSTRACT

Ferulic acid (FA) is a natural compound, mainly present in the cell wall of cereals, with antioxidant and antimicrobial activity. Recently, it has been suggested that FA has an animal growth promoting effect, thus can be an alternative for the use of β -agonist compounds. Additionally, FA may also improve the quality of meat, due to its antioxidant activity. In this study, the effect of dietary supplementation with FA on beef quality was evaluated. One hundred beef cattle (*Bos taurus*) in finalization, were randomly assigned to 4 treatments (n = 25): 1) Control, 2) dietary supplementation with 6 ppm of FA, during the last 30 days of fattening, (AF30), 3) supplementation of 6 ppm of FA during 60 days (AF60) and 4) supplementation with 6 ppm of zilpaterol hydrochloride throughout the last 30 days in feedlot (ZH). *Longissimus dorsi* (LD) was dissected from treated carcasses. Physical-chemical and sensory attributes were measured, and also shelf life stability during refrigeration at 4 ° C. Among the most relevant results, it was found that meat hardness from ZH group (10.37 kg) was tougher ($P \leq 0.05$) than beef supplemented under AF30 treatment (7.94 kg). Furthermore, sensory panel scores for tenderness, juiciness and flavor were higher ($P \leq 0.05$) for beef from AF30 than that from animals supplemented with ZH. Intramuscular fatty acid profile showed few significant changes due to treatments. Differences were only observed in AF30, the content of C16:0, and total polyunsaturated fatty acids (PUFA); and also on the nutritional relationship PUFA/ saturated fatty acids. During shelf life, instrumental color parameters a^* , b^* , and hue angle were more unstable ($P \leq 0.05$) on meat from AF60 treatment, while AF30 was able to maintain the red color during more time. Additionally, AF30 was able to delay ($P \leq 0.05$) lipid oxidation (TBARS) during beef's shelf life under refrigeration conditions. In conclusion, ferulic acid supplementation for 30 days, in confinement cattle, was able to improve some meat quality parameters such as color, tenderness, juiciness and flavor. Also, AF supplementation can extend beef shelf life.

Keywords: ferulic acid, antioxidant, beef quality, cattle.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la industria cárnica hace uso de compuestos promotores del crecimiento animal con el fin de mejorar la eficiencia alimenticia y con ello obtener una mayor ganancia de peso diaria, lo cual conlleva a reducir los costos de producción. Entre los promotores del crecimiento más usados se encuentran los implantes hormonales y los compuestos β -agonistas (Eng, 2000). Estos últimos, identificados también como β -agonistas adrenérgicos, mejoran la retención de nitrógeno y reducen la deposición de grasa, además son análogos a las hormonas catecolaminas, epinefrina y norepinefrina (Mersmann, 1998; Plascencia *et al.*, 2008). En países como México y Estados Unidos se permite el uso de los compuestos clorhidrato de zilpaterol (CZ) y clorhidrato de ractopamina (RAC) en ganadería (NOM EM-15-ZOO-2002 y Food and Drug Administration: FDA).

A pesar de los sobresalientes beneficios de los β -agonistas en la eficiencia productiva, algunos productores se niegan al uso de estos compuestos en la producción animal, debido principalmente a que se han reportado intoxicaciones por el consumo de carne y/o vísceras de animales suplementados de manera inadecuada con estos compuestos (Sumano *et al.*, 2002). Además, los β -agonistas disponibles en el mercado son de un alto costo. Aunado a lo anterior, reportes científicos han evidenciado un detrimento en la calidad de la carne, principalmente en la terneza y el color de la misma (Bianchi *et al.*, 2006; Avendaño-Reyes *et al.* 2006). Estos efectos negativos pueden ser contrarrestados mediante diferentes estrategias, por ejemplo, para mejorar el color de la carne de res y de cerdo durante su almacenamiento en anaquel, los animales pueden recibir una suplementación dietaria de vitamina E desde la producción animal (Sales *et al.*, 2011). También se ha implementado la maduración *postmortem* para reducir la dureza de la carne (Gruber *et al.*, 2006).

Evidentemente ambas tecnologías son costosas para la industria. Debido a esta problemática los productores de carne deben buscar nuevas alternativas para promover el crecimiento animal de forma económica y con compuestos de origen natural que no repercutan en la calidad de la carne, ni en la salud del consumidor.

Recientemente, Asaff *et al.* (2004) lograron recuperar AF con alto grado de pureza a partir de las aguas residuales del proceso de nixtamalización del maíz (nejayote). El AF es un compuesto de origen natural al cual se le ha atribuido un efecto promotor del crecimiento ya que posee una estructura química análoga a los β -agonistas utilizados en ganadería (Sánchez *et al.*, 2011). Investigaciones recientes (Platt *et al.*, 2012) evidenciaron en un estudio *in vitro* con células satélite de bovino, que el AF es reconocido por los receptores β localizados en la membrana celular al igual que el CZ, por lo que sugieren que su mecanismo de acción *in vivo* puede ser similar a los β -agonistas.

En cuanto a su uso, el AF es comúnmente utilizado como suplemento alimenticio por deportistas para incrementar su masa muscular. Además, debido a su potencial antioxidante, ha sido empleado en la industria alimenticia con el fin de retardar la oxidación lipídica y/o proteica en los alimentos (Nilesh *et al.*, 2009). A pesar de que ya se emplea en humanos, su uso en producción animal es prácticamente nulo. Hasta la fecha, solo existe un reporte (Sánchez *et al.*, 2011), donde se indica que el AF al ser suplementado en cerdos a una concentración de 50 ppm, provoca una disminución significativa en el espesor de la grasa dorsal.

Por todo lo anterior, en este trabajo de investigación se plantea como objetivo general, evaluar el impacto de la suplementación dietaria de AF sobre las características de calidad de la carne en bovinos productores de carne bajo condiciones de alimentación intensiva.

ANTECEDENTES

Situación Nacional de la Producción y Consumo de Carne Bovina.

Dentro de la amplia gama de alimentos existentes, los productos de origen animal son altamente apreciados por la mayoría de las comunidades. En este caso la carne no es la excepción, ya que es un alimento rico en nutrientes esenciales como proteínas, vitaminas y minerales como zinc, hierro y fosforo, además de ácidos grasos esenciales (Lawrie, 1998).

Cada país e incluso cada región presentan diferentes preferencias sobre un determinado tipo de carne pero es importante mencionar que la carne de res es de las más aceptadas y consumidas debido a que se trata de un producto tradicional y de gran arraigo entre los consumidores (Ciria, 2000; Torrent, 1991).

De acuerdo a la información emitida por SAGARPA (2009) la producción de carne de bovino en México fue de un millón 696 mil toneladas. De la misma manera la exportación de carne presentó un incremento, ya que en 2003 se exportaron cuatro mil 776 toneladas anuales, y para el 2009 incrementó a más de 35 mil toneladas anuales. En México la carne de res es de las que presenta una mayor demanda, donde el consumo *per cápita* oscila aproximadamente entre los 19 y 20 kg (SAGARPA, 2009). Lo anterior se debe principalmente a características distintivas como su inigualable sabor, jugosidad y terniza, siendo esta última una de las características de calidad más importantes para los consumidores de carne (Ciria, 2000; Shackelford *et al.*, 1997).

Parámetros de Calidad en Carne de Bovino

La calidad de la carne se puede definir como el conjunto de características cualitativas y cuantitativas, que le confieren a la carne un mayor grado de

aceptación por parte de los consumidores y un mayor precio frente a la demanda del mercado (Martínez, 2008). Hoy en día se pueden encontrar muchas definiciones de calidad, pero se debe entender que una carne de buena calidad tiene que ser natural y proveniente de animales sanos alejados de problemas sanitarios (Banović *et al.*, 2009). El bienestar animal, la forma de producción y el manejo en la explotación del ganado bovino son algunos de los principales factores que influyen en la calidad e inocuidad del producto final (Ciria, 2000; Touraille, 1991). Dentro de los principales grupos de características o atributos que definen la calidad de la carne, se encuentra su calidad fisicoquímica, su calidad organoléptica y microbiológica, entre otros (Faustman *et al.*, 2010).

Calidad Microbiológica

La carne debe ser un alimento higiénico libre de sustancias que pueden perjudicar la salud del consumidor, ya que esta es muy susceptible a contaminarse fácilmente, debido a su elevada actividad de agua (*aw*) y a su alto valor nutritivo. El músculo como tal, es prácticamente estéril antes del sacrificio (Sanchez-Escalante *et al.*, 2003), y la invasión de los microorganismos a la carne se lleva a cabo durante su procesamiento por diferentes factores, como el mal manejo de la canal, el uso de utensilios contaminados y temperaturas inadecuadas, etc. Estos factores, ofrecen las condiciones que los microorganismos necesitan para su desarrollo (Arango y Restrepo, 2002).

Cuando el manejo sanitario de la carne no es adecuado, esta puede ser un vehículo para la transmisión de bacterias que causan toxi-infecciones alimentarias, entre los que figuran *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Campylobacter jejuni*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Clostridium perfringens*, *Clostridium botulinum* y *Bacillus cereus* (Hoffman, 2003). Estos microorganismos afectan la calidad de la carne desde el punto de vista de inocuidad sanitaria. Sin embargo, también pueden estar presentes otros microorganismos que ocasionan la disminución en la vida de anaquel de la

carne, llamados deteriorativos, como son: *Pseudomonas spp.*, *Shewanella*, *Enterobacteriaceae*, *Brochothrix thermosphacta*, bacterias lácticas, levaduras y mohos (ICMSF, 2001). El crecimiento excesivo de estas últimos causa superficies babosas en la carne, sabores indeseables y cambios en el color (Frazier, 2003).

Calidad Organoléptica

La calidad es un concepto muy importante, en el cual se basa el consumidor para elegir un determinado alimento. De acuerdo con lo anterior, las propiedades organolépticas o sensoriales son parámetros percibidos directamente por el consumidor al comprar y comer el producto. Cada consumidor tiene la facilidad para realizar su propia evaluación del alimento, por lo que representan un rol fundamental en la aceptabilidad de los alimentos (Nam *et al.*, 2009). Para realizar dicha evaluación, el consumidor tiene un conjunto de percepciones gustativas y olfatorias comúnmente llamado gusto, estas incluyen tanto las características visuales y sensoriales.

En el caso particular de la carne, las principales características organolépticas son el color, distribución de grasa, el exceso de agua, al momento de comprarla y la terneza, jugosidad, olor y sabor al momento de consumirla (Glitsch, 2000; Kemp *et al.*, 2010, Glitsch). La terneza es el parámetro más importante para los consumidores (Monin, 1989; Stine *et al.*, 2006). Para Lee *et al.* (2009) la terneza consiste en la suma de tres componentes. La primera es la facilidad de penetración de los dientes en la carne al inicio de la masticación, la segunda la facilidad de fragmentación de la carne y por último, la cantidad de residuo que queda en la boca durante la masticación, a ella contribuyen las proteínas miofibrilares, sarcoplasmáticas y el tejido conectivo, principalmente el colágeno.

Calidad Fisicoquímica de la Carne

Los principales parámetros considerados para evaluar la calidad fisicoquímica de la carne son el pH, su capacidad de retención de agua, la pérdida de peso por cocción, el color, la terneza, y oxidación de lípidos.

Efecto del pH sobre la calidad de la carne. El pH contribuye sustancialmente en las otras características de calidad como lo son el color, sabor y terneza de la carne, además de que afecta la capacidad de retención de agua la cual está asociada con la jugosidad de la carne (Bianchi, 2006)

El pH del tejido muscular del animal vivo es prácticamente neutro. Cuando el animal muere, el músculo se ve privado de riego sanguíneo y por lo tanto de oxígeno. Esto hace que se bloquee la síntesis de ATP, que es la fuente primaria de obtención de energía, con lo cual el músculo se ve obligado a adquirir esa energía por vía anaerobia a partir del glucógeno de reserva, dando lugar a la producción de ácido láctico (Monin, 1989). Mientras exista glucógeno se produce ácido láctico, el pH desciende hasta que se interrumpen los fenómenos glucolíticos o bien hasta que se inactivan las enzimas que rigen el metabolismo muscular (Lawrie, 1998). El pH final de la carne dependerá en gran parte de la cantidad de glucógeno contenido en el músculo al momento del sacrificio.

El estrés antes del sacrificio, es uno de los factores con más influencia sobre el pH y la terneza de la carne. Esta condición lo pueden generar un mal transporte, manipulación brusca, temperaturas altas o cualquier estímulo que haga que el animal recurra a sus reservas de glucógeno antes del sacrificio (Lawrie, 1998). Tanto el valor final del pH, como la velocidad de caída del mismo durante la transformación del músculo en carne, afectan a las características organolépticas (color y jugosidad) y tecnológicas, como la capacidad de retención de agua y capacidad de conservación (Sañudo, 1992).

Efecto de la capacidad de retención de agua sobre la calidad de la carne. Otro de los puntos importantes que se toman en cuenta para evaluar una carne de buena calidad, es su capacidad de retención de agua (CRA). De acuerdo con Sañudo (1992), la CRA esta definida como la aptitud de la carne para retener el agua que ella misma contiene cuando se aplican fuerzas externas como cortes, calentamiento, trituración y prensado lo cual presenta un gran interés durante su conservación, fileteado, cocinado y transformación en un producto cárnico. Offer y Knight (1988), observaron que la mayor parte del agua en las miofibrillas es captada por fuerzas capilares entre los filamentos gruesos y delgados.

La CRA contribuye de manera importante en la calidad de la carne y productor cárnicos, ya que este parámetro esta relacionado con la terneza y color de la carne cruda, y con la jugosidad y firmeza de la carne cocinada (Lee *et al.*, 2009). Cuando la CRA es baja, al momento de cocinar una pieza de carne, el agua se libera muy fácilmente dando un aspecto seco en la superficie de la pieza (Nam *et al.*, 2009). La fácil liberación de agua se produce por la ruptura de la membrana celular y por las modificaciones que sufren las proteínas en relación a su estructura tridimensional debido al calentamiento de la carne.

Color y calidad de la carne. El color de la carne es uno de los atributos más valorados por el consumidor en el momento de la compra (Muchenje *et al.*, 2009). Desde un punto de vista físico, el color de la carne es el resultado de la distribución espectral de la luz que incide sobre ella, y de la intensidad de la luz reflejada por su superficie. Éste depende de la estructura y estado físico de las proteínas musculares, así como de la proporción de grasa infiltrada, así como de la concentración de los pigmentos hemínicos y principalmente, del estado químico de la mioglobina en la superficie (Warris, 2000). Se ha establecido que los radicales libres generados durante la oxidación lipídica son los responsables del inicio de la oxidación de la oximioglobina, y que los productos de la oxidación (TBARS) pueden contribuir a la oxidación de la oximioglobina (Faustman *et al.*, 2010).

El color de la carne puede estar influenciado además por otros factores, como las enzimas endógenas, la dieta y edad del animal e incluso la actividad realizada por este (Muchenje *et al.*, 2009).

Efecto de la terneza sobre la calidad de la carne. Se entiende por terneza a la fuerza necesaria para seccionar un trozo de carne cocinada (Muchenje *et al.*, 2009). Según métodos internacionales, toda carne que requiere 6 o menos kilogramos de presión para ser seccionada es considerada tierna. Por encima de ese número es percibida generalmente como dura (AMSA, 1995).

Algunas fuentes de variación de la terneza pueden atribuirse a la edad del animal, sexo, peso, raza, tipo de músculo y estrés *antemortem* (Muchenje *et al.*, 2009). La variación más grande se debe principalmente a cambios en la estructura de las proteínas miofibrilares del músculo en el periodo comprendido entre el sacrificio y el consumo de la carne (Muir *et al.*, 2000). Esto es debido, a que la terneza está en función de la longitud del sarcómero, el contenido de colágeno y su solubilidad, y la estructura miofibrilar. Tales componentes explican la mayor parte de la variación de la terneza, sin embargo, el principal factor es la proteólisis en la miofibrilla causada por el sistema calpaína (Kemp *et al.*, 2010; Maher *et al.*, 2005).

La oxidación lipídica y su relación con la calidad de la carne. Una de las principales causas de pérdida de la calidad de la carne, es la oxidación de los lípidos y los cambios asociados a ella. La oxidación de los lípidos es considerado como un proceso bastante complejo, en el que los ácidos grasos insaturados reaccionan con el oxígeno molecular a través de un mecanismo llamado auto-oxidación primaria, que involucra la acción de radicales libres, y que ocasiona la formación de peróxidos, hidroperóxidos y compuestos volátiles de bajo peso molecular (Gray *et al.*, 1996). Dichos productos reaccionan con otros componentes de los alimentos tales como los pigmentos y aminoácidos, resultando en la producción de sabores y olores indeseables, así como cambios en el color. Debido a lo anterior, la calidad de la carne puede verse afectada

negativamente, y puede existir un rechazo por parte del consumidor (Frankel, 1984).

La oxidación lipídica ha generado mucho interés, ya que como se mencionó anteriormente los radicales libres producidos durante oxidación de lípidos, son responsable del inicio de la oxidación del color y viceversa (Faustman, *et al.*, 2010).

Algunos estudios (Sánchez-Escalante *et al.*, 2003; Jia *et al.*, 2012), han hecho uso de diferentes tecnologías con el fin de retardar la oxidación, en las que destacan el uso de compuestos antioxidantes en la carne, obteniéndose buenos resultados

Los factores promotores de la oxidación son muchos y muy variados; entre los principales se pueden considerar: la composición de los ácidos grasos, la presión parcial de oxígeno, la superficie en contacto con el oxígeno, las condiciones de almacenamiento (temperatura, luz, actividad de agua), presencia de enzimas (lipo-oxigenasa), presencia de metales, radiaciones, etc. (Jadhav *et al.*, 1995).

Composición Lipídica de la Carne de Res

La carne de res tal como la de otros rumiantes tiene un alto contenido de ácidos grasos saturados (AGS) y menor proporción de ácidos grasos poliinsaturados (AGP). A su vez, posee mayor cantidad de AGS que la de puerco, ovinos y caprinos (Enser *et al.*, 1996). Los AGS predominantes en carne de res son: ácido mirístico (C14:0), palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0); mientras que dentro de los principales ácidos grasos poliinsaturados se encuentran el linoleico (C18:2 n6 *cis*) y α -linoleico (C18:3 n6). El ácido oleico (C18:1n-9) es el ácido graso monoinsaturado más predominante (Scollan *et al.*, 2006).

La composición de ácidos grasos de la carne influye sobre su valor nutricional y sobre algunas características sensoriales. Con respecto a su valor nutricional, la incidencia de algunas enfermedades crónicas en humanos está asociada con la cantidad y tipo de grasa consumida. Por otro lado, la presencia en la dieta de los isómeros *cis*-9, *trans*-11 y *trans*-10, *cis*-12 del ácido linoleico conjugado (ácido graso insaturado) se considera benéfico para la salud, pues se ha comprobado tener efectos antioxidante, antiobesidad, anticancerígeno, antiarterosclerótico, antidiabetogénico, protector del sistema inmune y contribuye con la formación de huesos (Houseknecht *et al.*, 1998; Smedman y Vessby, 2001; Sacks y Katana, 2002).

Con respecto a la contribución sobre las características organolépticas, es conocido que el sabor característico de la carne de una especie en particular está determinado por las proporciones de diferentes ácidos grasos insaturados. Estos ácidos grasos insaturados, son más susceptibles de oxidarse formando compuestos de bajo peso molecular como son los aldehídos, cetonas y alcoholes, los cuales contribuyen con el aroma de la carne (Rousset-Akrim *et al.*, 1997; Young *et al.*, 1997).

En base a la importancia que ha tomado la composición de ácidos grasos de la carne y su relación con la salud humana, actualmente se dirigen distintas investigaciones en producción animal con el fin de modificar el perfil lipídico hacia una mayor proporción de ácidos grasos poliinsaturados (Wood *et al.*, 2008). Diferentes estudios han indicado que la composición de ácido grasos de la carne puede verse afectada por muchos factores como lo son la alimentación animal, el sexo, la raza, condiciones ambientales, entre otros (Okeudo y Moss, 2007; Wood *et al.*, 2004; Wood *et al.*, 2008).

Por todo lo anterior, se puede decir que la calidad así como la composición química de la carne se puede ver afectada por un sin fin de factores (Lawrie, 1998) intrínsecos del animal y por una serie de factores extrínsecos como el manejo *post* y *antemortem*. Un aspecto *antemortem* que también puede ejercer

una gran influencia en la calidad de la carne es el uso de promotores del crecimiento. Estos compuestos son utilizados actualmente por productores de ganado de diferentes países, con el fin de incrementar la productividad y rendimiento del ganado (Ducket *et al.*, 1993).

Uso de Aditivos y Promotores del Crecimiento en Ganadería

Actualmente en toda producción animal la velocidad en el crecimiento animal y la eficiencia alimenticia para una mayor producción, son factores económicos importantes, por lo que en ganadería, la búsqueda de sustancias químicas que aseguren un aumento en la ganancia de peso en un menor período de tiempo se convierte en una necesidad. Un ejemplo de estas sustancias son los promotores del crecimiento (Huerta-Leidenz *et al.*, 1997).

Los promotores del crecimiento han sido utilizados desde hace más de 50 años para mejorar el comportamiento productivo y por tanto para reducir los costos de producción de la carne. Es por lo anterior que dichos compuestos se consideran una alternativa importante para incrementar la producción, pues son compuestos que influyen en las funciones metabólicas del animal, mejorando así el balance de nitrógeno en el organismo y por consiguiente, incrementando la producción de proteína en el mismo (Lawrence y Fowler, 2002). Estos compuestos son usados rutinariamente por muchos productores de carne de res en muchos países, para mejorar la eficiencia del crecimiento del ganado (Garibotto y Bianchi, 2007).

Los promotores del crecimiento animal son clasificados principalmente por su modo de administración en dos grandes grupos: implantes hormonales que comúnmente se identifican como anabolizantes, (Isaza, 1985; Valencia, 1985) y los aditivos alimenticios (Dunshea *et al.*, 2005). Los primeros, como su nombre lo indica, actúan como agentes anabolizantes del metabolismo animal, y pueden

ser subdivididos en anabólicos endógenos (naturales) y exógenos (sintéticos) (Cardona, 1986). Los agentes anabolizantes principalmente se administran en forma de implante subcutáneo. En el caso de los aditivos alimenticios, son sustancias administradas al animal a través del alimento y actúan principalmente modulando la fermentación ruminal, ocasionando cambios en las poblaciones de microorganismos presentes en el tracto digestivo y mejoran la eficiencia animal en la utilización de nutrientes. Son ejemplos de este tipo de promotores, los antibióticos, ionóforos, probióticos, prebióticos, ácidos orgánicos, nutraceúticos, enzimas y surfactantes (Dunshea *et al.*, 2005).

Los agentes anabolizantes, son hormonas o sustancias con estructura similar que ejercen un efecto en el metabolismo del animal. Tales compuestos aumentan la función anabólica (síntesis) de las proteínas y disminuyen las catabólicas, mejorando de esta manera el balance de nitrógeno en el organismo y por consiguiente incrementando la producción de proteína (Watson *et al.*, 2008). Dentro de los agentes anabolizantes, además de los implantes hormonales, también pertenecen los compuestos denominados β -agonistas adrenérgicos. Éstos últimos aún cuando se encuentran dentro de la clasificación de compuestos hormonales, se administran al animal a través del alimento, pero su mecanismo de acción es similar al de una hormona (Lawrence y Fowler, 2002).

Uso de β -agonistas en Ganado para Producción de Carne

A medida que la industria de la carne sigue adaptándose a los cambios y demandas de los consumidores, los productores de carne deben desarrollar y utilizar aditivos que en conjunto con la dieta mejoren la eficiencia de la ganancia en peso. Los β -agonistas adrenérgicos (β -AA) son compuestos que mejoran la eficiencia de la ganancia en peso y afectan características de calidad de la carne de varias especies de animales (Pringle *et al.*, 1993). México y Sudáfrica aprobaron hace más de 10 años el uso de β -AA en ganadería, tales como el

clorhidrato de zilpaterol (CZ) y el clorhidrato de ractopamina (RAC). En el caso de México, su uso se encuentra regulado por la NOM-EM-015-ZOO-2002. La agencia de administración de drogas y alimentos en Estados Unidos (FDA) aprobó el uso de RAC en la alimentación del ganado en el año 2003, y de CZ en el 2006. Sin embargo el uso de β -AA esta prohibido en Europa (Consejo de las Comunidades Europeas, 1986).

Los β -AA son administrados por vía oral a los mamíferos tanto para aumentar la síntesis de proteínas musculares, así como para disminuir la grasa de la canal debido a que se promueve la lipólisis (Dunshea *et al.*, 2005). Es por ello, que los β -AA se han sumado a la lista de compuestos anabolizantes que permiten incrementar la acreción muscular a través de la hipertrofia celular (Koochmaraie *et al.*, 1991).

Características Químicas y Modo de Acción de los β -AA

Los β -AA frecuentemente se han utilizado como medicamentos para tratar enfermedades como el asma bronquial y la oclusión alveolar (Kim y Sainz, 1992). Dichos compuestos actúan a nivel celular, mediante su unión a receptores específicos que están presentes en la membrana celular. Estos actúan como mediadores fisiológicos naturales y presentan una estructura química análoga a las catecolaminas como la noradrenalina (norepinefrina) y la adrenalina (epinefrina). Además, los β -AA tienen el mismo modo de acción en la membrana celular que estas últimas (Koochmaraie *et al.*, 1991).

Las catecolaminas, son neurotransmisoras que provocan que el organismo se adapte a diferentes situaciones de estrés, para que este se mantenga en homeostasis. Además es importante mencionar que estos compuestos estimulan la lipólisis y por tanto ejercen un efecto positivo en la síntesis de proteína muscular (Sumano *et al.*, 2002).

Como se puede observar en la figura 1, dependiendo de los radicales que ocupen las posiciones 3, 4 y 5 del anillo de la ariletanolamina y de los sustitutos

del grupo R en la cadena lateral, se obtienen una serie de compuestos como clenbuterol, cimaterol, salbutamol metaproterol, terbutalina, mabuterol y otros, los cuales son empleados actualmente como promotores del crecimiento en ganadería, a excepción del clenbuterol, cuyo uso se prohíbe en países como México, Estados Unidos y la Unión Europea (Sumano *et al.*, 2002).

Las células del organismo animal poseen receptores específicos para las catecolaminas. Cuando estas estimulan a dichos receptores, se desatan una serie de eventos tanto en la membrana como en el interior de la célula (Kim y Sainz, 1992). En la figura 2 se puede observar como al momento de unirse estos compuestos a los receptores celulares específicos, el complejo agonista-receptor activa a las proteínas Gs (se encuentran en la membrana celular y sirven como canal para el tránsito de sustancias entre la célula y el exterior), las cuales son las principales mediadoras de estos compuestos (Zorrilla *et al.*, 1998).

Kobilka y Hoffman (1995) mencionan que al activarse las proteínas Gs, se activa al mismo tiempo la enzima adenilil ciclasa, la cual es la responsable de la producción del adenosín monofosfato cíclico (AMPc). El AMPc se une a la proteína cinasa A, liberando una unidad catalítica que fosforila a las proteínas intracelulares, entre ellas a la enzima lipolítica lipasa responsable de la degradación de triacilglicerol.

Efecto del uso de β -agonistas Sobre la Calidad de la Carne

En años recientes se han realizado algunas investigaciones donde se han suplementado β -AA como RAC y CZ en bovinos en finalización. Estas investigaciones se han centrado en evaluar principalmente el impacto en el comportamiento productivo y las características de la canal, y un menor número de estudios han evaluado su efecto sobre la calidad de la carne. Se ha reportado

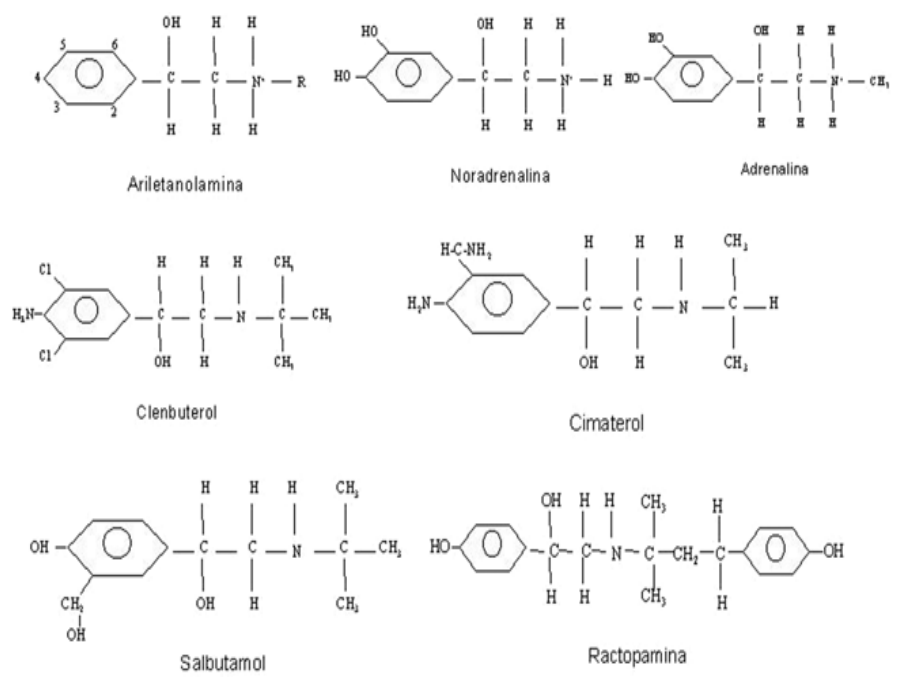


Figura 1. Fórmulas químicas de algunos β-agonistas, y de los mediadores fisiológicos, noradrenalina y adrenalina (Fuente: Sanz, 1995).

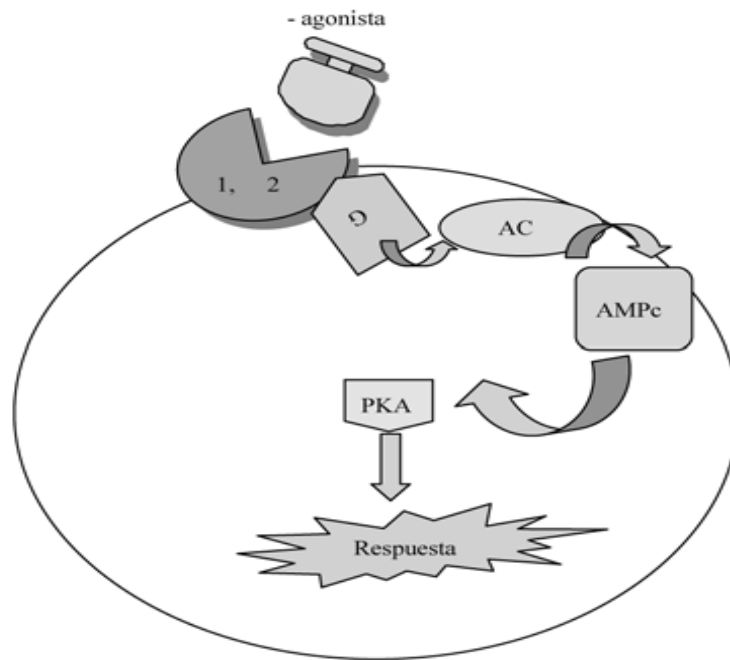


Figura 2. Principales receptores β -agonistas adrenérgicos (β_1 , β_2) con su respectivo sistema transductor (proteína G); su efector primario (enzima adenilciclasa, AC); segundo mensajero (Adenosín Monofosfato cíclico, AMPc); y su efector secundario (proteína cinasa, PKA) (Fuente: Mersmann, 1998; Ferguson, 2001).

que los β -AA producen un incremento significativo en el rendimiento en canal, el área del ojo de costilla y una disminución en la grasa de cobertura (Plascencia *et al.*, 1999; Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Quinn *et al.*, 2008; Scramlin *et al.*, 2010).

El compuesto RAC, es un β -AA categoría I que mejora el comportamiento productivo y afecta de manera positiva las características de la canal en algunas especies domésticas (Pringle *et al.*, 1993; Crome *et al.*, 1996), a través de un incremento en la síntesis de proteína. Mientras que CZ es un β -AA categoría 2, el cual funciona a través de un incremento en la síntesis de proteína y disminución de la degradación proteica (Moody *et al.*, 2000). Las dosis efectivas de los β -AA para producir los efectos promotores del crecimiento dependen del tipo de compuesto suplementado. De manera comercial, RAC se utiliza a dosis de 200 ppm, mientras que CZ se emplea a niveles de 6 a 8 ppm.

Por otro lado, en lo que se refiere a la calidad de la carne, se ha reportado que los β -AA reducen el contenido de grasa intramuscular, aumentan la resistencia al corte de la carne (Scramlin *et al.*, 2010) y producen una mayor incidencia de cortes oscuros (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006). Además, se ha observado que es más drástico el efecto negativo sobre la terniza de la carne del CZ con respecto a la RAC (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Scramlin *et al.*, 2010). Aunque se sabe que los compuestos β -AA reducen el contenido de grasa intramuscular, actualmente no se ha reportado alguna evidencia que indique si existe o no un posible efecto de estos compuestos sobre el perfil de ácidos grasos de la carne.

Como se mencionó anteriormente, los β -AA han provisto de grandes beneficios a la ganadería (Bergen y Merkel, 1991). Sin embargo, a pesar de estos beneficios obtenidos por el uso de estos compuestos sobre el comportamiento productivo, actualmente existe un rechazo al consumo de carne proveniente de animales tratados con estos compuestos. Lo anterior es debido a reportes que han surgido de intoxicaciones provocadas por el abuso de las dosis por parte de los productores (NOM EM-15-ZOO-2002; Sumano *et al.*, 2002).

Además, el uso de dichos compuestos provocan un detrimento en la calidad de la carne, principalmente en el parámetro terneza (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006). Es por ello que los productores de ganado para la producción de carne, deben buscar nuevas alternativas en las cuales empleen compuestos anabolizantes de origen natural que no repercuten en la salud del consumidor. Uno de los compuestos de origen natural al cual se le atribuye un efecto anabolizante, es el AF (Sánchez *et al.*, 2011).

El Ácido Ferúlico en la Alimentación

El AF es un compuesto que se encuentra en forma abundante en la pared celular vegetal y de forma soluble en el citoplasma. Su nombre químico es ácido 4-hidroxi-3-metoxicinámico y su estructura química se representa en la figura 3.

El AF se encuentra presente en alimentos como cereales, salvado, granos, alimentos integrales, los cítricos, plátano, café, jugo de naranja, la berenjena, el bambú, remolacha, espinaca y el brócoli entre otros (Clifford, 1999). Su estructura química al igual que los β -AA es similar a la de las catecolaminas principalmente a la norepinefrina. Algunas investigaciones mencionan (Adom y Liu, 2002) que se ha observado que al administrar en la dieta el AF o gamma orizanol, se aumentan ligeramente los niveles de norepinefrina en el sistema nervioso, permitiendo así que el organismo controle los diferentes factores ocasionados por el estrés, es decir que este se mantenga en homeostasis.

Propiedades del Ácido Ferúlico

El AF fue aislado y purificado por primera vez a partir de una resina y en una síntesis química en el laboratorio en 1925 (Graf, 1992). Los efectos biológicos de este compuesto comenzaron a describirse en 1970, cuando investigadores japoneses descubrieron propiedades antioxidantes del AF

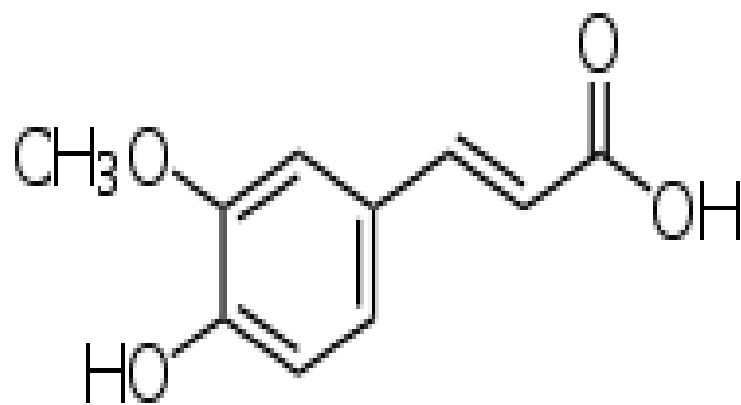


Figura 3. Estructura Química del ácido ferúlico (Fukuda y Komamine, 1982)

presente en el aceite de arroz (Yagi y Ohishi, 1979). Debido a lo anterior, investigadores chinos continuaron con la investigación (Yin y Xu, 1980; Zhang, 1990) y siguieron estudiando más a fondo este compuesto bioactivo, como por ejemplo, el estudio sobre su potencial antiaterosclerótico, anticancerígeno y antidiabético. En estudios realizados recientemente por Nilesh *et al.* (2009), se reporta que el AF al 2 % en camarones almacenados a temperatura de congelación, disminuye la oxidación lipídica, además de mejorar las características sensoriales del camarón.

El AF ha sido utilizado como aditivo alimenticio y como conservador de alimentos en la industria alimenticia japonesa, lo cual es debido a su potencial antioxidante (Graf, 1992). Actualmente en china se utiliza una sal de AF conocida como ferulato de sodio, la cual es administrada en suplementos alimenticios para el tratamiento de enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares (Wang y Yang-ou, 2005).

Además es importante mencionar que este compuesto es un componente importante del gamma orizanol, el cual ha sido utilizado como suplemento alimenticio en atletas y fisicoculturistas, ya que permite aumentar la masa muscular magra y disminuir el porcentaje de grasa corporal. Una de las ventajas al utilizar el AF como agente promotor del crecimiento es que no produce efectos secundarios debido a su origen natural (siempre y cuando se empleen las dosis adecuadas), contrario a lo que sucede al utilizar anabolizantes sintéticos (Adom y Liu, 2002).

Efecto Antioxidante y Anabolizante del Ácido Ferúlico en el Organismo

Como ya se mencionó previamente, el AF presenta una estructura química muy similar a los β -AA, por lo que pudiera tener un efecto similar a estos. Lo anterior fue demostrado en un estudio *in vitro* realizado recientemente con células satélite de bovinos (Platt *et al.*, 2012), en el cual se evidenció que el AF es reconocido por los receptores β de la membrana celular al igual que CZ. Lo

anterior sugiere que el AF podría tener el mismo mecanismo de acción *in vivo* a nivel muscular que los β -AA al ser suplementado en la dieta. Actualmente, existen muy pocos estudios que demuestren el efecto promotor del crecimiento del AF *in vivo* al utilizarse como suplemento alimenticio en animales de engorda. Sánchez *et al.* (2011), menciona que al suplementar dosis de 50 ppm de AF a cerdos York-Landrace se reduce significativamente la grasa dorsal de los mismos.

En cuanto a su propiedad antioxidante, este compuesto ha sido utilizado en camarones *litopeneus vannamei* (Nilesh *et al.*, 2009) con el objetivo de inhibir la oxidación lipídica, proteica, así como la melanosis y mejorar las propiedades sensoriales. En carne de bovino existe una patente recientemente aprobada (JP-H06-153815^a), donde al suplementar al ganado con AF en combinación con vitamina E, se reportó una estabilidad en el color rojo de la carne, lo cual sugiere que dicho compuesto previene la oxidación de la mioglobina. Esta última es la proteína responsable de impartir el color rojo a la carne fresca (Lawrie, 1998)

Es por ello que debido a la escasa información sobre la utilización del AF como promotor del crecimiento en ganado para la producción de carne y el efecto que pudiera tener este sobre las características de calidad de la carne, se planteó la siguiente hipótesis.

HIPÓTESIS

La suplementación de AF como aditivo alimenticio en ganado bovino afecta de manera positiva la calidad de la carne y además prolonga la vida de anaquel debido a su potencial antioxidante.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la suplementación alimenticia de AF sobre la calidad y vida de anaquel de la carne (músculo *Longissimus dorsi*) de bovinos comerciales.

Objetivos Específicos

Evaluar la suplementación alimenticia de AF y un agonista comercial (CZ) durante la fase final de engorda de bovinos comerciales y su efecto sobre las siguientes características de calidad de la carne:

- ✓ Calidad fisicoquímica: color instrumental, textura, capacidad de retención de agua, pérdida de peso por cocinado y pH.
- ✓ Composición química: humedad, grasa, perfil de ácidos grasos.
- ✓ Calidad sensorial: color y apariencia (en crudo); sabor, olor, sensación grasa, ternura, jugosidad y cantidad de tejido conectivo (en muestra cocinada).
- ✓ Calidad de la carne durante su almacenamiento en anaquel: color instrumental y oxidación de lípidos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la Población

La prueba de comportamiento productivo se llevó a cabo en una explotación intensiva de ganado de carne en la región de Guadalajara, Jalisco. Se utilizaron 100 bovinos productores de carne de cruza comerciales (principalmente *Bos taurus*), con un peso inicial de aproximadamente 450 kg. El ganado fue seleccionado desde el inicio de la engorda con uniformidad, en tipo racial, condición sexual, peso, edad, manejo previo y comportamiento.

Tratamientos

Una vez seleccionados los animales bajo los criterios y manejos anteriores, fueron asignados al azar a uno de cuatro grupos o tratamientos experimentales (cada tratamiento estuvo constituido por 25 animales).

El primer tratamiento fue el grupo control, denominado C. Este grupo de animales recibió en su alimento únicamente la dieta basal que consistió de 20% forraje y 80% concentrado (Cuadro 1).

Los siguientes tres grupos de animales recibieron la misma dieta basal que el grupo C, pero además suplementados con AF o CZ. El grupo denominado AF30 fue suplementado con una dosis de 6 ppm de AF los últimos 30 días del periodo de engorda. El grupo denominado AF60 fue suplementado con 6 ppm de AF los últimos 60 días del periodo de engorda. Finalmente el grupo denominado CZ fue suplementado con 6 ppm de clorhidrato de zilpaterol los últimos 30 días del periodo de engorda. Este último grupo sirvió como un

Cuadro 1. Composición (%) en base seca de la ración experimental.

Ingrediente	Tratamientos			
	CONTROL	AF30	AF60	CZ
Maíz grano rolado	59	59	59	59
Pasta de soya	5	5	5	5
GSD	5	5	5	5
Pasta de canola	2	2	2	2
Melaza de caña	8	8	8	8
Rastrojo de maíz	19	19	19	19
Premezcla mineral	2	2	2	2
Acido ferúlico		6 ppm	6 ppm	
Clorhidrato de zilpaterol				6 ppm
Total	100	100	100	100

control positivo, ya que está demostrado el efecto de este compuesto sobre las características de calidad en la carne de bovino (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006).

Una vez que los animales llegaron al peso de sacrificio (aproximadamente 550 kg), fueron destinados a su sacrificio humanitario (Rastro municipal de Guadalajara, Jalisco), siguiendo las normatividad vigente en nuestro país. Posteriormente las canales fueron almacenadas a 0 °C durante 24 h, con el fin de que se lleve a cabo el proceso de conversión de músculo en carne. Una vez transcurrido este tiempo se seleccionaron al azar 10 canales por tratamiento, para ser deshuesadas y tomar las muestras de carne (músculo *Longissimus dorsi*, de la canal izquierda, corte rib eye). Después las muestras de carne fueron empacadas al vacío y congeladas a -18 °C, para enviarse en condiciones de refrigeración por paquetería aérea a las instalaciones del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. de Hermosillo, Sonora (CIAD). Una vez en CIAD, las muestras de carne fueron cortadas en distintos trozos y especificaciones de grosor, siguiendo siempre el mismo orden de corte (de la parte caudal hacia la parte frontal del músculo LD), tal como se indica a continuación: Una rebanada de 1.5 cm de grosor para análisis proximal, dos rebanadas de 2.5 cm para evaluación sensorial, una rebanada de 2.5 cm para evaluación de textura, una rebanada de 1.5 cm para evaluación fisicoquímica, 5 rebanadas de 1.5 cm para el estudio de vida de anaquel, y una rebanada de 1.5 cm para composición de ácidos grasos. Las muestras para composición proximal y perfil de ácidos grasos fueron congeladas a -18 °C y descongeladas a 4 °C 24 h antes de su evaluación. Las demás muestras fueron procesadas inmediatamente para sus respectivas determinaciones.

Análisis de Calidad

Análisis Físicoquímicos

En el análisis físicoquímico se midió la capacidad de retención de agua (CRA), pH, textura y color de las muestras de carne fresca, siguiendo las técnicas descritas a continuación:

Capacidad de retención de agua. El análisis de la CRA se realizó siguiendo el procedimiento descrito por Sutton *et al.* (1997), basado en la centrifugación de la muestra de carne. Brevemente, se pesaron de 1.5 a 2 g de la muestra y fueron colocados en un filtro de gasa para ser introducido en una celda de centrifugación. Una vez colocadas las celdas en la centrifuga (modelo FX6100, marca Beckman), las muestras se sometieron a 3600 rpm durante cinco minutos a una temperatura de 5°C. El porcentaje de CRA, fue calculado en función de la diferencia de peso de la muestra antes y después de la centrifugación.

Potencial de hidrógeno (pH). Para la determinación del pH se utilizó un potenciómetro digital HANNA portátil con electrodo de penetración y termómetro (modelo HI 98140, GLP pH METER). Este se introdujo en la muestra de carne y se realizaron tres determinaciones por muestra, todas a temperatura ambiente.

Color. La determinación de color de las muestras de carne provenientes de cada tratamiento se realizó utilizando un colorímetro Minolta (modelo Chroma meter CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc. Japan). El método más común para evaluar objetivamente el color de la carne es a través del sistema de representación del color CIELAB. Este sistema emplea las coordenadas tricromáticas L* (luminosidad), a* (rojo-verde) y b* (amarillo-azul), de manera que relacionando estos valores se pueden obtener las coordenadas colorimétricas, intensidad de color o croma ($C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$) y ángulo de matiz ($Hue^0 = \arctan b^*/a^*$). Para ello se utilizó el iluminante D65 con 10° en el observador. La determinación de color incluyó las coordenadas antes mencionadas. Además se

estimó el ángulo de matiz (Hue°) utilizando la fórmula $\tan^{-1} (b/a)$. Se realizaron cinco determinaciones de color al azar sobre la superficie de las muestras frías (4-8 °C).

Textura. En éste análisis se determinó la fuerza necesaria para cortar un trozo de carne. Se midió el esfuerzo al corte (EC) utilizando un texturómetro Texture Analyzer T.A.X.T. Plus.

Para medir el EC en las muestras de carne se cortaron rebanadas de 2.5 cm de grosor, las cuales fueron cocinadas en un sartén eléctrico (Cook Master Ester, modelo 3222-3) hasta alcanzar una temperatura interna de 71°C (monitoreada por un termopar tipo T conectado a un lector). Una vez cocinadas, las muestras fueron enfriadas a temperatura ambiente (25 a 30°C) y posteriormente refrigeradas a 4°C por 24 h (AMSA, 1995).

Después de transcurridas las 24 h de refrigeración, la carne se cortó en cilindros de 3 cm de largo y 1.3 de diámetro cortados longitudinalmente a las fibras musculares. El EC se midió perpendicularmente a las fibras musculares, utilizando el accesorio cortador Warner-Bratzler montado en el texturómetro. El valor de EC fue expresado en kilogramos Fuerza (kgF). Se realizaron al menos 10 repeticiones por unidad experimental.

Análisis Químicos

Humedad. El análisis de humedad se realizó siguiendo la metodología descrita por AOAC (1990). Brevemente, se colocaron charolas de aluminio hasta llevarlas a peso constante en una estufa a 55°C durante 12 h. Transcurrido el tiempo establecido se dejaron enfriar las charolas por 1 h, para después tomar el peso. Posteriormente se tomaron aproximadamente 20 g de muestra, las cuales fueron trituradas con la ayuda de un procesador de alimentos (Osterizer, modelo 855-50M). De la carne triturada se tomaron aproximadamente 5 g de la misma (por duplicado) y se colocaron en las charolas de aluminio llevadas a peso constante,

para después introducirlas en una estufa a 55°C por un lapso de 24 h. Posteriormente las charolas se colocaron en un desecador (40 min). Cuando las charolas con las muestras secas se enfriaron, se pesaron para calcular la humedad por diferencia de peso.

Grasa. El análisis del porcentaje de grasa presente en las muestras de carne se determinó obtuvo el método descrito en la AOAC (1990). En la determinación se utilizó el equipo Goldfish (modelo 021198767v), y las muestras de carne seca que se obtuvieron en la determinación anterior de humedad. Al inicio de esta técnica, los vasos de Goldfish fueron lavados y llevados a peso constante. Posteriormente se tomaron entre 1 y 1.5 g de la muestra, para después colocarla en dedales. Una vez realizado lo anterior, se tomó el peso de los vasos Goldfish y se llenaron con 30 mL de éter etílico. Los vasos fueron colocados en el equipo Goldfish con su respectivo dedal durante 4 h. Una vez finalizado el tiempo de digestión, se apagó la fuente de calor para enfriar los vasos y finalmente pesarlos para calcular el porcentaje de grasa por diferencia.

Determinación del perfil de ácidos grasos. Se obtuvo la fracción lipídica de cada una de las muestras utilizando el método descrito por Bligh y Dyer (1959). Brevemente, se tomaron aproximadamente 20 g de carne previamente molidos, se les agregó 20 mL de cloroformo y 40 mL de metanol (Sigma-Aldrich, Missouri, USA) y se homogenizaron durante 2 min (11000 rpm) con un ultraturrax marca IKA modelo T25. Enseguida se les agregó 20 mL de cloroformo, 20 mL de hidróxido de potasio (0.8 %) y 16 mL de agua destilada, y nuevamente se homogenizaron por 2 min. Posteriormente se llevó a cabo una centrifugación a 3500 rpm durante 10 min en una centrifuga refrigerada a 0 °C (marca Beckman, modelo J2-21). Después el precipitado se eliminó y las dos fases fueron decantadas mediante un embudo de separación. Se colectó la fase inferior (cloroformo + ácidos grasos) en un vial de 30 mL y se le agregó unas gotas (aprox. 10 µL) de butil hidroxitolueno (BHT 1 g/10 mL de etanol, Sigma-Aldrich, Missouri, USA) con la finalidad de prevenir la oxidación de los lípidos mientras se

lleva a cabo su análisis. El vial se colocó en baño maría (34 a 36 °C) y el aire fue evacuado con flujo de nitrógeno (grado industrial, Praxair, México), para enseguida realizar el proceso de metilación.

El proceso de metilación de los ácidos grasos se realizó siguiendo la metodología reportada por Park y Goins (1994). En un tubo con tapón, se colocaron de 3 a 5 mL del extracto lipídico. Posteriormente los tubos fueron colocados en baño maría a una temperatura de 40 °C, y se añadieron 100 µL de diclorometano (Aldrich-Chemical, Wisconsin, USA) y 1 mL de hidróxido de sodio. Después, el tubo con la muestra fue calentado en baño maría a 90 °C por 10 min. Se retiró el vial del baño, se enfrió y se le adicionó 1 mL de trifluoruro de boro (Sigma-Aldrich, Missouri, USA), se agregó 1 mL de agua destilada, 500 µL de hexano (Aldrich-Chemical, Wisconsin, USA) y finalmente se le agregó 1 mg de estándar interno (Tridecanoico, Sigma-Aldrich, Missouri, USA). Para extraer los esteres metílicos de ácidos grasos (FAME, por sus siglas en ingles), se tomó exclusivamente la fase superior con una pipeta, para finalmente ser analizada o congelada para su posterior análisis.

La composición de ácidos grasos de los FAME, se analizó por cromatografía de gases utilizando un equipo Hewlett Packard 6890 Series, equipado con un detector por ionización de flama (FID) y un auto-muestreador 6890. Se utilizó una columna capilar analítica de sílice fundida (Supelco SP2560, 0.25mm de diámetro interno x 100 m de longitud, con un grosor de película de 0.2 µm). La temperatura del puerto de inyección se mantuvo a 250 °C y el detector a 300 °C. Los cromatogramas fueron registrados y almacenados en una computadora utilizando el software ChemStation. (Agilent ChemStation B.04.03) La identificación de ácidos grasos se hizo de acuerdo al tiempo de retención y al patrón de elución que mostraron los estándares PUFA No. 2 Animal Source, Supelco 4-7015-U. La cuantificación se realizó al integrar el área de los picos y fueron expresados como porcentaje del ácido graso del total de ácidos grasos presentes en la muestra. Así mismo, se calculó la suma de ácidos grasos saturados (AGS), ácidos grasos moinsaturados (AGM), ácidos grasos

poliinsaturados (AGP) y ácidos grasos *cis* (AGC). Se estimó también la relación AGP/AGS y n-6/n-3.

Análisis Sensorial

El análisis sensorial se llevó a cabo en una sesión de dos etapas. La primera etapa consistió en evaluar los parámetros sabor, olor, sensación grasa, ternura, jugosidad y cantidad de tejido conectivo en carne cocinada; para ello se utilizó luz roja en la sala durante la evaluación. Mientras que en la segunda etapa se evaluaron los atributos color y apariencia general en carne cruda, utilizándose luz blanca en la sala durante el análisis. Para el cocinado de las muestras se siguió la misma metodología que para la determinación de esfuerzo al corte. Las evaluaciones antes mencionadas, se realizaron por un panel entrenado constituido por 8 jueces, utilizando una escala semiestructurada de 10 cm, donde 0 representó el demérito del atributo y 10 una calificación favorable para los atributos de apariencia total, color, ternura, sabor, olor y jugosidad. Para los atributos sensación grasa y cantidad de tejido conectivo, 0 representó ninguna y el 10 abundante (ver anexos). Para la preparación y presentación de las muestras a los panelistas, se siguieron las recomendaciones de la AMSA (1995).

Calidad de la Carne Durante su Almacenamiento en Anaquel

La vida de anaquel de un alimento, es el tiempo durante el cual un producto alimenticio puede ser almacenado sin que se manifiesten cambios apreciables en su calidad e inocuidad. La importancia de realizar este estudio, fue para observar el posible efecto del ácido ferúlico sobre la estabilidad del color y la oxidación lipídica de la carne durante su almacenamiento en anaquel.

Para llevar a cabo este estudio, se tomaron 5 unidades experimentales (corte rib eye) de las muestras de carne del músculo de cada uno de los tratamientos antes mencionados. Cada unidad experimental se dividió a su vez

en 5 trozos. Posteriormente las chuletas fueron envasadas en empaque tradicional (empleado), para después ser refrigeradas a temperaturas entre 2 y 4° C durante 9 días. A los días 0, 3, 5, 7 y 9 se evaluaron los parámetros de color instrumental (misma técnica descrita en el apartado de análisis fisicoquímicos) y se calculó el ángulo de matiz. De igual manera, se llevó a cabo el análisis de oxidación de lípidos.

Determinación de la oxidación de lípidos. La oxidación de lípidos se realizó determinando las sustancias reactivas al ácido 2-tiobarbitúrico (TBARS, por sus siglas en inglés), de acuerdo con la metodología descrita por Pfalzgraf *et al.* (1995). El procedimiento se inició con la homogenización de 5 g de muestra con 15 mL de ácido tricloroacético. Lo anterior se realizó con la ayuda de un homogenizador Ultra Turrax (T25, IKA-Werke, USA) a una velocidad de 11,000 rpm durante 1 min. Se evitó el aumento de temperatura, manteniendo los tubos en hielo para evitar la oxidación lipídica.

Después de homogenizar la muestra, se filtró con papel filtro número 42 (Whatman International, Maidstone, England) y se tomaron 2 mL de filtrado, los cuales se mezclaron en tubos de ensaye que contenían 2mL de una solución 20 mM de TBA recién preparada. Posteriormente los tubos se homogeneizaron durante 30 s con un rotatubos (M G-560, VWR, Bohemia, N.Y. USA) y se calentaron a 97° C durante 20 min en un baño de agua para permitir el desarrollo del color. Una vez llevado a cabo el paso anterior, los tubos se enfriaron en hielo y se procedió a realizar la lectura de las muestras a 532 nm utilizando un espectrofotómetro Spectronic Genesis 5 modelo 336001 (Termo Electrón Corporation, USA). Los resultados fueron calculados mediante una curva patrón usando 1,1,3,3, tetrametoxipropano (TMP) y expresados como sustancias reactivas al ácido 2-tiobarbitúrico en mg de malonaldehído/kg de muestra.

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Los datos obtenidos en las determinaciones fisicoquímicas, químicas y sensoriales, fueron analizados bajo un diseño completamente al azar. Se realizó un análisis de una vía, tomado como efecto principal a los tratamientos. Cuando se presentó un efecto de los tratamientos se realizó adicionalmente una prueba de comparación de medias de rango múltiple de Tukey.

Por otra parte, los datos obtenidos en la determinación del estudio de vida de anaquel fueron analizados mediante un análisis de varianza GLM (modelo lineal general), bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4 x 5, siendo los factores principales los tratamientos y el tiempo de almacenamiento. Cuando hubo efecto de los tratamientos se realizó una comparación de medias por rango múltiple de Tukey. Se estimaron significancias a un nivel de probabilidad en el error tipo I de 0.05. Todos los datos se procesaron en el paquete estadístico NCSS (NCSS, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad Química y Fisicoquímica

Los resultados de los parámetros de calidad química (humedad y grasa) y fisicoquímica para el músculo LD de carne de res, se muestran en el Cuadro 2.

El porcentaje de humedad de la carne no fue afectado ($P \geq 0.05$) por ninguno de los tratamientos, encontrándose un valor promedio de aproximadamente 73%. De igual manera los valores de grasa intramuscular, pH, color instrumental y capacidad de retención de agua, no se vieron afectados ($P \geq 0.05$) por los tratamientos. Se observaron promedios generales de 2.3% para grasa y 5.57 para pH, mientras que para los parámetros de color L^* , a^* , b^* y ángulo de matiz fueron de 36.4, 17.0, 12.6, y 36 respectivamente. Para la CRA se tuvo un promedio de 25.16%.

Por otro lado, la textura de la carne así como la pérdida de peso por cocción (PPC) fueron afectadas ($P \leq 0.05$) tanto positiva como negativamente por los tratamientos. Con respecto a la textura de la carne, evaluada como esfuerzo al corte (EC), se observó que la carne del grupo de animales que fueron suplementados con AF durante los últimos 30 días, presentó el promedio de EC más bajo (7.94 kgF). Este valor fue diferente ($P \leq 0.05$) al observado para la carne del grupo de animales suplementados con el β -agonista CZ, quien presentó un promedio de 10.37 kgF. Por su parte, la carne de los grupos control y AF60 fueron iguales ($P \geq 0.05$) con respecto al resto de los tratamientos (9.05 y 8.32 kgF respectivamente).

En el caso de la PPC, se observó un mayor porcentaje en la carne de los grupos CZ (19.20%) y AF60 (19.65), ambos grupos diferentes ($P \leq 0.05$) a la del grupo control (16.25%), en donde se encontró el porcentaje mas bajo. La carne

Cuadro 2. Calidad Química y Fisicoquímica del músculo *Longissimus dorsi* para cada tratamiento.

Variables ²	Tratamientos ¹					Valor de P
	Control	AF30	AF60	CZ	EEM ³	
Humedad, %	73.33	73.10	73.41	73.02	0.37	NS
Grasa BH, %	2.15	2.13	2.52	2.36	0.35	NS
pH	5.60	5.54	5.57	5.57	0.06	NS
Valor L*	35.86	36.66	35.74	35.34	1.07	NS
Valor a*	17.29	16.86	17.55	16.39	0.80	NS
Valor b*	12.69	12.53	13.22	11.95	0.58	NS
Matiz	36.43	36.79	37.13	36.05	1.44	NS
EC, kgF	9.05 ^{ab}	7.94 ^a	8.32 ^{ab}	10.37 ^b	0.62	0.04
PPC, %	16.25 ^a	17.65 ^{ab}	19.65 ^b	19.20 ^b	0.71	0.01
CRA, %	24.37	25.73	25.44	25.13	1.57	NS

¹ Control: sin suplementación, AF30: ácido ferúlico los últimos 30 días de engorda, AF60: ácido ferúlico los últimos 60 días de engorda, CZ: clorhidrato de zilpaterol los últimos 30 días de engorda. ² EC: esfuerzo al corte, PPC: pérdida de peso por cocinado, CRA: capacidad de retención de agua. ³ EEM: error estándar de la media. ^{ab} Medias con diferente literal dentro de hilera, son diferentes ($P \leq 0.05$).

del grupo AF30 presentó una PPC de 17.65 %, y no presentó diferencias ($P \geq 0.05$) con los demás tratamientos. De los resultados obtenidos en el presente estudio, se esperaba que en el contenido de grasa intramuscular se presentara una diferencia significativa entre tratamientos debido al empleo de compuestos con actividad lipolítica como son los β - agonistas. Sin embargo, a pesar de que eso no sucedió así, el contenido de grasa de la carne para todos los tratamientos probados puede considerarse bajo (Lawrie, 1998). Lo anterior puede deberse a que los animales del presente estudio eran jóvenes (menores de 30 meses de edad) y generalmente la deposición de grasa intramuscular en esa edad es poca. Además, los resultados obtenidos se puede deber también a que la influencia racial (cruzas) de estos animales se caracteriza por depositar poca grasa intramuscular (Martínez, 2008).

En el caso de los valores observados de pH, en general se encuentran en el rango normal de 5.6 a 5.85 para carne fresca de res (Hui, 2006; Lawrie, 1998), lo cual indica que los animales fueron sacrificados bajo condiciones mínimas de estrés y el proceso de enfriamiento de las canales fue adecuado. Así mismo, los resultados de pH en el presente trabajo, concuerdan con algunos estudios (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Strydom, 1998) donde se ha utilizado CZ como promotor de crecimiento de ganado bovino en finalización y no se ha observado un efecto negativo significativo en el pH de la carne debido a la suplementación de este compuesto. En cuanto al efecto de la suplementación de AF sobre el pH de la carne, no se encontraron reportes de estudios similares, pero de igual manera su suplementación no afectó dicho parámetro.

El contenido de humedad observado en la carne de los 4 grupos experimentales se encuentra dentro de los valores reportados como normales (72-75%) para carne fresca de res (Hui, 2006). Así mismo, estos porcentajes de humedad son similares a los reportados en otro estudio con bovinos en confinamiento y que fueron suplementados con el β -agonista CZ (Holmer *et al.* 2009). Es importante mencionar que la suplementación de AF tampoco afectó el contenido de humedad.

En cuanto a los parámetros de color L^* a^* b^* y ángulo de matiz, los valores obtenidos son similares a los reportados por Torrescano *et al.*, (2010), para el músculo LD de ganado bovino engordado bajo condiciones muy semejantes al presente estudio en la región noroeste de México. Además, al igual que en el presente estudio, Avendaño-reyes *et al.*, (2006) reportaron que la suplementación de CZ a bovinos en confinamiento no afectó el color de la carne. Sin embargo, estudios realizados por Mullen *et al.* (2004), indican que al suplementar β -agonistas y si al momento del sacrificio animal, se tienen valores de pH y temperatura elevados (ocasionados por el estrés) se puede provocar un aumento en la actividad enzimática y una disminución en el contenido de oxígeno, lo cual puede traer como consecuencia un oscurecimiento en la superficie de la carne. Lo anterior también puede estar acompañado de una CRA alta, ocasionando un rechazo de la carne por parte del consumidor.

Con respecto a la CRA de la carne, los valores observados son menores a los reportados en otro estudio (60 %) donde se evaluó el efecto de dos β -agonistas sobre la calidad de la carne de res (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006). Sin embargo, ellos tampoco detectaron un efecto de los tratamientos sobre este parámetro. En otros estudios (Barriada, 1993; Boakie y Mittal, 1993) donde se han realizado mediciones de CRA, mencionan que la variación de este parámetro puede deberse en parte al valor de pH final de la carne, ya que este determina las cargas eléctricas de las proteínas y por tanto la capacidad de estas para retener agua, es decir, que a pH mas elevados, mayor carga neta y por ende se puede presentar una mayor CRA. En el presente estudio posiblemente no se encontraron diferencias en la CRA debido a que el pH final de la carne se encontró muy cerca del punto isoeléctrico de las proteínas de la carne (5.5), donde la carga neta de estas es cercana a 0.

Con respecto a la evaluación del EC, se observaron los valores más bajos en la carne proveniente del tratamiento AF30 con respecto a la carne del grupo CZ. Lo anterior indica que la carne del primer tratamiento es más tierna que la del segundo. En estudios recientes (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Moron-

Fuenmayor *et al.*, 2002) donde se ha evaluado el efecto de los β -agonistas sobre la terneza de la carne de res en el músculo LD, se ha encontrado que esta se hace mas dura por el uso de estos compuestos, reportándose valores por arriba de los 9 KgF. Investigaciones realizadas mencionan que el empleo de anabolizantes en la producción animal, se traduce en una influencia negativa sobre la terneza de la carne (Morgan, 1997; Platter, 2001; Rumsey *et al.*, 1999). También se ha reportado (Gessink *et al.*, 1993; Wheeler y Koohmaraie, 1992) que el incremento en la dureza de la carne de animales tratados con β -agonistas, puede deberse principalmente a que estos compuestos provocan una reducción de la actividad de enzimas proteolíticas musculares identificadas como calpaínas. Dicha reducción en la actividad de estas últimas se debe a un incremento de sus inhibidoras las calpastatinas.

De acuerdo con lo anterior, según la clasificación de la terneza de la carne de res que hacen Shackelford *et al.* (1999), la carne del grupo de AF30 puede ser considerada como una carne semidura, ya que se encuentra en el rango de 6 a 9 kgF, al igual que la carne del grupo AF60, mientras que la carne de CZ y grupo control serían catalogado como carne dura ya que sobrepasa los 9 kgF.

El hecho de que la carne de los animales suplementados con AF durante 30 días haya resultado con menor EC que la del grupo suplementado con CZ, tal vez pueda deberse que aunque el AF tiene una estructura química muy similar a los compuestos β -AA, posiblemente su mecanismo de acción a nivel celular sea distinto a estos compuestos. Otra razón puede ser que tal vez su actividad como agente anabolizante β -agonista sea más moderada que el producto comercial CZ.

Por otra parte, los valores más altos de PPC en el grupo de animales suplementados con AF60 y CZ con respecto al grupo control, pueden atribuirse al posible aumento de la fibra muscular debido al efecto promotor del crecimiento de ambos compuestos. Debido a lo anterior, puede presentarse un mayor atrapamiento de agua por los espacios intra y extra miofibrilar y por ende una mayor pérdida de agua al momento de la cocción. Es por ello, que los cambios

en la arquitectura celular influyen sobre la habilidad de la célula muscular en retener agua (Huff-Lonergan y Lonergan, 2005). Otras investigaciones (Miller, 1994; Offer *et al.*, 1989) sugieren que la pérdida de peso debido a la cocción depende de varios factores tales como: tiempo de cocción, la dimensión del trozo, las propiedades físicas de la carne y temperatura final de cocción, siendo este último, el principal factor en las pérdidas por cocción. Estos mismos autores mencionan que no todo lo que se pierde es agua, ya que la carne con mayor contenido de grasa al calentarse, esta última se funde y se sitúa a lo largo de las bandas del tejido conectivo perimisial actuando como una barrera frente a las pérdidas de humedad. Sin embargo, en el presente estudio no es posible basarse en esta afirmación, ya que cabe señalar que el porcentaje de grasa se consideró como bajo y no fue afectado por los tratamientos.

Aunque la PPC sufrió cambios significativos debido a los tratamientos, puede hacerse notar una baja variabilidad, ya que los promedios fluctuaron entre un 16.20 y un 19.20% de PPC. Así mismo, las significancias observadas en la PPC concuerdan con lo reportado por Holmer *et al.*, (2009) quienes indican una disminución de esta variable debido al uso de CZ en bovinos en confinamiento. Sin embargo, en ese mismo estudio se reportan valores más bajos de PPC (14.5%) con respecto a los observados en el presente trabajo.

Perfil de Ácidos Grasos

En el cuadro 3 se muestran los resultados obtenidos en el perfil de ácidos grasos para cada tratamiento. En cuanto al perfil de AGS del músculo LD, los más predominantes fueron el C16:0 (ácido palmítico) y el C18:0 (ácido esteárico). El ácido graso (AG) C16:0 fue afectado por los tratamientos ($P \leq 0.05$), observándose un mayor contenido en la carne proveniente de los animales suplementados con CZ (29.41%), mientras que la carne del grupo AF30 presentó el porcentaje más bajo (20.07%). Por su parte, el ácido esteárico no fue afectado

Cuadro 3. Composición de de ácidos grasos (% del total de ácidos grasos determinados) del músculo *Longissimus dorsi* de bovino por tratamiento.

Acido graso	Tratamientos					Valor de P
	Control	AF30	AF60	CZ	EE ²	
<i>Saturados (AGS)</i>						
C10:0 (cáprico)	0.64	0.81	0.62	1.02	0.16	0.27
C12:0 (láurico)	0.68	0.74	0.59	0.96	0.13	0.25
C14:0 (mirístico)	4.46	3.79	5.33	3.65	0.71	0.34
C15:0 (pentadecanoico)	0.84 ^a	2.97 ^b	1.41 ^a	1.02 ^a	0.37	0.001
C16:0 (palmitico)	26.99 ^{ab}	20.04 ^a	27.44 ^{ab}	29.41 ^b	1.96	0.01
C17:0 (heptadecanoico)	1.66	1.81	1.76	1.57	0.23	0.87
C18:0 (esteárico)	21.57	15.69	16.58	16.51	1.57	0.055
C22:0 (behénico)	0.56 ^a	1.09 ^{ab}	0.91 ^{ab}	1.46 ^b	0.17	0.001
<i>Monoinsaturados (AGM)</i>						
C14:1 (miristoleico)	0.79 ^a	2.81 ^b	1.76 ^{ab}	1.39 ^a	0.29	0.001
C15:1 (pentadecanoleico)	0.73	1.69	1.76	1.73	0.31	0.07

Continuación...						
C16:1 (palmitoleico)	4.13	5.77	3.82	3.56	0.69	0.14
C18:1 n9 <i>cis</i> (oleíco)	27.06	30.09	26.73	26.54	2.90	0.82
Poliinsaturados (AGP)						
C18:2 n6 <i>cis</i> (linoleico)	3.67 ^a	5.46 ^{ab}	7.53 ^b	6.55 ^b	0.62	0.001
C18:3 n6 (gamalinolénico)	0.50	0.78	0.85	1.14	0.19	0.14
C18:3 n3 (alfa-linolénico)	0.52	0.90	0.89	0.77	0.17	0.40
C20:3 n6 (eicosatrienoico)	1.65	1.79	1.42	2.03	0.19	0.18

¹ Control: sin suplementación, AF30: ácido ferúlico los últimos 30 días de engorda, AF60: ácido ferúlico los últimos 60 días de engorda, CZ: clorhidrato de zilpaterol los últimos 30 d de engorda.² Error estándar de la media. ^{ab} Medias con diferente literal dentro de hilera, son diferentes (P≤0.05).

por los tratamientos ($P > 0.05$), obteniéndose valores alrededor de 18 % en todos los tratamientos. De los AGS minoritarios y que fueron afectados por los tratamientos ($P \leq 0.05$), se encuentran el C15:0 (ácido pentanoico) y C22:0 (ácido behénico). Para C15:0 se detectó una mayor cantidad en la carne de los animales de AF30 (2.97%), el cual fue diferente de los demás tratamientos. Para C22:0, el mayor porcentaje se observó en CZ (1.46%) y el menor contenido fue en el control (0.56%).

Es importante mencionar que actualmente no hay información disponible de estudios previos realizados para determinar el efecto del uso de β -agonistas y/o AF sobre el perfil de ácidos grasos en carne de bovino.

De acuerdo con varios reportes del perfil lipídico del músculo LD de bovinos en confinamiento (Muchenje *et al.*, 2009; Alfaia *et al.*, 2006; Herdmann *et al.*, 2010), los porcentajes de AGS que se encontraron en el presente estudio se reportan dentro de los valores normales para este tipo de músculo. Además, cabe destacar que un alto contenido de AGS está relacionado con el padecimiento de enfermedades cardiovasculares. Siendo importante mencionar, el C16:0 el cual es el ácido graso menos saludable pues es el que provoca que aumenten los niveles de colesterol total y LDL en la sangre, por lo que es el más aterogénico. Por lo anterior, y debido a la presencia de un menor contenido de C16:0 en la carne de los animales suplementados con AF durante 30 días, podríamos suponer que la carne de este grupo es menos aterogénica. Por otro lado, el contenido de C18:0, que fue similar entre los tratamientos, se ha reportado que no posee efecto negativo sobre la salud cardiovascular (Días *et al.*, 2008).

Por otro lado, Ibrahim *et al.* (2006), mencionan que la composición de AG de la carne de bovino está influenciada principalmente por el régimen alimentario, el genotipo y la edad. Estos mismos autores indican que el contenido de AGS puede ser disminuido en la carne por el uso de implantes hormonales como el zeranol. En otro estudio, Dannenberger *et al.* (2007) reportaron porcentajes más bajos de AGS con respecto a los que se reportan en este

estudio, y esto obedece primordialmente a que en su investigación los animales fueron alimentados con una dieta rica en AGP.

Con respecto a los AGM, el ácido graso C18:1 n9 *cis* (ácido oleico) fue el mayormente detectado, pero no fue afectado por los tratamientos ($P > 0.05$), observándose valores entre 27 y 30%. El C18:1 n9 *cis*, es uno de los ácidos grasos *cis* más abundante en la carne de bovino con valores que van de 28.5 a 40% (Ribeiro *et al.*, 2006). Además, es importante en la salud humana, ya que ejerce una acción beneficiosa sobre el sistema vascular y el corazón (Sacks y Katana, 2002). Dannenberger y colaboradores (2007) evaluaron el efecto del sistema de alimentación (intensiva vs extensiva) en bovinos, y reportan porcentajes de ácido oleico similares al observado en ese estudio (25-32 %).

Por otro lado, el contenido de C14:1 (ácido miristoleico) fue modificado por los tratamientos ($P \leq 0.05$), observándose que la carne del grupo AF30 presentó la mayor concentración (2.81%) con respecto a los otros tratamientos. Sin embargo, los valores se encontraron dentro de los valores normales reportados para bovinos en confinamiento (Ribeiro *et al.*, 2006; Salgueiro *et al.*, 2007). El C14:1 es un AG que ayuda a mantener la permeabilidad de las membranas celulares y contribuye a prevenir enfermedades cardiovasculares (Sacks y Katana, 2002).

Para el caso de los AGP, los valores individuales detectados se encuentran dentro de los rangos reportados para bovinos bajo alimentación intensiva (Muchenje *et al.*, 2009; Montero-Lagunes *et al.*, 2011). Además, el C18:2 n6 *cis* (ácido linoleico), fue detectado en mayor cantidad y fue modificado por los tratamientos ($P \leq 0.05$), observándose un mayor contenido en la carne de los animales suplementados con AF o CZ, con respecto al control. La presencia de este ácido graso es de suma importancia para la obtención de ácidos grasos esenciales como lo son el ácido eicosapentanoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA), los cuales son importantes para la prevención de muchas enfermedades, además de que intervienen en diferentes procesos fisiológicos. En este sentido, la OMS recomienda ingestas diarias que van desde 8-12 % del total de la dieta,

ya que un exceso en su aporte puede limitar la síntesis de EPA y DHA (Djoussé *et al.*, 2001). En el presente estudio, los valores encontrados en la carne representan entre el 50 y 70% de la recomendación hecha por la OMS.

Las sumas parciales y los índices de valor nutricional de la grasa intramuscular se muestran en el cuadro 4. En el caso de las sumas parciales, la grasa intramuscular de la carne de todos los tratamientos presentó un mayor contenido de AGS (55.7%) del total de ácidos grasos cuantificados, sin embargo, este contenido no fue afectado por los tratamientos ($P>0.05$). De igual manera en el contenido total de AGM no se encontró efecto significativo ($P>0.05$), y los valores observados estuvieron entre un 32 y 39%. Por otro lado, el contenido de AGP fue detectado en menor porcentaje y esta proporción fue afectada por los tratamientos ($P\leq 0.05$), presentándose un mayor contenido de AGP en la carne del grupo de animales que fueron suplementados con AF ó CZ (10%), el cual fue diferente a la proporción cuantificada en la carne del grupo control (6.58%).

Para el caso de la suma parcial de AGC, esta no fue modificada por los tratamientos ($P>0.05$), observándose un valor promedio de aproximadamente 33%. La Σ n-6 se vio modificada por los tratamientos ($P\leq 0.05$), se observaron cantidades mayores en la carne de los grupos AF30, AF60 y CZ (9.24%), las cuales fueron diferentes al contenido observado en la carne del grupo control, quien presentó valores de aproximadamente 5.8%. La Σ n-3 no fue afectada por los tratamientos ($P>0.05$), y los valores observados se mantuvieron entre 0.49 y 0.89%, aproximadamente.

En los índices de valor nutricional, la relación AGP/AGS fue afectada por los tratamientos ($P\leq 0.05$), observándose que la carne de los animales que fueron suplementados con AF ó CZ, presentó índices de hasta 0.18. Por el contrario, en la carne del grupo control se observó una relación más baja (0.11), que la observada en el resto de los tratamientos. En el caso de la relación n-6/n-3, esta no fue modificada por los tratamientos ($P>0.05$), y se obtuvieron relaciones de estos ácidos grasos que fueron de 7.7 hasta 16.

Cuadro 4. Sumas parciales de ácidos grasos y valor nutricional de la grasa intramuscular del músculo *Longissimus dorsi* de bovino por tratamiento.

	Tratamientos ¹				EEM ²	Valor de P
	Control	AF30	AF60	CZ		
Sumas parciales ³						
Σ AGS	59.62	52.99	54.85	55.63	3.11	0.46
Σ AGM	32.73	39.29	32.04	33.23	2.88	0.30
Σ AGP	6.58 ^a	9.04 ^{ab}	10.73 ^b	10.51 ^b	0.76	0.001
Σ AGC	32.73	34.81	32.22	33.10	3.42	0.95
Σ n-6	5.82 ^a	8.19 ^{ab}	9.80 ^b	9.74 ^b	0.69	0.001
Σ n-3	0.44	0.85	0.89	0.77	0.19	0.44
Indices						
AGP/AGS	0.11 ^a	0.18 ^{ab}	0.19 ^b	0.19 ^b	0.018	0.02
n-6/n-3	16.08	7.75	16.08	8.95	3.28	0.22

¹Control: sin suplementación, AF30: ácido ferúlico los últimos 30 días de engorda, AF60: ácido ferúlico los últimos 60 días de engorda, CZ: clorhidrato de zilpaterol los últimos 30 d de engorda.

²Error estándar de la media. ^{ab} Medias con diferente literal dentro indican diferencia ($P \leq 0.05$).

³Las siglas se definen como sigue: AGS, ácidos grasos saturados; AGM, ácidos grasos monoinsaturados; AGP, ácidos grasos polinsaturados; AGC, ácidos grasos *cis*; n-6, ácidos grasos omega 6; n-3, ácidos grasos omega 3.

Σ AGS= C10:0 +C12:0+C14:0+C15:0+C16:0+C17:0+ C18:0+C22:0

Σ AGM= C14:1+C15:1+C16:1+C18:1n-9 *cis*.

Σ AGP= C18:2 n-6 *cis*+C18:3 n-6+C18:3 n-3+C20:3 n-6.

Σ AGC= C18:1 n-9 *cis* +C18:2 n-6 *cis*.

Σ n-6= C18:2 n-6 *cis* + C18:3 n-6 + C20:3 n-6

Σ n-3= C18:3 n-3.

Los resultados de las sumatorias de ácidos grasos del presente estudio son similares a los reportados por otros estudios en carne de bovinos alimentados bajo condiciones intensivas (Salgueiro *et al.*, 2007; Montero-Lagunes *et al.*, 2007). Sin embargo, la sumatoria de AGS está ligeramente por arriba y la suma de AGP se encuentra por debajo de los valores reportados por Muchenje *et al.* (2009) para bovinos alimentados en las mismas condiciones, quienes encontraron rangos que van desde 40-50% para AGS, 26-37% para AGM y 13-32 % para AGP.

En cuanto a la suma total de n-3 y n-6, estas se encuentran dentro de los rangos reportados por Alfaia *et al.* (2007) para el músculo LD de carne de bovino (1.8-8 y 5-29%, respectivamente). El consumo dietario de estos ácidos grasos es de suma importancia ya que intervienen en diversos procesos fisiológicos y metabólicos (Eriksson y Pickova, 2007), y además se ha demostrado que provocan efectos beneficiosos en la salud humana (Muchenje *et al.*, 2009).

En la relación AGP/AGS los valores observados concuerdan con algunos estudios como el de Alfaia, (2006), en bovinos criados bajo un sistema intensivo. Otros autores como Scollan *et al.* (2006), indican que esta relación es importante ya que esta asociada con el padecimiento de enfermedades cardiovasculares y que normalmente los valores de esta relación se encuentran alrededor de 0.1 en carne de bovino, lo cual concuerda con los valores encontrados en este estudio.

Por otro lado, los valores encontrados en la relación n6/n3 concuerdan con el estudio de Montero-Lagunes *et al.* (2011), en donde se evaluó el perfil de AG en bovinos alimentados en pastoreo y corral. Sin embargo, otros autores (Dierking *et al.* 2010) recomiendan que una relación n6/n3 entre 2.5 y 5 sería considerado óptimo y benéfico para la salud. Estos mismos autores indican que valores por abajo o por encima del rango recomendado, es considerado un factor de riesgo para la presentación de enfermedades cardiovasculares. Desde este punto de vista, los valores del índice n6/n3 observados en la carne del presente estudio, pueden representar una desventaja para el consumidor ya que son superiores a lo recomendado.

Calidad Sensorial

En el cuadro 5 se muestran los parámetros de calidad sensorial evaluados para el músculo LD de carne de res. De acuerdo con los resultados obtenidos, en general los panelistas entrenados no percibieron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los tratamientos para los atributos sensoriales de color total, apariencia, olor, sensación grasa y tejido conectivo. Se obtuvieron calificaciones aceptables de 7.56 para color total, 7.28 en apariencia, 8 para olor, 3.36 en sensación grasa y 1.5 para tejido conectivo. Sin embargo, el panel percibió diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos para las características sensoriales de terneza, jugosidad y sabor, los cuales fueron calificados con valores más altos en la carne proveniente del grupo AF30 (7.68, 7.09 y 7.73 respectivamente), y fueron diferentes ($P \leq 0.05$) a los percibidos para la carne del grupo CZ (6.85, 6 y 6.56 respectivamente).

Cabe destacar que la ausencia de significancias en los valores de grasa intramuscular y color instrumental presentados en calidad química y fisicoquímica, coincide con lo detectado por el panel entrenado para las variables de color total y sensación grasa, ya que los panelistas tampoco detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos. De igual manera esta consistencia de resultados se presentó en la textura de la carne, pues tanto en la evaluación sensorial realizada por panelistas, así como los resultados de EC realizado en el texturómetro, indicaron que la carne del grupo AF30 es más blanda con respecto a la carne de CZ. Las diferencias detectadas por los panelistas indican que, la carne del grupo AF30 fue percibida como más blanda, jugosa y con mayor sabor que la carne proveniente del grupo CZ. Algunas investigaciones como las realizadas por Mondragón (2008) y Stoller *et al.* (2003), reportan que no hay un

Cuadro 5. Parámetros de calidad sensorial del músculo *Longissimus dorsi* para cada tratamiento experimental.

Variable	Tratamientos ¹					Valor de P
	Control	AF30	AF60	CZ	EEM ²	
Color total	7.68	7.51	7.65	7.41	0.15	NS
Apariencia	7.43	7.41	7.11	7.17	0.15	NS
Olor	8.05	8.05	7.90	7.89	0.14	NS
Terneza	7.01 ^{ab}	7.68 ^b	7.54 ^{ab}	6.85 ^a	0.19	0.007
Jugosidad	6.49 ^{ab}	7.09 ^b	6.76 ^{ab}	6.00 ^a	0.21	0.003
Sabor	7.36 ^{ab}	7.73 ^b	7.32 ^{ab}	6.56 ^a	0.21	0.002
Sensación grasa	3.66	3.22	3.62	3.34	0.35	NS
Tejido conectivo	1.67	1.57	1.50	1.42	0.26	NS

¹ Control: sin suplementación, AF30: ácido ferúlico los últimos 30 días de engorda, AF60: ácido ferúlico los últimos 60 días de engorda, CZ: clorhidrato de zilpaterol los últimos 30 días de engorda.

^{ab} Medias con diferente literal dentro de hilera, son diferentes ($P \leq 0.05$). ² Error estándar de la media.

efecto en la ternura sensorial al emplear como promotor del crecimiento a CZ en bovinos en finalización, y lo anterior se lo atribuyen a factores como la raza, el sexo, la alimentación y tipo de β -agonistas suplementado. Por otro lado, la disminución de la ternura de la carne de res por efecto de la suplementación de CZ en la última etapa de la engorda en corral ha sido reportada en otros estudios, y esta disminución se la atribuyen como se mencionó anteriormente, a la inhibición de las enzimas proteolíticas calpainas (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Moron-fuenmayor *et al.*, 2002). Con respecto al efecto del AF sobre la ternura de la carne de bovino, no se ha reportado nada hasta hoy.

En cuanto a la mayor aceptabilidad de sabor percibido en la carne del grupo AF30 por parte de los panelistas, puede deberse principalmente a la mayor jugosidad detectada en la carne de este mismo grupo. Algunos estudios, mencionan que el jugo de la carne juega un papel importante en la impresión de la palatabilidad. Lo anterior debido a que contiene muchos de los componentes del sabor, los cuales son compuestos hidrosolubles de bajo peso molecular tales como aminoácidos, azúcares, péptidos, nucleótidos y compuestos nitrogenados que derivan del calentamiento de la carne (Geay *et al.*, 2001; Warris, 2000).

Es importante mencionar que el uso del AF en animales ha sido limitado hasta ahora. En un estudio reciente realizado en camarones *litopeneus vanamei* se demostró que estos presentaron mejores propiedades sensoriales como sabor, olor y color al ser tratados con 2% de AF y sometidos posteriormente a un almacenamiento en congelación con respecto a aquellos que no fueron tratados (Nilesh *et al.*, 2009).

Aunque la carne de los bovinos que fueron suplementados no fueron afectados por los tratamientos con respecto al control, cabe destacar que la carne de AF30 presentó mejores atributos sensoriales con respecto a la carne de CZ.

Calidad de la Carne Durante su Almacenamiento en Anaquel

La figura 4 muestra los cambios de TBARS y las figuras 5 a la 8, el comportamiento de los parámetros de color, en la carne durante su almacenamiento a 4° C por 9 días, simulando las condiciones del anaquel en el supermercado.

Como se puede observar en la figura 4, los valores de TBARS, fueron afectados ($P \leq 0.05$) por los tratamientos. Se puede observar, como la carne del grupo AF60 presentó los valores de TBARS más altos que con respecto a los demás grupos desde el inicio de almacenamiento. Se ha reportado que cuando la carne alcanza valores por encima de 2.3 g de manolaldehído/kg, el consumidor cataloga a esa carne como un producto oxidado y por tanto es motivo de rechazo (Campo *et al.*, 2006). Aunque en este análisis no se evaluó las características sensoriales a través del tiempo, en este caso AF60 sobrepasó esos límites a partir de los primeros días de almacenamiento. Así mismo, en este mismo estudio, no se evaluó la concentración de AF que se pudo acumular en la carne de bovino, sin embargo, posiblemente el suplementar AF durante 60 días, ocasiona que este compuesto se deposite en mayor cantidad en la carne. Se sabe que cuando un compuesto antioxidante se encuentra en altas concentraciones, este puede revertir su acción y comportarse como un agente prooxidante (Bravo, 1998; Guija *et al.*, 2005; Yoshino *et al.* 1999). De acuerdo con lo anterior, posiblemente el suplementar AF durante 60, este actúa como un prooxidante.

La carne de los demás tratamientos se mantuvo en niveles muy cercanos entre ellos, sin embargo a partir del séptimo día de almacenamiento la carne del grupo AF30 presentó estabilidad en la oxidación lipídica, lo cual continuó así hasta el último día de almacenamiento, obteniendo los valores de TBARS más

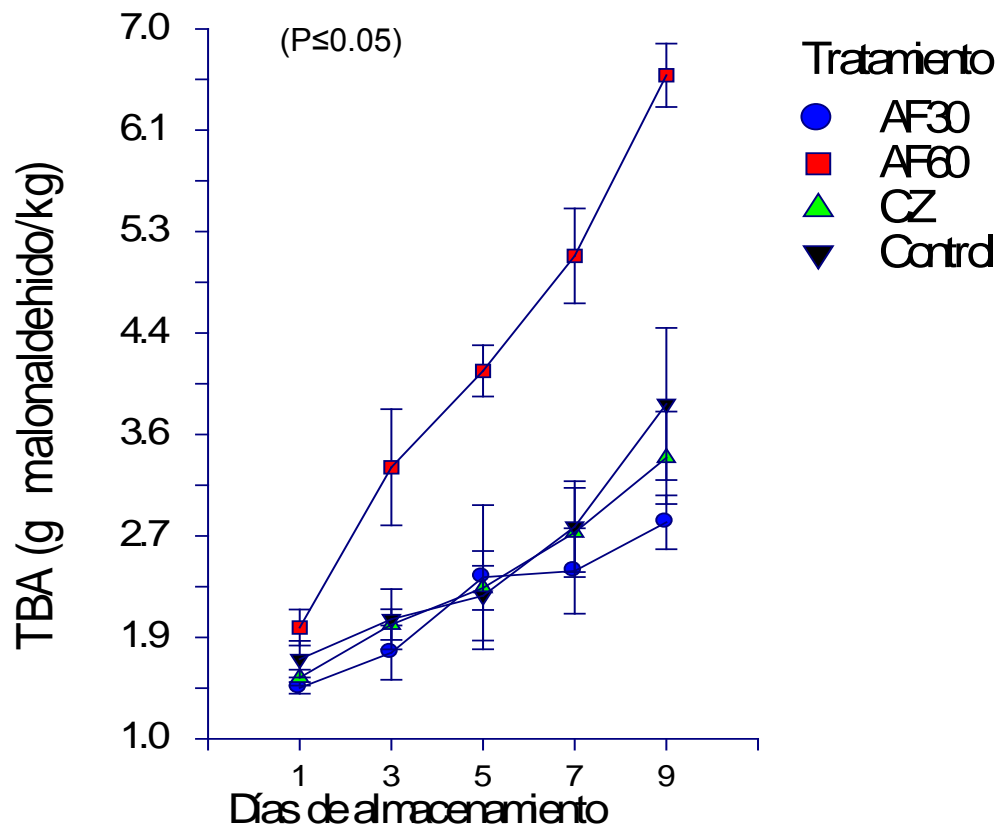


Figura 4. Cambios en el TBARS de la carne durante el almacenamiento en refrigeración.

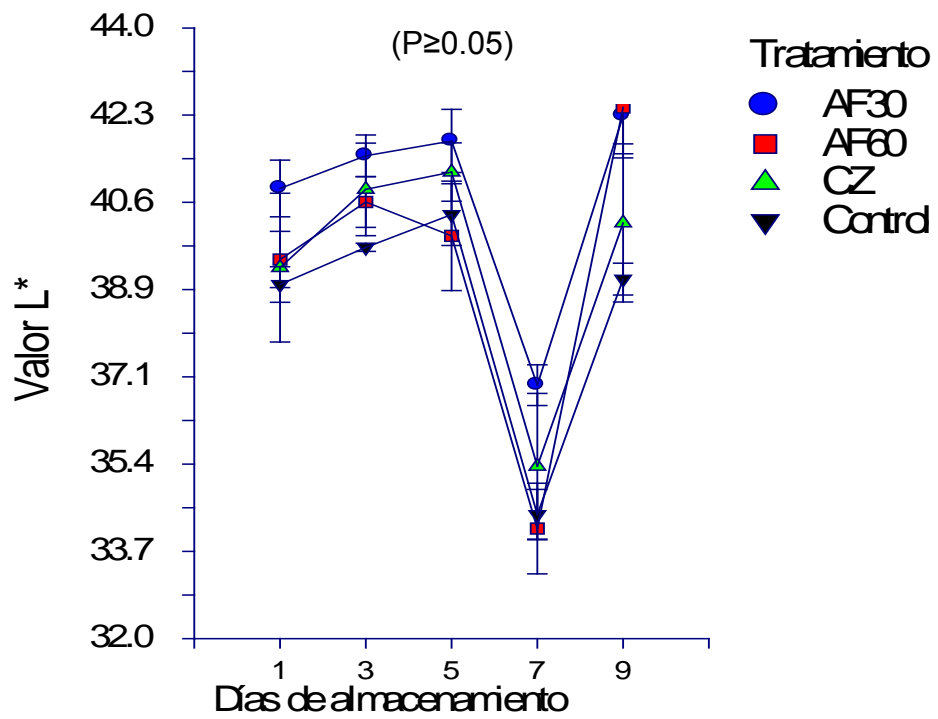


Figura 5. Comportamiento del parámetro de color L^* de la carne durante el almacenamiento en refrigeración.

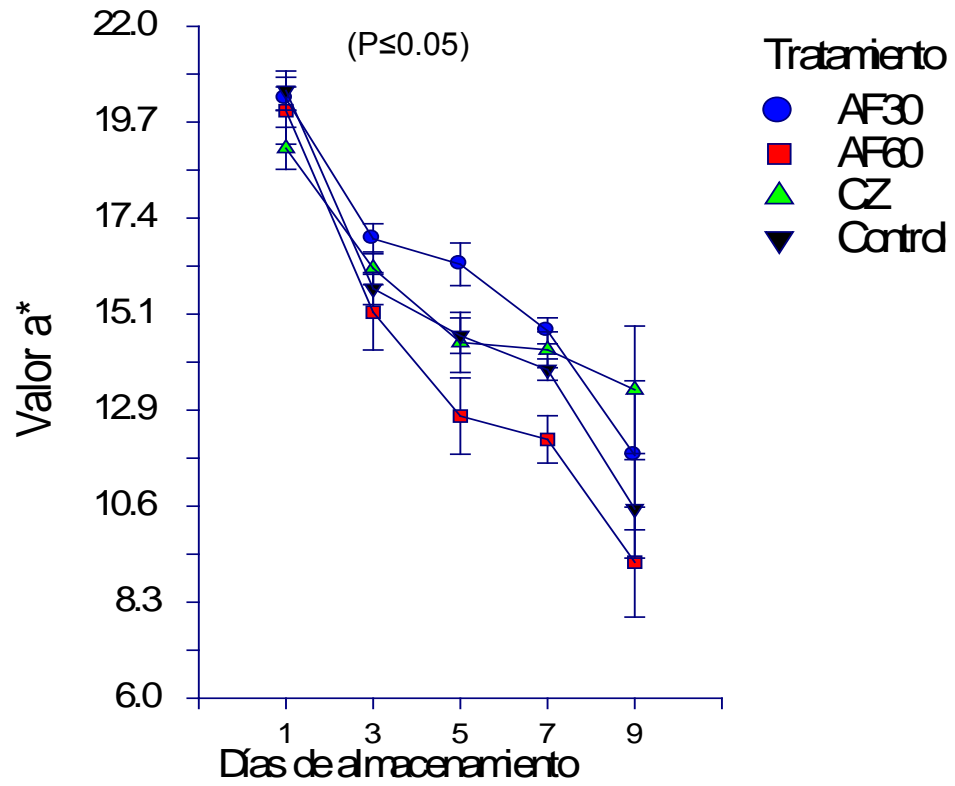


Figura 6. Comportamiento del parámetro de color a^* de la carne durante el almacenamiento en refrigeración.

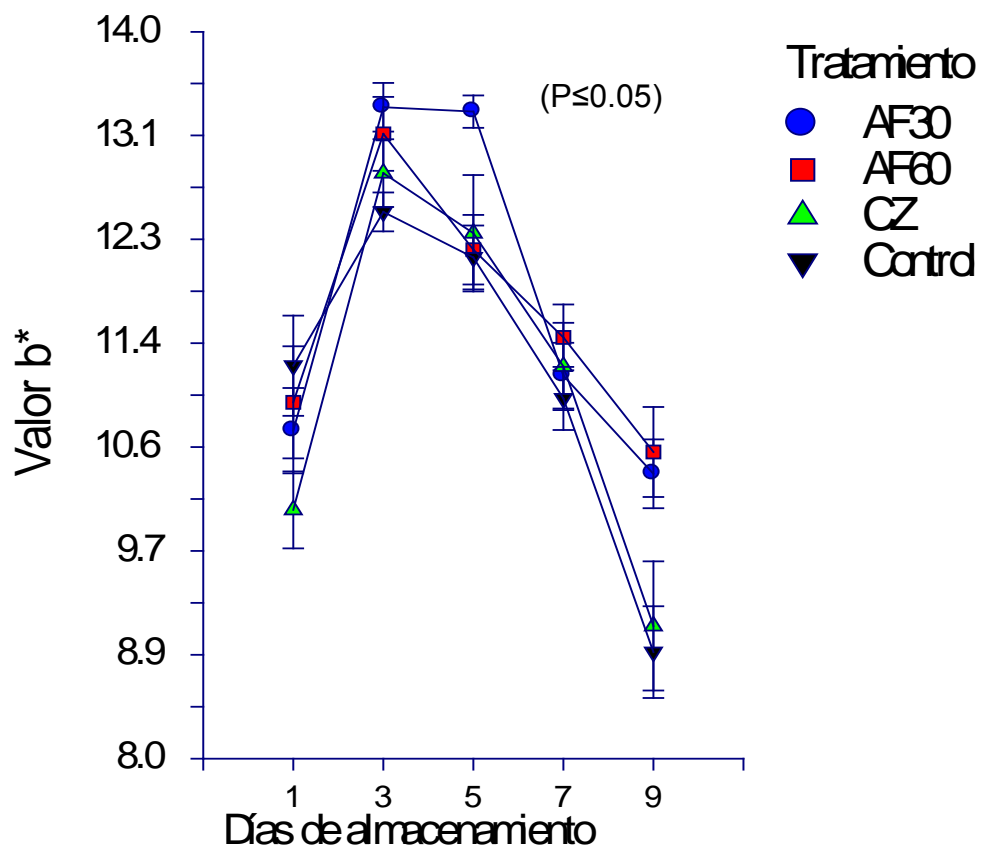


Figura 7. Comportamiento del parámetro de color b^* de la carne durante el almacenamiento en refrigeración.

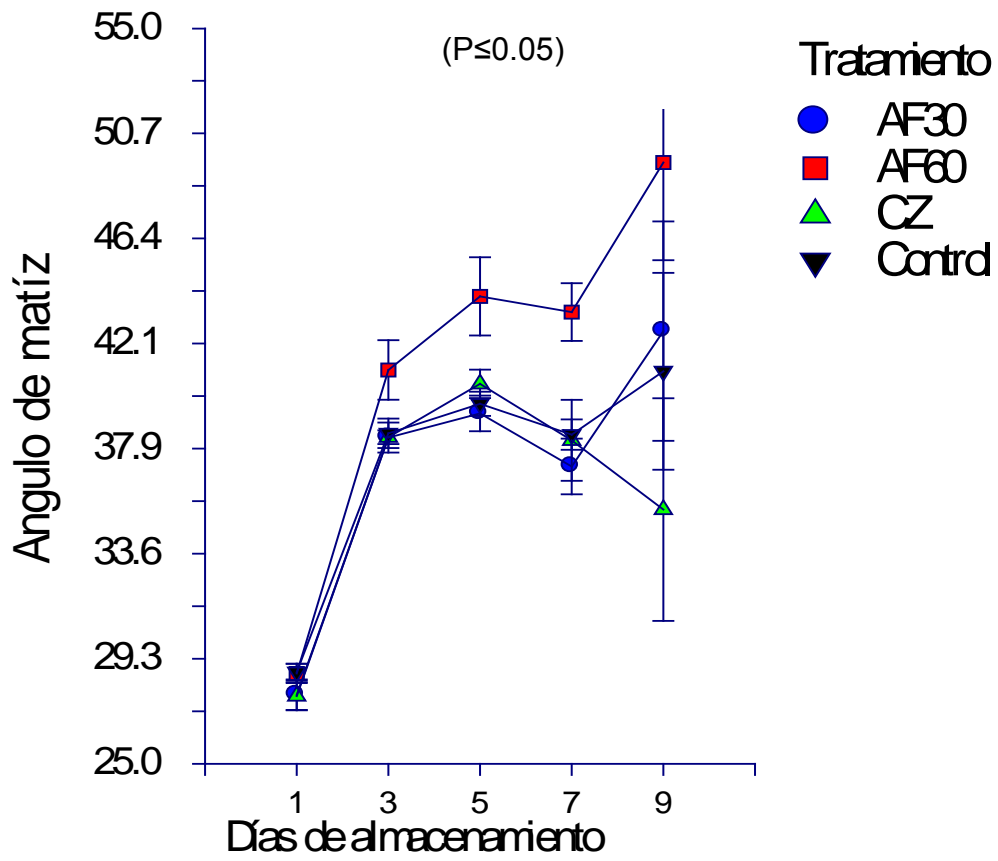


Figura 8. Comportamiento del parámetro del ángulo de matiz de la carne durante el almacenamiento en refrigeración.

bajos, que con respecto al resto de los grupos experimentales, lo cual sugiere que AF30 actuó como antioxidante previniendo la oxidación de lípidos (Butterfield *et al.* 2002).

Es importante mencionar que no existe información acerca del efecto de AF sobre la oxidación de lípidos en carne de bovino. Sin embargo, se ha reportado que la suplementación dietaria de compuestos antioxidantes como la vitamina E en bovinos, produce una estabilidad de lípidos de la carne durante su almacenamiento (Franco *et al.*, 2012; Scollan *et al.*, 2006).

Por otra parte el AF ha sido empleado en otros alimentos con el fin de retardar la oxidación lipídica. Hay estudios como el de Boonsumrej *et al.* (2007) y Nilesh *et al.* (2009), que reportan estabilidad en la oxidación lipídica, al emplear dosis de hasta 2% de AF en camarones durante almacenamiento en congelación.

En la figura 5 se puede observar como el parámetro de color L* no fue afectado ($P > 0.05$) por los tratamientos. Sin embargo, ligeramente se observa que a partir del día 7 hay una disminución en el valor y para el día 9, se aprecia como los valores se incrementan encontrándose muy cerca de los observados en el día 1 de almacenamiento. De acuerdo con lo anterior, no se encontró literatura que pudiera explicar ese comportamiento de L*. Sin embargo, los valores de L* del presente estudio se reportan como valores normales para este tipo de músculo (Wulf y Wise, 1999), ya que se encuentran por arriba de un L* de 33. Una carne con un valor de L* por debajo de lo indicado, presenta un tono oscuro en la superficie de esta, lo cual es conocido también como carne oscura firme y seca.

En algunos trabajos como el de Avendaño-Reyes *et al.* (2006), en donde se ha monitoreado esta coordenada en carne de res durante su almacenamiento, reportan que no se presentó efecto alguno al emplear el β -agonista CZ en bovinos en finalización, tal y como sucedió en el presente estudio. Sin embargo, en otro estudio realizado por Hope-Jones *et al.* (2012), en donde se evaluó este

parámetro en la carne durante almacenamiento, se reporta una disminución en el parámetro L^* al suplementar β -agonistas en ganado bovino en confinamiento. Los autores antes mencionados concluyen que la suplementación alimenticia de estos compuestos, puede llegar a afectar negativamente el color en la carne de bovino. Lo anterior, lo atribuyen posiblemente a la actividad enzimática que ocasionan la presencia de β -agonistas en conjunto con las variaciones de pH y a la falta de oxígeno del animal al momento del sacrificio.

En la figura 6 se observa como el parámetro de color a^* fue afectado significativamente ($P \leq 0.05$) por los tratamientos. En general para los 4 grupos experimentales conforme aumentaron los días de almacenamiento, los valores de a^* disminuyeron. Sin embargo, cabe destacar que la carne del grupo AF30 presentó valores de a^* más altos ($P \leq 0.05$) con respecto al resto de los tratamientos, principalmente en los días intermedios del almacenamiento. Contrario a lo anterior, se puede apreciar como la carne del grupo AF60 presentó valores más bajos, a partir del día 3 de almacenamiento, con respecto a los demás grupos. Estudios realizados por O'Sullivan *et al.* (2002), mencionan que el rango mínimo de valores de a^* en la carne de res para su aceptabilidad por el consumidor está entre 11 y 12, por tanto, valores de a^* por debajo de este rango son un indicativo de la pérdida del color rojo de la carne (oxidación del pigmento). Tomando como criterio estos valores mínimos, se puede inferir que la carne del tratamiento AF30 mantiene el color rojo hasta el día 7 de almacenamiento, mientras que los valores observados para AF60 indican que hubo un deterioro del color de la carne a partir del día 5 de almacenamiento.

Por otra parte, en una patente recientemente aprobada se reportan resultados similares a los encontrados en la carne del grupo AF30 del presente trabajo de investigación, relacionados a la capacidad de AF para prolongar la estabilidad en el parámetro de color a^* de la carne de bovinos en finalización (JP-H06-153815A). Así mismo, resultados muy similares se presentaron en el estudio realizado por Nilesh *et al.* (2009), en donde se reporta que el utilizar dosis de 2% de ácido ferúlico, ayuda a la estabilidad del color en camarones sometidos a

congelamiento y durante 9 días de almacenamiento. Así mismo, se ha hecho uso de otros compuestos antioxidantes tales como extractos de plantas y vitamina E. En estudios previos, se ha reportado la capacidad de algunos extractos de plantas y la vitamina E adicionados en la dieta de bovinos para actuar como antioxidantes y mantener el color rojo de la carne durante su anaquel (Franco *et al.*, 2012; Scollan *et al.*, 2006).

El color rojo de la carne se debe a la presencia de la proteína mioglobina, esta proteína posee hierro en su estructura, el cual puede existir en forma de ión ferroso reducido (+2), o como ión férrico oxidado (+3). Cuando el oxígeno ocupa el sexto sitio de unión del ión ferroso, se denomina Oximioglobina, y esta es la responsable del color rojo brillante deseable en la carne fresca. Esta forma reducida de la mioglobina rápidamente se oxida y pasa a ser Metamioglobina, de color pardo, en la que el ión ferroso es convertido al estado férrico oxidado (Jeremiah, 2001). La Metamioglobina es el estado oxidado de la mioglobina, y esta condición de la carne fresca presenta un color indeseable para el consumidor.

Como se mencionó anteriormente, se han realizado gran cantidad de estudios en los que se ha estudiado la relación que existe entre la oxidación de la mioglobina y la oxidación lipídica. Faustman *et al.*, (2010) señalan que en carne de vacuno, la formación de la Metamioglobina y la acumulación de TBARS están positivamente correlacionados. Kanner *et al.*, (1987) afirmaron también que la decoloración de la carne y el inicio del desarrollo de las reacciones de oxidación lipídica están relacionados. Lo anterior podría explicar el por que la carne del grupo AF60 presentó inestabilidad en el color rojo y a su vez, un incremento en la oxidación lipídica, debido posiblemente al largo periodo de suplementación.

Con respecto al parámetro de color b^* , este fue afectado ($P \leq 0.05$) por los tratamientos, tal y como se indica en la figura 7, en la cual puede observarse como en el primer día de almacenamiento los valores de b^* se encuentran muy cercanos entre los cuatro tratamientos. A medida que avanzó el tiempo de almacenamiento, en los días 3 y 5 se puede apreciar un ligero incremento en los

valores de esta coordenada para todos los tratamientos, en donde el grupo de AF30 presentó el valor más alto con respecto a los demás grupos. En el último día de almacenamiento la carne de los grupos AF30 y AF60, se mantuvo en valores de b^* cercanos a los que se presentaron al inicio del monitoreo. Contrario a lo anterior la carne del grupo control y CZ presentaron valores más bajos que con respecto a los tratamientos antes mencionados.

El ángulo de matiz (figura 8) fue afectado ($P \leq 0.05$) por los tratamientos. En dicha figura se puede apreciar como a partir del primer día de almacenamiento los valores en el ángulo de matiz se fueron incrementando en los cuatro grupos experimentales. Sin embargo, a partir del tercer día la carne del grupo AF60 presentó los valores más altos con respecto al resto de los tratamientos. Lo anterior concuerda con los cambios observados en el parámetro a^* , en donde se sugiere que posiblemente este compuesto provocó inestabilidad en el color de la carne debido al largo periodo de suplementación. El resto de los tratamientos se mantuvieron en valores muy cercanos hasta el último día de almacenamiento. El incremento en los valores del ángulo de matiz a través del tiempo de almacenamiento, es considerado un buen descriptor del pardeamiento de la carne en refrigeración, y este oscurecimiento también está asociado con la apreciación visual de la decoloración de la carne y con la acumulación de metamioglobina en la superficie de la carne (Luciano *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las variables de grasa intramuscular, pH, humedad, color, CRA no fueron afectadas por los tratamientos. Dichos parámetros se encontraron dentro de los valores normales para carne fresca de res.

El perfil lipídico de la carne presentó pocos cambios significativos debido a los tratamientos. Al suplementar AF30, se presentó una menor concentración ácido palmítico. La suma de AGP y la relación AGP/AGS es mayor si se suplementa ya sea con AF o CZ, lo cual es bueno para la salud, ya que una mayor proporción de estos se relacionan con la prevención de padecer enfermedades cardiovasculares.

La carne del grupo de animales suplementados con AF30, presentó valores de EC significativamente más bajos con respecto al grupo CZ. Cabe destacar que de la misma manera el panelista detectó estas diferencias, ya que la carne de AF30 se calificó como una carne más blanda, más jugosa y con mejor sabor que la carne de animales suplementados con CZ. En general la carne fue considerada aceptable.

La suplementación de AF30, permitió mantener el color rojo de la carne mayor tiempo y retardar la oxidación lipídica de esta durante su almacenamiento. Por otra parte, la carne proveniente de animales suplementados con AF60 se oxidó más rápido y además su color rojo se perdió prematuramente, lo cual sugiere un efecto prooxidante de la exposición prolongada de AF.

Se concluye que al suplementar AF30 a bovinos en confinamiento, la calidad de la carne no es afectada negativamente como lo hacen los β -agonistas comerciales principalmente en los parámetros de ternura, jugosidad y sabor. Además, la suplementación de AF puede proveer grandes beneficios al mercado, debido a que prolonga la vida de anaquel en la carne

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C. (1995). Official methods of analysis, 15th ed. Association of official analytical chemists, Washington, D. C.
- Adom, K.K., & Liu, R.H. (2002). Antioxidant activity of grains. *J Agric Food Chemistry*, 50(21), 6182-6187.
- Alfaia, C. M. M., & Castro, L. M. (2007). "Effect of slaughter season on fatty acid composition, conjugated linoleic acid isomers and nutritional value of intramuscular fat in Barrosã-PDO veal." *Meat Science*, 75(1), 44-52.
- Alfaia, C. M. M., V. & Ribeiro, V. S. (2006). "Fatty acid composition, conjugated linoleic acid isomers and cholesterol in beef from crossbred bullocks intensively produced and from Alentejana purebred bullocks reared according to Carnalentejana-PDO specifications." *Meat Science*, 72(3): 425-436.
- AMSA. (1995). Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Fresh Meat. American Meat Science Association. U. S. A.
- Arango CM & Restrepo DA. (2002). Microbiología de la carne. <http://es.scribd.com/doc/8717475/Cap-1-Microbiologia-de-La-Carne>. Consulta 21/04/2011
- Asaff, T.A., Macias, R., & de la Torre, M. (2004). Method for the recovery of ferulic acid. Patent WO 2004/110975.
- Avendaño-Reyes, L., Torres-Rodríguez, V., Meraz-Murillo, F. J., Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F., & Robinson, P. H. (2006). Effects of two β -adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 84, 3259-3265.
- Banovic, M., Grunert, K. G., Barreira, M. M., & Fontes, M. A. (2009). Beef quality perception at the point of purchase: A study from Portugal. *Food Quality and Preference*, 20, 335-342.

- Barriada, M., Castro, P., Martínez, A., & Osoro, K. (1993). Efecto del sistema de alimentación y del peso de sacrificio sobre las características de la canal de añojos de raza asturiana de los valles. *ITEA*, Vol. Extra, N° 12, 631-636.
- Bergen W.G., & Merkel, R.A. (1991). Body composition of animals treated with partitioning agents; implications for human health. *Faseb journal*, 5, 2951–2957.
- Bianchi G., Garibotto, G., Feed, O., Bentancur, O., & Franco, J. (2006). Efecto del peso al sacrificio sobre la calidad de la canal y de la carne de corderos Corriedale puros y cruza. *Arch. Med. Vet.* 38, N° 2.
- Bligh, E.G., & Dyer, W.J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiology*, 37:911-917.
- Boakie, K., & Mittal, G.S. (1993). Changes in pH and water holding properties of Longissimus dorsi muscle during beef ageing. *Meat Science*, 34:335-349.
- Boonsumrej, S., Chaiwanichsiri, S., Tantratian, S., Suzuki, T., & Takai, R. (2007). Effects of freezing and thawing on the quality changes of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) frozen by air-blast and cryogenic freezing. *Journal of Food Engineering*, 80, 292–299.
- Bravo L. (1998). Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutr Rev*, 56, 317-33.
- Butterfield, D.A., & J. Kanski. (2002). Brain protein oxidation in agerelated neurodegenerative disorders that are associated with aggregated proteins. *Mech Ageing Dev*, 122, 945–962.
- Cardona, I., & Luis, S.C. (1986). Acción del undecilenato de boldenona (equipoise) más un implante de estradiol progesterona (Ganamax-m) en la ceba de novillos cebú comercial. Tesis Universidad Nacional sede Palmira.
- CIE. (1986). Commission International de l'Eclairage. Colorimetry, 2nd Ed. Viena.
- Ciria, J., & Asenjo, B.. (2000). Factores a considerar en el presacrificio y postsacrificio. Metodología para el estudio de la calidad de la canal y de la carne en rumiantes. Monografías INIA: Ganadería nº 1. Madrid, España, 23-30.

- Clifford, M. N. (1999). Chlorogenic acids and other cinnamates – Nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79, 362–372.
- Council of the European Communities. (1986). Council Directive 86/469/EEC of 16 September 1986. *Off. J. Eur. Commun.* L275:36.
- Crome P.K., F.K. McKeith, T.R. Carr, D.J. Jones, D.H. Mowrey & J.E. Cannon. 1996. Effect of ractopamine on growth performance, carcass composition and cutting yields of pigs slaughtered at 107 and 125 kilograms. *Journal of Animal Science*, 74, 709-716
- Dannenberger, K., Nuernberg, G., Scollan, N., Ender, K. & Nuenberg K. (2007). Diet alters the fatty acid composition of individual phospholipid classes in beef muscle. *Journal of agriculture and food chemistry*, 55, 452-460.
- Días, L. G., & Correia, D. M. (2008). "Raw bovine meat fatty acids profile as an origin discriminator." *Food Chemistry*, 109, 840-847.
- Dierking, R. M., Kallenbach, R. (2010). "Effect of forage species on fatty acid content and performance of pasture-finished steers." *Meat Science*, 85, 597-605.
- Djousse, L., J. S. Pankow, & J. H. Eckfeldt, (2001). Relation between dietary linolenic acid and coronary artery disease in the national heart, lung and blood institute. Family heart study. *American Journal of clinical Nutrition*. 74, 612-619.
- Duckett, S. K., Wagner, D.G., Yates, L. D., Dolezal, H. G., & May, S.G. (1993). Effects of time on feed on beef nutrient composition. *Journal of animal Science*, 71, 2079-2088.
- Dunshea, F.R., Souza, D.N., Pethick, D.W., Harper, G.S., & Warner, R.D. (2005). Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat Science*, 71, 28–38.
- Eng, K. (2000). Choices of implants, implant strategies increases again. *Feedstuffs*. 72: 10.
- Enser, M., Hallett, K., Hewitt, B., Fursey, G.A., & Wood, J.D. (1996). Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. *Meat Science* 42: 443-456.

- Eriksson, S.F., & Pickova, J. (2007). Fatty acids and tocopherol levels in M. Longissimus dorsi of beef cattle in Sweden - A comparison between seasonal diets. *Meat Science*, 76, 746-754.
- Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R., & Suman, S. P. (2010). Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Science*, 86, 86-94.
- FDA. 2003. Freedom of information summary. Original new animal drug application. NADA 141-221.
- Ferguson, S. (2001). Evolving Concepts in G Protein Coupled Receptor Endocytosis: The Role in Receptor Desensitization and Signaling”, *Pharmacological Reviews*, 53.
- Franco, D., Gonzalez, L., Bispo, E., Latorre, A., Moreno, T., Sineiro, J., Sanchez, M., & Nunez, M. J. (2012). Effects of calf diet, antioxidant, packaging type and storage time on beef steak storage. *Meat science*, 90, 871-880.
- Frazier W.C.; Westhoff D.C., (2003). *Microbiología de los alimentos*. Ed. Acribia. Cuarta edición. Zaragoza España.
- Fukuda, H., & Komamine, A. (1982). Lignin synthesis and its related enzymes as markers of tracheary-element differentiation in single cells isolated from the mesophyll of *Zinnia-elegans*. *j. Planta*, 155, 423-430.
- Garibotto, G., & Bianchi, G. (2007). Alternativas nutricionales con diferente grado de intensificación y su efecto en el producto final. *In: Alternativas Tecnológicas para la Producción de Carne Ovina de Calidad en Sistemas Pastoriles*. G. Bianchi. Editorial Hemisferio Sur (Montevideo, Uruguay) 6, 161-225.
- Geay, Y, D., Bauchart, J.F., Hocquette, J., & Culioli, J. (2001). Effect of nutritional factors on biochemical, structural and metabolic characteristics of muscles in ruminants, consequences on dietetic value and sensorial of meat. *Reprod. Nutr. Dev.* 41.1-26.
- Geesink, G. H., F. J. M. Smulders, H. L. van Laack, J. H. van der Kolk, T. Wensing, & H. J. Breukink. 1993. Effects on meat quality of the use of clenbuterol in veal calves. *Journal of Animal Science*. 71,1161-1170.
- Geesink, G.H., Kuchay, S., Chishti, A.H., & Koohmaraie, M. (2006). {Micro}-calpain is essential for postmortem proteolysis of muscle proteins. *Journal of Animal Science*, 84, 2834-2840.

- González, F.A., Sánchez, P.M., Sánchez, A.R., & Santana, J.L. (2001). Taninos de diferentes especies vegetales en la prevención del fotoenvejecimiento. *Revista cubana, Invest. Biomedica*, 20 (1), 16-20.
- Graf, E. (1992). Antioxidant potential of ferulic acid. *Free Radical Biology and Medicine*, 13, 435–448.
- Gray, J.I., Gooma, E.A., Buckley, D.J. (1996). Oxidative quality and shelf-life of meats. *Meat Science*, 43, S111-S123.
- Gruber, S.L., Tatum, J.D., Scanga, J.A., Chapman, P.L., Smith, G.C., & Belk, K.E.. (2006). Effects of postmortem aging and USDA quality grade on Warner-Bratzler shear force values of seventeen individual beef muscles. *Journal of Animal Science*. 84, 3387-3396.
- Guija, H., Troncoso, M., Luzmila, T., & Guija, E. (2005). Propiedades prooxidantes del camu camu (*Myrciaria dubia*). *Anales de la Facultad de Medicina Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 261-268.
- Herdmann, A., Martin, J., Nuernberg, G., Dannerberger, D. & Nuerberg, K. (2010). Effect of Dietary n-3 and n-6 PUFA on Lipid Composition of Different Tissues of German Holstein Bulls and the Fate of Bioactive Fatty Acids during Processing. *Journal of agriculture and food chemistry*, 58, 8314-8321.
- Hoffman, L.C., Muller, M., & Cloete, S.W. (2003). Comparison of six crossbreed lamb types: sensory, physical and nutritional meat quality characteristics. *Meat Science*, 65, 1265-1274.
- Holmer, S.F., Fernández-Dueñas, D.M., Scramlin, S.M., Souza, C.M., Boler, D.D., Mckeith, F.K., & Killefer, R.J. (2009). The effect of zilpaterol hydrochloride on meat quality of calf-fed Holstein steers. *Journal of Animal Science*, 87, 3730–3738.
- Hope-Jones, M., Strydom, P.E., Frylink, L., & Webb, E.C. (2012). Effect of dietary beta-agonist treatment, vitamin D3 supplementation and electrical stimulation of carcasses on colour and drip loss of steaks from feedlot steers. *Meat Science*, 90: 607–612.
- Houseknecht, K., Vanden-Heuvel, J.P., Moya-Camarena, S., Portocarrero, C.P., Peck, L.W., & Nickel, K.P. (1998). Dietary conjugated linoleic acid normalizes impaired glucose tolerant in the zucker diabetic fatty *fa/fa* rat. *Biochemical Biophysical Research Communication*. 244:678-682

- Huerta-Leidenz, N., Atencio-Valladares, O., Rodas-González, A., Jerez-Timaure, N., & Bracho, B. (1997). Características de canales de novillos y novillas acebuados producidos a pastoreo y su relación con atributos de la calidad comestible de la carne. *Arch. Latin. Prod. Anim.* 5, 565-567.
- Huff-Lonergan, E., & Lonergan, M.S. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71, 194–204.
- Hui, Y.H.; Guerrero I. y Rosmini M.R. (2006). Ciencia y Tecnología de Carnes. Editorial LIMUSA. México D.F.
- Ibrahim, R. M., Marchello, J. A., & Duff, G. (2006). Effects of implanting beef steers with zeranol on fatty acids composition of subcutaneous intramuscular fat. *The professional Animal Scientist*, 22, 301-306.
- ICMSF. 2001. Microorganismos de los Alimentos 6. Ecología microbiana de los productos alimentarios. Editorial Acribia. Zaragoza
- Isaza, G. & Julio, G. 1985. Efecto del Zeranol y el estradiol 17 β sobre el peso al destete en terneros cruzados. Tesis Universidad Nacional sede Palmira.
- Jadhav, S.J., Nimbalkar, S.S., Kulkani, A.D., Madhavi, D.L. (1995). Lipid Oxidation in Biological and Food Systems. En: Food Antioxidants: Technological, Toxicological and Health Perspectives. Madhavi, D.L., Deshpande, S.S. and Salunke, D.K. (eds.). New York: Marcel Dekker Inc. pp. 5-63.
- Jeremiah, I. E. (2001). Packing alternatives of fresh meat using short or long term distribution. *Food research international*, 34, 749-772.
- Kanner, J., German, J.B., & Kinsella, J.E. 1987. Initiation of lipid peroxidation in biological systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 25:317-364.
- Kemp, C.M., Sensky, P.L., Bardsley, R.G., Buttery, P.J., & Parr, T. (2010). Tenderness – An enzymatic view. *Meat Science*, 84, 248–256.
- Kim, Y.S. & Sainz, R.D. (1992). B-adrenergic agonist and hypertrophy of skeletal muscles. *Life Sciences*, 50, 397-407.

- Kobilka, B. & Hoffman, B.B. (1995). Molecular characterization and regulation of adrenergic receptors. En Laragh, J.H. y Brenner, B. M. (eds.). *Hypertension: Pathophysiology, Diagnosis and Management* (2nd ed.). Raven Press, New York, 841-851.
- Koohmaraie, M., Shackelford, S.D., Muggli- Cockett, N. E., & Stone, R. T. (1991). Effect of β -Adrenergic Agonist L644, 969 on Muscle Growth, endogenous proteinase activities, and postmortem proteolysis in wether Lambs. *Journal Animal Science*, 50, 345-356.
- Lawrence, T.L. & Fowler, V.R. (2002). Growth of Farm Animals. Second edition. CABI Publishing. London U.K. pp 135-138.
- Lawrie, R.A. (1998). Ciencia de la carne, 3 edición, Acribia. Zaragoza, España.
- Lee, Y.S., Owens, C.M., & Meullenet, J.F. (2009). Changes in Tenderness, Color, and Water Holding Capacity of Broiler Breast Meat during Postdeboning Aging. *J. Food Science*, 74, 449-454.
- Luciano, G., Vasta, V., Monahan, F. J., Lopez-Andres, P. Biondi, L., & Lanza, M. (2011). Antioxidant status, color stability and mioglobin resistance to oxidation of longissimus dorsi muscle from lambs fed a tannin-containing diet. *Food chemistry*, 124,1036-1042.
- Maher, S.C., Mullen, A.M., Buckley, D.J., Kerry, J.P., & Moloney, A.P. (2005). The influence of biochemical differences on the variation in tenderness of M. longissimus dorsi of Belgian Blue steers managed homogenously pre and postslaughter. *Meat Science*, 69, 215–224.
- Martínez, M. A. L. (2008). Nutrición y calidad de la carne de los ruminates. *Revista electronica veterinaria*, 10 (4), 24-56.
- Mersmann, H.J. (1998). Beta-Adrenergic Receptor Modulation of Adipocyte Metabolism and Growth. *Journal of Animal Science*. 80, 24-29.
- Mersmann, H.J. (2002). Overview of the Effects of β -Adrenergic Receptor Agonists on Animal Growth Including Mechanisms of Action. *Journal of Animal Science*. 76, 45-57.

- Miller, R. (1994). In *Muscle Foods: Meat, Poultry, and Seafood Technology*, (Kinsman, D.M., Kotula, A.W., and Breidenstein, B.C., eds.), Ch 11, pp. 296-333. Chapman and Hall, New York, New York.
- Mondragón, A.J. (2008). Efecto de la concentración de clorhidrato de zilpaterol sobre el crecimiento, características de la canal y calidad de la carne de ovinos en engorda intensiva. Tesis de maestría. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Monin, G. & Ouali, A. (1989). Muscle differentiation and meat quality. In *Developments in Meat Sci.* (ed R. Lawrie), Vol. 5. Applied Science Publishers, London.
- Montero-Lagunes, M., Juárez-Lagunes, F. & García-galindo, H. (2011). Fatty acids profile in meat from european x zebu finished on grazing and feedlot conditions. *Revista mexicana científica pecuaria*, 2(2),137-149.
- Moody, D. E., D. L. Hancock, & D. B. Anderson. (2000). Phenethanolamine repartitioning agents. Page 65 in *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. J. P. F. D'Mello, ed. CABI, New York, NY.
- Morgan, J.B. (1997). Implant program effects on USDA beef carcass quality grade traits and meat tenderness. in *Proc. OSU. Symposium: Impact of implants on performance and carcass value of Beef Cattle, Oklahoma. Agric. Exp. Stn. Stillwater, OK.* pp 147-154.
- Moron-Fuenmayor, E.O., Zamorano-García, L., Ysunza, F., & González-Méndez, F.N. (2002). Efecto del clorhidrato de zilpaterol y la vitamina D₃ sobre la calidad de la carne en novillas comerciales. *Revista Científica Mexicana*, 7(6), 725-729.
- Muchenje, V., & Dzama, K. (2009). "Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health: A review." *Food Chemistry*, 112(2), 279-289.
- Muchenje, V., Dzama, K., Chimonyo, M., Strydom, P.E., Hugo, A., & Raats, J. G. (2009). Some biochemical aspects pertaining to beef eating quality and consumer health. *Food Chemistry*, 112, 279–289.
- Muir, P.D., Wallace, G.J., Dobbie, P.M., & Bown, M.D. (2000). A comparison of animal performance and carcass and meat quality characteristics in Hereford, Hereford x Friesian, and Friesian steers grazed together at pasture. New Zealand. *J. Agric. Res.* 43, 193–205.

- Mullen, A.M., Murray, B., & Troy, D. (2004.) Predicting the eating quality of meat. Teagasc, Report 4391, 1-24.
- Nam, Y.J., Choi, Y.M., Lee, S. Choe, J.H., Jeong, D.W., Kim, Y.Y., & Kim, B.C. (2009). Sensory evaluations of porcine longissimus dorsi muscle: Relationships with postmortem meat quality traits and muscle fiber characteristics. *Meat Science*, 83, 731–736.
- Nilesh, P.N., Soottawat, B., & Benjakul, B. (2009). Effect of ferulic acid on inhibition of polyphenoloxidase and quality changes of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during iced storage . *Food Chemistry*, 116, 323–33.
- Norma Oficial Mexicana-NOM-EM-015-ZOO-2002. «Especificaciones técnicas para el control del uso de beta-agonistas en los animales. SAGARPA. México, D.F.
- O’sullivan, A., O’sullivan, K., Galvin, K., Moloney, A. P., Troy, D. J., & Kerry, J. P. (2002). Guass silage versus maize silage effects on retail packaged beef quality. *Journal of Animal Science*, 80,1556-1563.
- Offer, G., & Knight, P. (1988). The structural basis of water-holding in meat. In: *Developments in Meat Science-4*, part 2, ed. R. Lawrie, pp 173.
- Offer, G., Knight, P., Jeacocke, R., Almond, R., Cousins, T., & Elsey, J. (1989). The structural basis of the water-holding, appearance and toughness of meat and meat-products. *Food Microstructure*, 8, 151–170.
- Okeudo N.J. & Moss B.J. (2007). Intramuscular lipid and fatty acid profile of sheep comprising four sex-types and seven slaughter weights produced following commercial procedure. *Meat Science* 76:195-200.
- Park, P.W., & Goins, R.E. (1994). In situ preparation of fatty acid methyl esters for analysis of fatty acid composition in foods. *J. Food Science*, 59, 262-1266.
- Pfalzgraf, A., Frigg, M., & Steinhart, H. (1995). Alpha tocopherol contents and lipid oxidation in pork muscle and adipose tissue during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 43, 1339 –1342.
- Plascencia, A., Torrentera, N.G., & Zinn, R.A. (2008). Influence of the β -agonist zilpaterol on growth performance and carcass characteristics of feedlot steers. *Journal of Animal Veterinary Advances*, 7, 1257-1260.

- Platt, J.P., Anderson, M.J., & Johnson, .B.J. (2012). The effect of ferulic acid on myogenic regulators of growth in bovine satellite cells. Texas Tech University. Research report confidential to Laboratorios Minkab S.A de C.V.
- Platter, W.J., Tatum, J.D., Belk, K., Engle. T.E., & Smith, G.C. (2001). Effects of repetitive use of hormonal implants on beef carcass quality and consumer ratings of beef palatability. Final Report to the National Cattlemen's Beef Association. Meat Science Program, Department of Animal Sciences, Colorado State University, Fort Collins, CO. 1-56.
- Pringle, T.D., Calkins, C.R., Koohmaraie, M., & Jones, S.J. (1993). Effects over time of feeding a beta adrenergic agonist to wether lambs on animal performance, muscle growth, endogenous proteinase activities, and meat tenderness. *Journal of Animal Science*, 71, 636– 644.
- Rousset-Akrim, S., Young, D.A., & Berdague, J.L. (1997). Diet and growth effects in panel assessment of sheepmeat odour and flavour. *Meat Science* 45:169-181.
- Rumsey, T.S., Elsasser, T.H., Kahl, S., & Solomon, M.B. (1999). The effect of roasted soybeans in the diet of feedlot steers and Synovex-S_ ear implants on carcass characteristics and estimated composition. *Journal of Animal Science*, 77, 1726–1734.
- Sacks A.M. & Katana M. (2002). Randomized clinical trials on the effects of dietary fat and carbohydrate on plasma lipoproteins and cardiovascular disease. *American Journal of Medicine* 113:13-24.
- SAGARPA. (2009). Estadísticas anuales de Importación y Exportación de carnes en México. México, D. F.
- Sales, J., & Koukolova, V. (2011). Dietary vitamin E and lipid and color stability of beef and pork: Modeling of relationships. *Journal of Animal Science*, 89, 2836-2848.
- Salgueiro, Z., Díaz, M. D., & Carballo, S. J. (2007). Efecto del sistema de producción y del sexo en la calidad de la carne de vacuno joven. Centro de Investigaciones agrarias de Mabegondo, Coruña España.
- Sánchez-Escalante, A., Djenane, D., Torrescano, G., Beltrán, J. A., & Roncales, P. (2003). Antioxidant Action of Borage, Rosemary, Oregano, and Ascorbic

Acid in Beef Patties Packaged in Modified Atmosphere. *Journal of Food Science*, 68(1), 339-344.


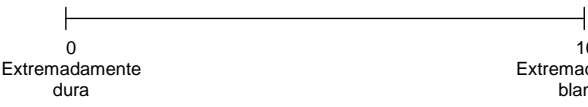




- Sánchez, D., Galindo, J., Ayala, C.M., & Assaf, M.A. (2011). Efecto del ácido ferúlico sobre el espesor de grasa dorsal en cerdos. Centro universitario de ciencias Biológicas de Guadalajara. F.E.S. MINKAB.
- Sañudo, C. (1992). La calidad organoléptica de la carne con especial referencia a la especie ovina: factores que la determinan, métodos de medida y causas de variación. Curso Internacional de Producción Ovina. SIA, Zaragoza. Sierra, I. Apuntes de Producción Animal. Fac. Veterinaria. Univ. Zaragoza. España.
- Sanz, B. (1995). Problemas de Salud Pública ocasionados por el empleo en alimentación animal del clenbuterol y otros agentes promotores del crecimiento (1ª parte). *Eurocarne*, nº 37, Junio 1995, pp 23-34.
- Scollan, N., Hocquette, J.-F., Nuernberg, K., Dannenberger, D., Richardson, I., & Moloney, A. (2006). Innovations in beef production systems that enhance the nutritional and health value of beef lipids and their relationship with meat quality. *Meat Science*, 74(1), 17-33.
- Shackelford, S.D., Wheeler, T.L., & Koohmaraie, M. (1997). Tenderness classification of beef: Evaluation of beef Longissimus shear force at 1 or 2 days postmortem as a predictor of aged beef tenderness. *Journal of Animal Science*, 75, 2417-2422.
- Smedman, A. and B. Vessby (2001). "Conjugated linoleic acid supplementation in humans—metabolic effects." *Lipids* 36(8), 773-781.
- Stine, H., Therkildsen, M., & Byrne, D.V. (2006). Effects of a compensatory growth strategy on sensory and physical properties of meat from young bulls. *Meat Science*, 74, 628–643.
- Stoller, G.M., Zerby, H.N., Moeller, S.J., Bass, T.J. Johnson, C., & Watkins, L.E. (2003). The effect of feeding ractopamine on muscle quality and sensory characteristics in three diverse genetic lines of swine. *Journal of Animal Science*, 81, 245-249.
- Strydom, P.E. (1998). Carcass evaluation and influencing factors. zilmax. Proceeding of the zilmax meat quality symposium. Gallagher estate midrand, South Africa. 25-42.

- Sumano, L.H., Ocampo, C.L., Gutiérrez, O.L. (2002). Clembuterol y otros β -agonistas, ¿una opción para la producción pecuaria o un riesgo para la salud pública? *Veterinaria México*, 33 (2), 137-159.
- Sutton, D.S., Ellis, M., Lan, Y., McKeith, F.K., & Wilson, E.R. (1997). Influence of slaughter weight and stress gene genotype on the water holding capacity and protein gel characteristics of three porcine muscles. *Meat Science*, 46, 173 - 180.
- Torrent, M. (1991). Producción de carne ovina. En: La oveja y sus producciones, Ed. Aedos, Barcelona, 149-168.
- Torrescano, G., Sánchez-Escalante, A. Vázquez, M.G. Paz, P.R., & Pardo, G.D. (2010). Caracterización de canales y de carne de bovino engordados en la zona centro de sonora. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(2), 157-168.
- Touraille, C. (1991). Qualités organoleptiques des viandes bovine et ovine. Curso: Calidad de la canal y de la carne. I.A.M.Z. Zaragoza, España, 4, 22-28.
- Valencia J. (1985). Efecto de los promotores del crecimiento en la ceba de novillos Normando en la zona de Páramo. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional de Palmira. Palmira, España.
- Wang, B.H., & Ou-Yang, J.P. (2005). Pharmacological actions of sodium ferulate in cardiovascular system. *Cardiovascular Drug Reviews*, 23, 161–172.
- Warris, P.D. (2000). Meat Science: An Introductory Text. CABI Publishing. New York. Chapter 3 and 5, pp 37-93.
- Watson, R., Polkinghorne, R., Gee, A., Porter, M., Thompson, J., Ferguson, D., Pethick D., & McIntyre, B. (2008). Effect of hormonal growth promotants on palatability and carcass traits of various muscles from steer and heifer carcasses from a *Bos indicus*–*Bos taurus* composite cross. *Aust. J. Exp. Agric.* 48, 1415–1424.
- Wheeler, T.L., & Koohmaraie, M, (1992). Effects of the β -adrenergic agonist on muscle protein turnover, endogenous proteinase activities, and meat tenderness in steers. *Journal of Animal Science*, 70, 3035-3043.
- Wood J.D, Enser, M., Fisher A.V., Nute G.R, Sheard, P.R., Richardson R.I., Hughes S.I., & Whittington F.M. (2008). Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: a review. *Meat Science* 78:343-358.
- Wood J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A.V., Campo, M.M., Kasapidou,

- E., Sheard, P.R., & Enser, M. (2003). Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Science* 66:21-32.
- Wulf, D.M., & Wise, J.W. (1999). Measuring muscle color on beef carcasses using L*a*b* color space. *Journal of Animal Science*, 77, 2418-2427.
- Yagi, K., & Ohishi, N. (1979). Action of ferulic acid and its derivatives as antioxidants. *The Journal of Nutritional Science Vitaminology*, 25, 127–130.
- Yang, Y.T., & McElligott, M.A. (1989). Multiple action of B- adrenergic agonists on skeletal muscle and adipose tissue. *Biochemistry*. 261, 1-10.
- Yin, Z.Z.L. & Xu, L.N. (1980). The effect of danggui (*Angelica sinensis*) and its ingredient ferulic acid on rat platelet aggregation and release of 5-HT. *YaoXueBao*, 15, 321-340.
- Yoshino, M., Ito, M., Haneda, M., Tsubouchi, R., & Murakami, K. (1999). Prooxidant action of aluminum on-stimulation of iron-mediated lipid peroxidation by aluminum. *Biometals*, 12, 237-240.
- Young, O. A., Berdague, J.L., Viallon, C., Rousset-Akrim, S., & Theriez, M. (1997). Fat-borne volatiles and sheepmeat odour. *Meat Science* 45:183-200.
- Zhang, M. (1990). Advances in research on the antiatherogenic effects of ferulic acid. *Journal Chin. Clinical*, 21, 41–43.
- Zhang, S.X., Farouk, M.M., Young, O.A., Wieliczko, K.J., & Podmore, C. (2009). Functional stability of frozen normal and high pH beef. *Meat Science*, 69, 765–772.
- Zorrilla, R.J., Morales, I., Liceaga, R.D., & Hernández, V.R. (1998). Efecto del clorhidrato de zilpaterol en la cortabilidad de canales de toretes acebuzados finalizados con dietas a base de cebada forrajera. XXXIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria, INIFAP, Octubre 1998, Querétaro, México.

ANEXOS

1. Formato de la evaluación sensorial en luz roja para carne cocinada.

ANALISIS SENSORIAL	
Nombre: _____	Fecha: _____
ISTRUCCIONES: Marque con una X la escala que le asigne en cada una de las muestras de acuerdo a la intensidad de percepción. Pruebe galleta y consuma agua antes de probar cada una de ellas.	
OLOR	
TERNEZA	
JUGOSIDAD	
SABOR	
SENSACION A GRASA	
TEJIDO CONECTIVO	
Observaciones y/o Comentarios _____	

<i>Gracias Por Su Participación</i>	

2. Formato de la evaluación sensorial en luz blanca para carne cruda

ANALISIS SENSORIAL				
Nombre: _____	Fecha: _____			
INSTRUCCIONES: Marque con una X la escala que le asigne en cada una de las muestras de acuerdo a su percepción				
COLOR				
<input type="checkbox"/> Púrpura	<input type="checkbox"/> Café rojizo	<input type="checkbox"/> Rojo claro	<input type="checkbox"/> Rojo rosado	<input type="checkbox"/> Rojo cereza
COLOR TOTAL	-----			
	0		10	
	Extremadamente desagradable		Extremadamente agradable	
APARIENCIA TOTAL	-----			
	0		10	
	Extremadamente desagradable		Extremadamente agradable	