



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE
LA SALUD ANIMAL
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

EFFECTO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL GENÉRICO Y DE REFERENCIA
SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y DE LA CARNE DE TORETES
BOS INDICUS ENGORDADOS EN EL TRÓPICO MEXICANO

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD ANIMAL

PRESENTA:
PEDRO ANTONIO ALVARADO GARCÍA

TUTORA:
DRA. MARÍA DE LA SALUD RUBIO LOZANO
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

COMITÉ TUTOR:
DR. HÉCTOR SALVADOR SUMANO LÓPEZ
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

M.C. SALVADOR CARLOS FLORES PEINADO
Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ASESORES DE TESIS

Dra. María de la Salud Rubio Lozano

Profesor Investigador Titular C

Línea de investigación: Inocuidad de los alimentos y calidad de la carne
Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Producción y Salud Animal, CEPIPSA

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad de México.

Dr. Héctor Salvador Sumano López

Profesor Investigador Titular C

Línea de investigación: Farmacocinética Veterinaria; Diseño y evaluación de Fármacos en
Veterinaria; Medicina Alternativa en Veterinaria

Departamento de Fisiología y Farmacología

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad de México.

M C. Salvador Carlos Flores Peinado

Profesor Investigador Titular A

Línea de investigación: Bienestar animal y calidad e inocuidad de la carne

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Universidad Nacional Autónoma de México

Estado de México.

JURADO DE EXAMEN

Presidente: Dr. Juan Manuel Vargas Romero

Profesor investigador

Área de Sistemas de Producción Agropecuarios

Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa

Ciudad de México.

Vocal: Dr. Eligio Gabriel Salgado Hernández

Profesor investigador

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad de México.

Secretario: Dra. María de la Salud Rubio Lozano

Profesor investigador

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad de México.

Suplente: Dr. Héctor Salvador Sumano López

Profesor investigador

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad de México.

Suplente: M C. Salvador Carlos Flores Peinado

Profesor investigador

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Universidad Nacional Autónoma de México

Estado de México.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer infinitamente a las siguientes personas e instituciones por haber colaborado con este proyecto y en mi formación profesional y personal:

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por darme la oportunidad de continuar con mis estudios de posgrado, siendo esta maestría muy enriquecedora para mi formación profesional. A cada uno de mis profesores por compartir sus conocimientos, consejos y experiencias a lo largo de este posgrado. Al personal encargado de los trámites de posgrado por su excelente atención y ayuda.

De forma especial quiero agradecer a mi tutora de maestría la Dra. María de la Salud Rubio por ser un ejemplo a seguir y por su incondicional apoyo, confianza, observaciones y paciencia. Y a los miembros de mi comité tutor: Dr. Héctor Sumano y MC. Salvador Flores por sus comentarios y correcciones, al igual que a mí H. jurado, Dr. Juan Manuel Vargas y Dr. Gabriel Salgado por sus críticas constructivas.

También quisiera agradecer totalmente al Rancho Praderas Huastecas S.P.R. de R.L. por su incondicional apoyo durante la fase experimental de este proyecto, igualmente a la empresa PiSa Agropecuaria y a sus técnicos por su colaboración y seguimiento de las diferentes pruebas realizadas.

A los compañeros que participaron en los procesos llevados a cabo en el Laboratorio de Ciencia de la Carne y el Laboratorio de Nutrición Animal y Bioquímica, especialmente a la Q. A. Agueda García por compartir su conocimiento de una manera muy agradable.

Extiendo este agradecimiento a la Universidad Estatal de Campinas, Brasil, por darme la oportunidad de tener experiencias muy gratas llenas de conocimiento y de crecimiento personal, me gustaría mostrar mi admiración por el Dr. Sergio Pflanzler, por ser una persona muy elocuente y sabía en el tema de ciencia de la carne.

Por otro lado agradezco por su excelente compañía a Fabiola Preza y Enrique Fabiela, por ser excepcionales amigos.

Este agradecimiento también va dirigido para mi familia, especialmente a mí abuelito Marcelo Alvarado por ser siempre una persona admirable y cariñosa, a mi madre Elisea García por ser bien fuerte y capaz de lograr cualquier cosa, a mis hermanas Berenice, Dayana y Hany por su inmenso cariño y risas compartidas, a mí hermano Carlos y a mi abuelita Chacha por su apoyo. A doña Richi por ser como una madre y por brindarme su apoyo y cariño, por haberme dado una segunda familia que disfruto mucho y que son bien especiales para mí. A mis primas Adriana Lugo, Ana y Aurora Madrigal por ser siempre de las mejores compañías. Y a mis perritos Pinky y Princesa que a pesar de tener nombres comunes, su amor es extraordinario.

Y finalmente a una excelente persona que logro que este año fuera especial y uno de los mejores de la historia, muchas gracias Alex Catalan por ser esa persona especial con una personalidad extraordinaria.

DEDICATORIA

A mi abuelito Marcelo, a mis hermanas y a mi madre por ser siempre un motor que impulsa mis pasos, por ser personas que luchan cada día por mejorar y brindar su mejor cara ante la vida. Por darme amor y apoyo incondicional y me guían para ser una mejor persona. Por todo esto y más, han ayudado a forjarme como persona de bien con ganas de crecer diario. Esta felicidad se las debo a ustedes.

Agradezco al destino por haberme puesto en el camino a estas personas tan especiales y permitirme mirar la luna junto a ellas. Los amo con todas las fuerzas.

ÍNDICE

RESUMEN.....	IX
ABSTRACT	IX
LISTA DE CUADROS	XI
LISTA DE FIGURAS	XII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Promotores de crecimiento	4
2.1.1. β agonistas adrenérgicos	4
2.1.2. Mecanismos de acción de los β agonistas adrenérgicos	5
a) Efecto de los β AA sobre el tejido adiposo.....	6
b) Efecto de los β AA en el tejido muscular	7
2.1.3. Efectos de los β agonistas adrenérgicos en:	9
a) Desempeño productivo del animal	9
b) Características de la canal	9
c) Suavidad de la carne (Fuerza de corte Warner Bratzler y panel sensorial.....	10
d) Palatabilidad de la carne	11
e) Color de la carne	12
f) Capacidad de retención de agua (CRA).....	13
g) Composición de la carne.....	14
2.1.4. Factores que afectan la efectividad de los β agonistas adrenérgicos	15
2.1.5. Impacto de los β agonistas en la salud pública	16
3. OBJETIVOS	18
3.1. Objetivo general	18
3.2. Objetivos particulares	18
4. HIPÓTESIS	18
5. MATERIAL Y MÉTODOS	19
5.1. Selección de animales y formación de lotes	19
5.2. Tratamientos y diseño del experimento	20
5.3. Permanencia en corral	21
5.4. Matanza en rastro	21

5.4.1. Evaluación del bienestar animal	21
5.4.2. Evaluación de canales	22
5.4.2.1. Medidas de Rendimiento en la canal	22
a) <i>Peso de la canal caliente (PCC)</i>	22
b) <i>Rendimiento en canal caliente (RCC)</i>	22
c) <i>Espesor de grasa dorsal ajustada (GDA)</i>	22
d) <i>Área del músculo Longissimus (AML)</i>	23
e) <i>Grasa visceral (Riñonada-pélvica-de corazón) (GV)</i>	23
f) <i>Grado de rendimiento USDA</i>	23
5.4.2.2. Medidas de calidad de la canal	24
a) <i>Marmoleo</i>	24
b) <i>Madurez fisiológica</i>	24
c) <i>Color de la carne</i>	24
d) <i>Grado de calidad USDA</i>	24
e) <i>pH 24 horas post-mortem</i>	25
f) <i>Corte oscuro</i>	25
g) <i>Conformación de la canal</i>	25
h) <i>Distribución de la grasa</i>	25
i) <i>Textura</i>	25
j) <i>Firmeza</i>	25
k) <i>Color de la grasa</i>	25
l) <i>Color de la carne</i>	26
m) <i>Grado de calidad NMX-FF-078-SCFI-2002</i>	26
5.4.2.3. Otras medidas	26
a) <i>Alto y ancho de giba</i>	26
5.5. Evaluación de la calidad de la carne	27
5.5.1. Pérdida por cocción	27
5.5.2. Fuerza de corte Warner Bratzler (FCWB)	28
5.6. Evaluación de la composición de la carne	28
5.6.1. Determinación de humedad	29
5.6.2. Determinación de proteína	29
5.6.3. Determinación de grasa	30

5.6.4. Determinación de cenizas	31
5.7. Evaluación sensorial de la carne	31
5.8. Análisis estadístico	32
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
6.1. Descripción de la población estudiada	34
6.2. Descripción del Bienestar animal	35
6.3. Efecto de la suplementación de clorhidrato de zilpaterol de referencia o genérico sobre las características de rendimiento de la canal	36
6.4. Efecto de la adición de clorhidrato de zilpaterol de referencia o genérico sobre las características de calidad de la canal	39
6.5. Características de la carne de toretes suplementados con clorhidrato de zilpaterol de referencia o genérico	42
6.6. Efecto de la interacción entre el porcentaje cruza <i>Bos indicus</i> y tratamientos con clorhidrato de zilpaterol de referencia o genérico sobre las características de rendimiento de la canal	47
7. CONCLUSIONES	50
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
9. ANEXO I	69

RESUMEN

Tener un sistema de producción bovino más eficiente es primordial para satisfacer las demandas de carne, optando por el uso de promotores de crecimiento como el clorhidrato de zilpaterol. En este estudio se comparó el efecto de dos fuentes de clorhidrato de zilpaterol (CZ), un producto de referencia (Zilmax[®], MSD; CZr) y uno genérico (Zipamix[®], Pisa agropecuaria; CZg), sobre las características de rendimiento y calidad de la canal y sobre las características de la carne de toretes con predominancia *Bos indicus*, finalizados en condiciones tropicales. Noventa y seis animales de cada tratamiento se enviaron a matanza, y sus canales se evaluaron según los sistemas USDA y NMX-FF-078-SCFI-2002. Tres muestras de carne de cada canal fueron extraídas del músculo *Longissimus thoracis*, para los análisis de composición, calidad y evaluación sensorial. La base de datos se analizó con modelo lineal generalizado para obtener los resultados. El grado de rendimiento de las canales del grupo de CZr y CZg no difirieron estadísticamente, al igual que el peso de canal caliente y área del músculo *Longissimus* ($P>0.05$). Sin embargo, dichas características fueron superiores comparadas con las obtenidas en los animales controles ($P<0.05$). La cobertura de grasa dorsal de las canales tratadas con CZg fue menor en 0.5 cm respecto a las canales tratadas con el producto de referencia y el grupo Control ($P=0.044$). Las características de calidad de la canal y de la carne, así como los resultados del análisis sensorial fueron similares en los tres grupos ($P>0.05$). El pH 24 h *postmortem* fue 0.12 y .09 unidades superior en carne de animales suplementados con CZr, en relación al grupo Control y tratado con CZg, respectivamente ($P<0.05$). El porcentaje de cortes oscuros en los tres grupos fue similar ($P>0.05$) oscilando entre 4.16 y 6.25%. La suplementación de CZ de ambas presentaciones comerciales produce características de rendimiento en canal superiores sin afectar la calidad de la canal ni la calidad y apreciación organoléptica de la carne. Los resultados relacionados con rendimiento de la canal son superiores en toretes $\frac{3}{4}$ *Bos indicus* y cebúes puros suplementados con CZr o CZg.

Palabras clave: Clorhidrato de zilpaterol, genérico, características de la canal, calidad de la carne, *Bos indicus*

ABSTRACT

Having a more efficient beef production system is paramount to meeting meat demands, opting for the use of growth promoters such as zilpaterol hydrochloride. In this study, we compared the effect of two sources of zilpaterol hydrochloride (CZ), a reference product (Zilmax[®], MSD; CZr) and a generic one (Zipamix[®], Pisa agropecuaria; CZg) on the characteristics of yield and quality of the carcass, and on the characteristics of the meat of young bulls *Bos indicus* predominantly finned in tropical conditions. Ninety-six animals from each treatment were sent to slaughter, and their carcasses were evaluated according to USDA and NMX-FF-078-SCFI-2002 systems. Three meat samples from each carcass were extracted from the Longissimus thoracis muscle, for analysis of composition, quality and sensory evaluation. The database was analyzed with generalized linear model to obtain the results. The degree of yield of the carcass of the CZr and CZg group did not differ statistically, as did the Hot Carcass Weight and Longissimus muscle area ($P>0.05$). However, these characteristics were superior compared to those obtained in the Control animals ($P<0.05$). The subcutaneous fat of the carcass treated with CZg was 0.5 cm lower than the carcass treated with the reference product and the Control group ($P= 0.044$). Carcass and meat quality characteristics as well as sensory analysis results were similar in all three groups ($P>0.05$).

The pH 24 h postmortem was 0.12 and .09 units above or in meat of animals supplemented with CZr, in relation to the Control group and treated with CZg, respectively ($P <0.05$). The percentage of dark cutting in the three groups were similar ($P>0.05$), ranging between 4.16 and 6.25%. The CZ supplementation of both commercial presentations produces superior carcass yield characteristics without affecting the quality of the carcass and the quality and organoleptic appreciation of the meat. The results related to carcass yield are higher in $\frac{3}{4}$ *Bos indicus* and pure zebues young bulls supplemented with CZr or CZg.

Keywords: Zilpaterol hydrochloride, generic, carcass characteristics, meat quality, *Bos indicus*.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 5.6.1. Descripción de la muestra para el análisis químico proximal.....	28
Cuadro 6.1.2. Cantidad y área de la giba de animales de los diferentes porcentajes <i>Bos indicus</i> en cada tratamiento	35
Cuadro 6.2.1. Observaciones de los parámetros de Bienestar animal según los criterios de la Welfare Quality®	36
Cuadro 6.3.1. Características de rendimiento de la canal de toretes <i>Bos indicus</i> suplementados con clorhidrato de zilpaterol (CZg y CZr).....	38
Cuadro 6.4.1. Características de calidad de la canal de toretes <i>Bos indicus</i> en finalización suplementados con clorhidrato de zilpaterol (CZg y CZr)	40
Cuadro 6.5.1. Calidad de la carne de toretes <i>Bos indicus</i> en finalización suplementados con clorhidrato de zilpaterol (CZg y CZr), carne con maduración de 11 días.....	44
Cuadro 6.5.2. Composición del músculo <i>Longissimus</i> de toretes <i>Bos indicus</i> en finalización suplementados con clorhidrato de zilpaterol (CZg y CZr).....	45
Cuadro 6.5.3. Porcentaje de calificaciones positivas ³ (≥ 5) para rasgos de palatabilidad del músculo <i>Longissimus</i> de toretes <i>Bos indicus</i> en finalización suplementados con clorhidrato de zilpaterol (CZg y CZr), carne madurada por 11 días.....	46
Cuadro 6.6.1. Características de la canal de toretes con diferente porcentaje de cruce <i>Bos indicus</i> finalizados en confinamiento y suplementados con clorhidrato de zilpaterol (CZg y CZr)	48
Cuadro 9.1. Ingredientes y composición química de la dieta de finalización, en materia seca (MS). 69	
Cuadro 9.2. Determinación del grado de calidad USDA de la canal, utilizando la puntuación de marmoleo y la madurez fisiológica.....	70
Cuadro 9.3. Criterios para evaluar las canales de res de acuerdo con la norma NMX-FF-078-SCFI-2002	71
Cuadro 9.4. Determinación del tipo racial de las canales evaluadas, en base al área de la giba (<i>Romboides cervical</i>)	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 6.1.1. Distribución de los tipos raciales en los animales del estudio.....	34
Figura 9.5. Evaluación sensorial de carne de res, juzgada por consumidores	72

1. INTRODUCCIÓN

Se estima que para 2050 la población mundial habrá incrementado en 30% y se pronostica que la demanda de alimentos incrementará en 70% (FAO, 2015), específicamente se estima que la demanda de carne de res será 12% superior a la actual (OECD/FAO, 2015). Por otro lado, la producción de ganado de carne es una de las principales actividades que afectan al medio ambiente, que con la producción de gases de efecto invernadero y el consumo elevado de agua, provocan un marcado deterioro ecológico (Gerber *et al.*, 2013). Con el fin de minimizar los efectos que produce la ganadería sobre el cambio climático y hacer más eficiente la producción se promueven tecnologías que abarcan mejoras reproductivas, en alimentación y el uso de promotores de crecimiento, que reducen los días en corral y hacen rentable la producción de ganado estabulado (Aguirre, 2016). En las tres últimas décadas en México la industria cárnica bovina, ha incluido el uso de fármacos que aumentan la tasa de crecimiento, los cuales tienen como fundamento principal provocar un mayor rendimiento en canal (Stackhouse-Lawson *et al.*, 2015); entre estos productos se encuentran los β agonistas adrenérgicos (β AA), también conocidos como agentes repartidores, estos fármacos efficientan las variables productivas (Pringle, 1993; Plascencia, *et al.*, 1999; Avendaño-Reyes *et al.*, 2006).

Un ejemplo de estos es el ingrediente activo icónico para la producción de carne de vacuno denominado clorhidrato de zilpaterol (CZ). Este fármaco ha sido aprobado para la producción de carne en México (NOM-061-ZOO-1999, NOM-EM-015-ZOO-2002), Sudáfrica, Estados Unidos (FDA, 2006) y Canadá (CFIA, 2009). Aumenta la formación de músculo magro al interactuar con los receptores β_2 localizados en la membrana de las células de los mamíferos, predominantemente en el tejido muscular y adiposo. La interacción entre CZ y los receptores β_2 causa la activación de la proteína quinasa A, que desencadena la lipólisis (Mersmann, 2002). Además, el CZ inhibe la síntesis y esterificación de ácidos grasos (Domínguez-Vara *et al.*, 2009), induciendo menos deposición de grasa en la canal; ambas, la lipólisis y la reorientación de la energía alimentaria hacia la producción muscular, causan hipertrofia muscular (Garmyn y Miller, 2014; Ricks *et al.*, 1984; Timmerman, 1987). Se ha informado que los novillos suplementados con CZ producen canales más pesadas entre 5% y 7% e incrementan el rendimiento de la canal entre 3% y 3,5%, en comparación con animales no tratados (Strydom, 1988). Además, la suplementación

con CZ aumenta el área del músculo *Longissimus*, sin modificar la calidad de la carne (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006).

En cuanto a calidad de la carne, se ha indicado que el uso de CZ afecta la suavidad de esta, ya que se ha relacionado con el incremento de la actividad de las calpastatinas, proteínas que inhiben a las calpaínas durante el proceso de maduración (Koochmaraie *et al.*, 1995, 1996, 2002; Brandão *et al.* 2016), modificando también la textura y jugosidad de la carne (Koochmaraie y Geesink, 2006). En bovinos tratados con CZ se describen valores más altos de fuerza de corte en comparación con el grupo control (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006), y en relación a parámetros sensoriales, se detectó que los consumidores asignaban la calificación más baja en cuanto a terneza y sabor a la carne de animales que habían sido suplementados con CZ (Gramyn y Miller 2014).

Hasta hace poco, sólo la marca pionera de CZ estaba disponible. Últimamente, se publicó un solo estudio de evaluación de la eficacia de una marca genérica de CZ (Avendaño-Reyes *et al.*, 2016). Encontraron que los animales tratados con este producto alcanzan un peso final, ganancia diaria de peso (GDP) y las características de la canal, similares a los valores correspondientes a los obtenidos con el CZ de referencia. Como era de esperarse, tanto la marca genérica como la de referencia de CZ producen un mejor desempeño en comparación con los animales no tratados, excepto en el porcentaje de grasa interna y cobertura, que fue superior en el grupo Control. Sin embargo, la mayoría de los estudios que describen los efectos del CZ sobre las características de la canal y de la carne se han realizado en bovinos *Bos taurus*, mientras que los informes sobre el desempeño de *Bos indicus* son limitados (Avendaño-Reyes *et al.*, 2016, Castellanos-Ruelas *et al.*, 2006). Considerando que en México, el 90% del ganado enviado a matanza tiene un alto grado de cruce con *Bos indicus* (Méndez *et al.*, 2009), es necesario determinar el efecto de este tipo de promotores del crecimiento sobre este tipo racial.

Un medicamento genérico es un medicamento oficialmente autorizado que tiene perfiles farmacocinéticos estadísticamente similares al producto pionero o de referencia (FDA, 2013; Martínez y Riviere, 1994). Sin embargo, las características farmacodinámicas no siempre se comportan de forma similar con respecto a la preparación de referencia. Por ejemplo, un estudio que comparó la eficacia de formulaciones genéricas de ivermectina encontró efectos farmacológicos similares con el producto de referencia (Suárez *et al.*, 2013), sin embargo, otros autores no concuerdan, informando diferencias en la cinética y en el patrón de absorción del

fármaco, a pesar de la similitud de los productos (Genchi *et al.*, 2008, Lifschitz *et al.*, 2004). En consecuencia, este estudio tiene como objetivo determinar si existen o no diferencias en las características de las canales y/o en la calidad de la carne de toretes *Bos indicus* finalizados en condiciones tropicales de México, suplementadas con un producto genérico (Zipamix® PiSA agropecuaria) o con un producto de referencia (Zilmax® MSD).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Promotores de crecimiento

Los promotores de crecimiento como los implantes hormonales y los β agonistas adrenérgicos (β AA) han sido ampliamente utilizados en la producción animal debido a que optimiza la eficiencia de la producción, estas sustancias provocan modificaciones en los procesos metabólicos, cambiando principalmente la repartición de energía de la alimentación hacia el músculo en lugar de dirigirse a la deposición de grasa (Baker *et al.*, 1984; Shelver *et al.*, 2005; Dikeman, 2007; Nourozi *et al.*, 2008), incrementando de esta forma el peso la canal, el área del músculo *Longissimus* y el rendimiento total de carne. Los implantes son productos que contienen hormonas naturales como estradiol, progesterona y testosterona y/o sintéticas como acetato de trembolona o seranol que se colocan de manera subcutánea en la oreja del animal, afectando el estado hormonal de este, para mejorar su productividad, especialmente la velocidad del crecimiento y conversión alimenticia (Radunz *et al.*, 2011), por otro lado los β AA son moléculas orgánicas que se unen a los receptores β adrenérgicos (R β A) actuando sobre la repartición de nutrientes, cambiando el balance energético que modifica la relación músculo/grasa, es decir que aumenta el tejido magro (Moody *et al.*, 2000 y Ricks *et al.*, 1984b) y sin intervenir en el estado hormonal del animal.

2.1.1. β agonistas adrenérgicos

Los β AA pertenecen al grupo de las fenetanolaminas. Estos compuestos sintéticos son farmacológicamente similares a las catecolaminas endógenas del organismo, como la dopamina, epinefrina y norepinefrina (NRC, 1994; Bell *et al.*, 1998). Los β AA se llaman de esta manera porque actúan sobre las células a través de R β A que se encuentran en la membrana celular (Blair, 1983).

En animales de producción, los β AA comúnmente utilizados son: clorhidrato de ractopamina y clorhidrato de zilpaterol, los cuales se administran de forma oral adicionados con los ingredientes de la ración de finalización (Anderson *et al.*, 2005). Los β AA actúan en el tejido muscular, favoreciendo la síntesis y retención de proteína que provoca la hipertrofia muscular (Domínguez *et al.*, 2009); también se ha sugerido que pueden contribuir al incremento de la masa

muscular magra debido a que actúan sobre el complejo calpina-calpastatina, disminuyendo la degradación proteica (Baxa *et al.*, 2010).

Ya que los β AA comparten propiedades fisicoquímicas, su comportamiento es similar dentro del organismo, por otro lado, las diferentes sustituciones en distintas partes de su estructura molecular, modifican algunas características farmacocinéticas, produciendo diferentes capacidades de distribución y permanencia en el organismo, las cuales determinan la magnitud del efecto del β AA y la persistencia de residuos en los tejidos del animal (Sumano *et al.*, 2002).

Reportes de algunos β AA como clenbuterol (Schiavetta *et al.*, 1990), L-644,969 (Moloney *et al.*, 1990, Wheelery Koohmaraie, 1992) y cimaterol (Quirke *et al.*, 1988) han demostrado que el uso de estas moléculas mejora la ganancia diaria de peso (GDP), también aumenta la cantidad de tejido muscular y reduce la deposición de grasa (Ricks *et al.*, 1984b, Moloney *et al.*, 1990; Chikhou *et al.*, 1993b), por otro lado, se incrementa la fuerza de corte de carne bovina cuando el ganado es tratado con β AA (Miller *et al.*, 1988; Boucque *et al.*, 1994; Moloney *et al.*, 1994).

2.1.2. Mecanismos de acción de los β agonistas adrenérgicos

Los β AA son moléculas orgánicas que se unen a sus receptores específicos situados en la membrana celular. Estos receptores se pueden subdividir en tres tipos: los $R\beta A1$ que se caracterizan por estar presentes en la musculatura cardiaca e intestinal, los $R\beta A2$ son característicos de la musculatura bronquial y uterina, por su parte los $R\beta A3$ tienen una mayor distribución en los adipocitos. La distribución y proporción de los subtipos varía entre tejidos y especies (Mersmann, 1998). Sin embargo, los tres tipos de receptores aparecen en numerosos tejidos, incluyendo el músculo esquelético y el tejido adiposo (Warris, 2000). En los bovinos, predominan los $R\beta A2$ en las células musculares y adipocitos, pudiendo llegar a una proporción de 75% de $\beta 2$ y 25% de $\beta 1$ en las células adiposas (Sillence y Matthews; 1994; Van Liefde *et al.*, 1994). Esta relación puede explicar porque la respuesta obtenida al suplementar con CZ, en bovinos, es más pronunciada en comparación con la suplementación con ractopamina, debido a que CZ tiene mayor afinidad por los $R\beta A2$, mientras que la ractopamina interactúa mejor con los $R\beta A1$ (Mersmann, 1998; Moody *et al.*, 2000; Anderson *et al.*, 2004).

La unión entre β AA y $R\beta A$ da lugar al complejo agonista-receptor, el cual activa la proteína Gs, que a su vez activa la adenilato ciclasa (AC), enzima que transforma el ATP (adenosin trifosfato)

en AMPc (adenosin monofosfato cíclico), dicha molécula producida es un segundo mensajero intracelular. El AMPc produce sus efectos al unirse con la subunidad regulatoria de la proteína quinasa A (PKA), causando la fosforilación de la misma, dejándola activa para sus funciones catalíticas, las cuales van desde permitir la entrada de Ca^{++} a la célula, hasta mediar la síntesis de proteínas clave para su funcionamiento (Garza *et al.*, 1997; Mersmann, 1998; Moody *et al.*, 2000; Anderson *et al.*, 2005). La activación de los R β A por los β AA resulta en la alteración del metabolismo en los adipocitos y en la fibra muscular.

a) Efecto de los β AA sobre el tejido adiposo

Los β AA provocan cambios en el metabolismo del tejido adiposo, una vez activa la PKA, esta fosforila y activa las lipasas que están involucradas en la inhibición de la síntesis de ácidos grasos e inactiva las enzimas lipogénicas. Es decir, que en el tejido adiposo se produce un aumento del catabolismo (lipólisis) y se reduce el anabolismo (lipogénesis) (Yang y McElligott, 1989; Moody *et al.*, 2000; Mersmann, 2002). Lo que resulta en un menor depósito de grasa en la canal. Se ha demostrado *in vitro* la degradación de triacilglicerol en adipocitos y la inhibición de la síntesis de los mismos (Garza *et al.*, 1997).

En ovinos suplementados con cimaterol (10ppm por 12 semanas), se elevó el nivel plasmático de ácidos grasos no esterificados y disminuyó la cantidad de grasa en la canal, esto sugiere la mayor movilización de los lípidos (Beermann *et al.*, 1987), en cambio Shackelford *et al.* (1992) suplementaron ovinos con L-644,969 y no encontraron diferencia en la cantidad de grasa de riñón, pelvis y corazón (KPH). Por su lado Chwalibong *et al.* (1996) utilizaron L-644,969 por un periodo de 6 semanas en bovinos y reportaron una disminución en la cantidad de grasa de la canal.

Una de las claves de ese proceso lipolítico provocado por los β AA puede ser la reducción en la actividad de la insulina, que tiene una función anabólica, aumentando la lipogénesis y potencialmente inhibiendo el efecto lipolítico (Mohhamadi *et al.*, 2006). Una reducción en la insulina plasmática trae consigo un aumento en la lipólisis (Mersmann, 1998).

b) Efecto de los β AA en el tejido muscular

El efecto más evidente de la administración oral de los β AA en el ganado, cerdos y ovinos, es el aumento en la masa muscular. Esta hipertrofia muscular puede estar dada por diferentes procesos. Los β AA pueden incrementar el flujo sanguíneo a ciertas regiones del organismo, el aumento de esta perfusión sanguínea permite transportar una mayor cantidad de nutrientes y energía hacia el músculo esquelético y así favorecer la síntesis y retención de proteína, dando como resultado la hipertrofia muscular, principalmente del cuarto trasero del animal (Ricks *et al.*, 1984). Por otro lado se reporta que los β AA provocan la inhibición del recambio proteico y la síntesis de proteínas miofibrilares, que ocurre por el aumento de genes de dichas proteínas (Johnson *et al.*, 2014), debido a la mayor presencia de PKA activada, la cual señala para incrementar la cantidad total de RNA (ácido ribonucleico) y RNAm (ácido ribonucleico mensajero) de las proteínas miofibrilares dando como resultado el aumento en la tasa de síntesis proteica *in vivo* (Moody *et al.*, 2000; Anderson *et al.*, 2005). En ovinos suplementados con L-644,969 se reportó un incremento en el RNA y RNAm de la alfa-actinina (α -actinina), una proteína miofibrilar (Koomaraie *et al.*, 1991), y para miosina en bovinos tratados con ractopamina (Smith *et al.*, 1989). En cambio, en el reporte de Rathmann *et al.* (2009) no pudieron concluir que el CZ tiene efecto sobre la síntesis de RNA y RNAm de proteínas miofibrilares.

Un factor que puede contribuir a la hipertrofia muscular está relacionado con la tasa de degradación proteica. Las enzimas responsables de la degradación de las proteínas miofibrilares son las calpaínas (μ y m), proteasas calcio dependientes intracelulares de origen no lisosomal, y la calpastatina que es la enzima inhibidora endógena de las calpaínas. La acción de los β AA provoca el aumento del RNAm de la calpastatina dando como resultado una mayor actividad de esta, incrementando la tasa de inhibición de las calpaínas, disminuyendo así la degradación proteica y dando como consecuencia un aumento del tejido muscular (Koohmarie y Shackelford, 1991; Bardley *et al.*, 1992; Parr *et al.*, 1992; Dunshea *et al.*, 2005; Hope-Jones *et al.*, 2010; Baxa, 2010). De acuerdo con Doumit y Koohmarie (1999), los bovinos tratados con β AA, presentaron un aumento de 36% de la masa muscular, 96% en los niveles de calpastatina y 76% aumentó la actividad de esta. Se ha reportado una disminución en la actividad de las calpaínas en el músculo *Longissimus* entre 55-70% de animales tratados con cimaterol (Wang y Beermann, 1988). Por otro lado, algunas investigaciones han reportado que los β AA tienen efecto principalmente en el

anabolismo proteico sin afectar la degradación de las proteínas miofibrilares (Moody *et al.*, 2000; Anderson *et al.*, 2005).

Otras investigaciones mencionan el efecto de los β AA sobre la proporción, diferenciación y aumento de las fibras musculares. De acuerdo con Miller *et al.* (1988) novillos suplementados con clenbuterol presentaron un aumento en el diámetro de las fibras musculares tipo II en relación con los animales no tratados. Johnson *et al.* (2014) encontraron el 50% de aumento en el área de las fibras musculares de animales suplementados con β AA en comparación con los animales del grupo control. Por lo tanto, el aumento en el diámetro de la fibra muscular puede estar relacionado con el aumento de la masa muscular.

Otra suposición sobre la hipertrofia muscular es el aumento de la cantidad de RNAm de la cadena de miosina tipo IIX. Bovinos suplementados con CZ durante 30 días presentaron un aumento en la cantidad de RNAm de miosina tipo IIX en el músculo semimembranoso, sin verse modificada la cantidad de RNAm de miosina tipo I y IIA (Johnson *et al.*, 2014).

Algunas investigaciones encontraron modificaciones en la concentración de la hormona de crecimiento, de los factores de crecimiento similares a la insulina (*insul-in-like growth factors* – IGF-I) y de la tiroxina (T4) que pudieron ser afectados por la suplementación de β AA, todas ellas con efecto en el aumento de la masa muscular, aunque la relación del aumento de estas hormonas y la administración de β AA es inconsistente. En ovinos suplementados con cimaterol durante 6 semanas, se observó el aumento de la hormona de crecimiento y de T4, por otro lado, se observó la disminución de IGF-I (Beerermann *et al.*, 1987). Entre tanto O'Connor *et al.* (1991) no detectaron modificaciones en la cantidad de IGF, mientras que la concentración de T4 se observó disminuida cuando los ovinos fueron tratados con clenbuterol durante 3 semanas. Dawson *et al.* (1993) tampoco encontraron modificaciones en las concentraciones de la hormona de crecimiento y de IGF-I en bovinos suplementados con cimaterol. De acuerdo con Mersmann (1998), existe poca o ninguna evidencia que los β AA aumenten la masa muscular debido a alteraciones en los factores de crecimiento.

La suplementación de β AA es eficiente tanto en hembras, machos enteros, machos castrados físicamente o con inmunocastración, indicando que las hormonas esteroides gonadales no están involucradas en la hipertrofia muscular causada por los β AA (Yang y McElligott, 1998).

2.1.3. Efectos de los β agonistas adrenérgicos en:

a) Desempeño productivo del animal

Se ha descrito que la suplementación de β AA en ovinos y bovinos puede aumentar el peso de los músculos hasta en 40 %, la magnitud de la respuesta es variable dependiendo del β AA suministrado, así como la influencia de otros factores como especie, raza, edad, sexo, dieta, dosis y duración del tratamiento (Mersmann, 1998). En ovinos suplementados con CZ (Anaya *et al.*, 2005; López *et al.*, 2003; Salinas *et al.*, 2006; Mondragón, 2008) no se encontró que la suplementación del β AA mejorara el desempeño productivo en comparación con los animales no tratados. En contraste Salinas *et al.* (2004) encontraron que la suplementación de CZ en ovinos mejoró la GDP en 60%. Así mismo otras investigaciones reportan que en bovinos tratados con CZ hay aumento en la GDP, y que el peso final de los animales es superior en 5.5 a 19.5 kg en comparación con los animales control (Garza *et al.*, 1997; Garcés *et al.*, 1998; Plascencia *et al.*, 1999; Castellanos *et al.*, 2006; Avendaño-Reyes *et al.*, 2006). En un estudio realizado por Montgomery *et al.* (2009a) hallaron que la suplementación de CZ en una dosis de 8.33 μ g/Kg de MS durante 20 d, provoca un aumento del peso final de 6 y 10 kg, en novillas y novillos respectivamente, y la suplementación durante 40 d aumenta el peso final en 8 kg en novillas y 14 kg en novillos, en comparación con los animales no tratados. La suplementación de cimaterol en novillos Holstein aumenta la tasa de crecimiento (Allen *et al.*, 1986), en otro estudio con novillos Belgain Blue se reportó el incremento significativo de la ganancia diaria de peso y la disminución en el consumo de alimento (Bocqué *et al.*, 1986).

b) Características de la canal

Algunos investigadores reportan que la suplementación de β AA incrementa aproximadamente 15 kg el peso de la canal caliente (PCC) y 1.7% el porcentaje de rendimiento en canal (*dressing percentage*) comparado con bovinos sin tratar (Chikhou *et al.*, 1993a; Fiems *et al.*, 1993; Avendaño-Reyes., 2006; Montgomery 2009a; Lean, *et al.*, 2014). Investigaciones previas informan que el área del músculo *Longissimus* (ML) de bovinos tratados con CZ es aproximadamente 8 cm² superior, en contraste con bovinos que no recibieron tratamiento (Lean *et al.*, 2014). Algunos autores reportan un decremento en la cantidad de grasa dorsal y las puntuaciones de marmoleo (Elam *et al.*, 2009; Montgomery *et al.*, 2009b; Baxa *et al.*, 2010),

mientras que otras investigaciones indican que generalmente estas características y la cantidad de grasa interna KPH (*kidney, pelvic and heart*) no se ven afectadas (Casey *et al.*, 1997a, b.; Plascencia *et al.*, 1999; Robles-Estrada *et al.*, 2009). Por otro lado, la suplementación de CZ reduce el grado de calidad (USDA *quality grade*) y el grado de rendimiento (USDA *yield grade*) en novillas estabuladas (Montgomery *et al.*, 2009b; Robles-Estrada *et al.*, 2009). En el sistema de clasificación y estándares para graduar canales bovinas propuesto por el USDA, la clasificación por rendimiento se refiere al esperado en cortes primarios (pierna, lomo, espaldar y paleta) deshuesados y bien recortados de grasa, dichos cortes corresponden al 75% del peso de la canal, pero el valor representa más del 90% de la misma (USMEF, 2017), el USDA *yield grade* se mide en una escala de 1 a 5, donde a mayor valor numérico, menor es el rendimiento esperado de la canal.

c) Suavidad de la carne

Muchos estudios coinciden que el uso de β AA provoca un incremento de la fuerza de corte (Lean *et al.*, 2014). Se ha reportado que la suplementación de CZ provoca valores superiores de fuerza de cortes Warner Bratzler (FCWB) en comparación con los animales que no se suplementan (Hilton *et al.*, 2009; Leheska *et al.*, 2009); esto puede deberse al posible incremento de la actividad calpastatina en el músculo (Bardsley *et al.*, 1992; Wheeler y Koochmaraie 1992; Luño *et al.*, 1999).

Fiems *et al.* (1990) evaluaron el efecto de la suplementación de cimaterol en toros Belgain Blue y Charolais, los cuales recibieron 60 μ g/kg/d de esta sustancia en la dieta durante 246 días y concluyeron que la fuerza de corte aumento en 31% comparado con los bovinos control. Chikhou *et al.* (1993) encontraron que la administración de cimaterol por 4 semanas aumento la fuerza de corte en animales llevados a matanza con 275, 375 y 475 kg de peso final, en 55, 145 e 118 %, respectivamente, comparando estos valores con los animales que no recibieron tratamiento. Algunas investigaciones mencionan que el uso de cimaterol en bovinos aumenta la fuerza de corte, sin modificar las características sensoriales (Boucqué *et al.*, 1994; Vestergaard *et al.*, 1994).

Brooks *et al.* (2009) evaluaron el efecto de la administración de 6.8g/t de CZ en la dieta de bovinos durante 0, 20, 30 y 40 d sobre la calidad de la carne de 3 músculos (*Longissimus lumborum*, *Triceps brachii* y *Gluteus medius*), madurados por 7, 14 y 21 d. Los autores concluyeron que la fuerza de corte aumentó de acuerdo con el aumento del período de suplementación, para los 3 músculos, el porcentaje de cortes con valores de fuerza de corte < 4.5 kg (suave) fue menor

en animales suplementados. Otra investigación donde se evaluaron los mismos músculos y períodos de administración en bovinos que suplementados con 7.56 g/t de CZ, y se reportó que los músculos *Longissimus lumborum*, *Gluteus medius* y *Triceps brachii* fueron más duros cuando los animales se suplementaron durante 30 y 40 días en comparación con los animales tratados durante 20 días y con aquellos sin tratamiento (Claus *et al.*, 2010).

Se ha visto afectada la suavidad de la carne, cuando es evaluada por un panel sensorial entrenado o jueces consumidores, se ha descrito que la suplementación con CZ produce menores puntuaciones de suavidad en cortes madurados por 7 y 14 días de bovinos que recibieron CZ a una dosis de 8.3 mg/kg de MS (Hilton *et al.*, 2009). En una investigación realizada por Garmyn *et al.* (2010), reportaron que el uso de CZ (8.3 mg/kg de MS) produce cortes con menores puntuaciones de jugosidad y suavidad, cuando estos son madurados por 14 y 21 días.

Los diferentes β AA pueden afectar la calidad de la carne en diferente magnitud, debido a la afinidad por los diversos receptores (β 1 o β 2). En un estudio realizado por Avendaño-Reyes *et al.* (2006) en el cual comparó el efecto del CZ (60mg/bovino/d) y ractopamina (300mg/bovino/d), llegaron a la conclusión que ambos β AA aumentan la fuerza de corte en lomo, en comparación con las muestras de animales que no fueron suplementados. Strydom *et al.* (2009) compararon el efecto de 3 β AA (CZ - 6 ppm, ractopamina - 30 ppm y clenbuterol - 2 ppm), suplementando bovinos por 30 días y madurando el músculo *Longissimus* por 2, 7 y 14 días, estos autores concluyeron que todos los β AA aumentan la fuerza de corte del músculo *Longissimus*, comparados con los cortes de animales control, las muestras del tratamiento con clenbuterol fueron más duras, seguidas por CZ y ractopamina.

d) Palatabilidad de la carne

La suplementación de β AA afecta las puntuaciones sensoriales evaluadas por jueces entrenados y consumidores (Hilton *et al.*, 2009; Leheska *et al.*, 2009). Hilton *et al.* (2009) evaluó el efecto del CZ en la palatabilidad del músculo *Longissimus* y reportaron que el panel entrenado asignaba las puntuaciones menores para jugosidad, suavidad, intensidad de sabor y sabor a carne de bovino, a los cortes de bovinos tratados con CZ comparado con los animales control. El efecto en estas características puede ser atribuido al decremento de la grasa intramuscular del músculo

Longissimus (Montgomery *et al.*, 2009 a y b). Sin embargo en el mismo experimento la aceptación general no fue afectada por el tratamiento con CZ.

El uso de clenbuterol y CZ también afectaron negativamente los resultados obtenidos de pruebas de panel sensorial de la carne en cuanto a suavidad y jugosidad (Luño *et al.*, 1999. Geesink *et al.* (1993) demostraron que el uso de clenbuterol frena la maduración del músculo, ya que la proteólisis se ve reducida. Luño *et al.* (1999) y Wheeler y Koochmarai (1992) también encontraron resultados similares, donde el clenbuterol redujo en gran medida la maduración postmortem de los músculos de novillas y novillos.

En relación a estudios sensoriales se detectó que los consumidores daban la calificación más baja en cuanto a suavidad y sabor, a la carne de animales que habían sido suplementados con CZ (Garmyn y Miller, 2014).

Schroeder *et al.* (2003) demostraron que la suplementación de 300 mg/animal/d de clorhidrato de ractopamina aumentó la fuerza de corte de la carne bovina y afectó las puntuaciones en panel sensorial de suavidad sostenida, en cambio la jugosidad y el sabor no fueron modificados por el tratamiento. Por otro lado, también demostró que las dosis de 100 y 200 mg /animal/d de ractopamina no comprometen la fuerza de corte Warner Bratzler ni las puntuaciones organolépticas.

e) Color de la carne

Los β AA pueden tener efecto en el color de la carne. Boucqué *et al.* (1994) y Fiems *et al.* (1990) no encontraron diferencias en los colores de L^* , a^* y b^* , de cortes de bovinos Belgian blue suplementados con 60 μ g/kg de cimaterol durante 136 o 246 días, respectivamente. Mientras que Vestergaard *et al.* (1994) hallaron que la suplementación con cimaterol (0,056 mg/kg de peso vivo/d) por 90 días produce carne con valores mayores de L^* , sin afectar los valores de a^* y b^* . Monson *et al.* (2007) no encontraron diferencias en las coordenadas de L^* , a^* y b^* en la carne madurada durante 7 días de toros jóvenes que recibieron clenbuterol (5 o 10 μ g/kg de peso vivo/d) por 110. En el mismo sentido, Quinn *et al.* (2008) no encontraron diferencia en el color de la carne (madurada por 14 días y expuesta en *display* por 7 días) de bovinos que fueron suplementados con ractopamina (200 mg/animal/d) por 28 d. En la investigación de Avendaño-Reyes *et al.* (2006) quienes evaluaron el color de la carne (madurada por 5 y 14 días) de novillos

suplementados con CZ (60 mg/animal/d) y ractopamina (300 mg/bovino/d) por 33 días, concluyeron que la exposición en *display*, es decir en góndolas para venta al por menor, las muestras de todos los tratamientos fueron más oscuras, siendo más evidente en las muestras de carne de animales suplementados con CZ.

El efecto de la utilización del CZ en el color de la carne fue evaluado en diferentes condiciones, como tiempo de suplementación, músculo y tipo de sistema de empaque. Rogers *et al.* (2010) evaluaron el efecto del tiempo de suplementación de CZ (6,8 g/ton) en carne de bovinos holandeses que fue empacada en embalaje con atmósfera modificada a (80 % de oxígeno y 20 % de dióxido de carbono), concluyendo que el uso de CZ no afectó el color del lomo, en cuanto a medición instrumental del color o evaluada por panel entrenado. Diferentes resultados fueron obtenidos por VanOverbeke *et al.* (2009) quienes encontraron mayor valor de a^* en carne de bovinos suplementados por 30 días con CZ, en cuanto a evaluación visual ellos no encontraron diferencias. En la investigación de Gunderson *et al.* (2009) se reporta que los cortes de animales suplementados entre 20 y 30 días tuvieron las mejores características de color, siendo considerada más atractiva para los evaluadores, cuando los cortes fueron empacados de forma tradicional (PVC-empaque de cloruro de polivinil), mientras que en los empacados en atmósfera modificada (69,6 % N₂, 30 % CO₂ y 0,4 % CO), en todos los períodos de suplementación (20, 30 e 40 d) se registró una mejor estabilidad de color, en comparación con las muestras de animales sin suplementar.

f) Capacidad de retención de agua (CRA)

La utilización de β AA tiende a afectar poco o no modificar la CRA de los cortes primarios o filetes, sea medida por pérdida por goteo, por descongelamiento, o por cocción. Fiems *et al.* (1990) y Boucqué *et al.* (1994) concluyeron que la suplementación con cimaterol no tiene efecto en las pérdidas por goteo y cocción. Mientras que Chikhou *et al.* (1993) describieron mayor pérdida por goteo en muestras de bovinos suplementados con cimaterol, en contraste con las muestras de animales sin tratamiento. En la utilización de clenbuterol, Monson *et al.* (2007) describieron un incremento de pH y menor retención de agua en las muestras de carne de animales suplementados con el β AA. Quinn *et al.* (2008) no hallaron diferencias en las pérdidas por exudación en exposición en *display* de filetes obtenidos de bovinos tratados o no con

ractopamina. Por otro lado, Avendaño-Reyes *et al.* (2006) compararon la utilización de CZ y ractopamina por 33 días y concluyeron que la capacidad de retención de agua disminuía cuando las muestras de animales control y tratados con ractopamina fueron maduradas de 5 a 14 días, y fue mayor en muestras de animales que fueron suplementados con CZ.

Leheska *et al.* (2009) no encontraron diferencias en las pérdidas por cocción de carne de novillas y novillos que fueron suplementados con CZ (8,3 mg/kg de MS) por 20 o 40 días. De la misma manera, Garmyn *et al.* (2010) no encontraron efecto de la suplementación de CZ en las pérdidas por descongelación y cocimiento en filetes de lomo madurados por 14 y 21 días. Hilton *et al.* (2009) tampoco hallaron diferencias en las pérdidas por cocción del músculo *Longissimus* (madurados por 14 días) de bovinos suplementados o no con CZ. A diferencia de los resultados de Rogers *et al.* (2010), quienes detectaron que los cortes primarios de animales sin tratamiento o tratados con CZ por 20 días tuvieron menores pérdidas por exudación comparado con cortes de animales tratados durante 30 y 40 días con CZ. Resultados similares fueron obtenidos por Kellermeier *et al.* (2009), en los que los lomos de animales suplementados con CZ por 30 días tuvieron un aumento en las pérdidas por exudación, comparadas con los animales sin tratamiento. Rathmann *et al.* (2009) encontraron que las mayores pérdidas por exudación ocurrían en bovinos tratados con CZ.

g) Composición de la carne

La capacidad de repartición de nutrientes al usar β AA, está bien documentada. Un aumento en la deposición de proteína y humedad, con la disminución del porcentaje de grasa ha sido demostrada por la utilización de clenbuterol (Baker *et al.*, 1984; Ricks *et al.*, 1984), cimaterol (Fiems *et al.*, 1987; Boucqué *et al.*, 1994) y ractopamina (Schroeder *et al.*, 2005). Adicionalmente, Moloney *et al.* (1990), Vestergaard *et al.* (1994) y Schroeder *et al.* (2005) mostraron un aumento en la carne magra con la disminución de grasa, debido a la utilización de L-644,969, cimaterol y ractopamina. Los resultados son inconsistentes en la composición química de la carne, atribuidos a la utilización de CZ. Hilton *et al.* (2009) encontraron que la suplementación de CZ disminuía el porcentaje de grasa, pero no observaron diferencia en la cantidad de proteína y humedad de filetes. Leheska *et al.* (2009) no encontraron diferencia para grasa, humedad y cenizas, pero reportaron un incremento en la cantidad de proteína en muestras de animales suplementados con

CZ. Kellermier *et al.* (2009) y Rathmann *et al.* (2009) encontraron mayores porcentajes de proteína y humedad y menores de grasa en muestras de bovinos que fueron tratados con CZ. Strydom *et al.* (2009) compararon el efecto de CZ, ractopamina y clenbuterol en la composición química de la carne. Los autores concluyeron que no había efecto sobre la cantidad de proteínas y cenizas, las muestras de animales suplementados con CZ y clenbuterol presentaron el porcentaje de humedad, mientras que las muestras de animales control tuvieron la mayor cantidad de grasa.

El efecto de los β AA sobre la cantidad de colágeno es inconsistente. Algunos autores reportan la reducción en la cantidad de colágeno por el uso de β AA (Fiems *et al.*, 1990; Kellemeier *et al.*, 2009). Más allá de la cantidad de colágeno, la proporción entre colágeno soluble en insoluble también debe ser evaluada. Vestergaard *et al.* (1994) informan la reducción en el colágeno total por el uso de cimaterol, pero sin verse afectada la cantidad de colágeno soluble. Strydom *et al.* (2009) reportan una disminución de colágeno total en muestras de toretes suplementados con CZ y clenbuterol.

2.1.4. Factores que afectan la efectividad de los β agonistas adrenérgicos

Se ha reportado que el peso de la canal de ganado bovino suplementado con β AA, puede ser hasta 25% superior que el peso de las canales de bovinos no tratados (Vestergaard *et al.*, 1994a) y en ovinos puede incrementar hasta 40%, aunque a veces el incremento no suele ser significativo (Moloney *et al.*, 1994; Garmyn *et al.*, 2010). Estas diferencias pueden ser atribuidas a factores como edad, sexo y raza de los animales (Mersmann, 2002), así como la dosis y tiempo de administración del β AA.

En cuanto al desempeño productivo se han observado una gran variedad en las respuestas al usar estos promotores de crecimiento, algunos autores han encontrado que los animales que son suplementados con β AA presentan efectos sobre el crecimiento y el rendimiento de la canal y que este efecto es más pronunciado en animales jóvenes que en animales maduros (Carter *et al.*, 2006). En algunos estudios realizados en ovinos con clorhidrato de zilpaterol (Anaya *et al.*, 2005; Mondragón *et al.*, 2010; López *et al.*, 2003) no se ha encontrado una diferencia clara en la respuesta productiva en comparación con el grupo control; por otro lado se ha usado el CZ en cabras (Hatefi, *et al.*, 2015), ovinos (Salinas *et al.*, 2004) y bovinos (Garza *et al.*, 1997; Garcés *et al.*,

1998; Plascencia *et al.*, 1999; Castellanos *et al.*, 2006; Avendaño-Reyes *et al.*, 2006), y se ha visto incrementado el peso final de los animales, la ganancia diaria de peso, y en la canal aumenta el peso de la canal caliente, el rendimiento y el área de la chuleta comparados con animales control, además de verse reducida la grasa de cobertura y la grasa de riñón, pelvis y corazón.

En relación al tamaño de corral, se han reportado respuestas mayores en ganado estabulado en corrales pequeños en comparación con los animales finalizados en corrales de tipo comercial. Por ejemplo, Montgomery *et al.* (2009a) reportaron un aumento de GDP (14,2%) y en la eficiencia alimenticia (15,5%) en novillos suplementados con CZ en corrales comerciales, estos resultados fueron inferiores a los reportados por otros investigadores que llevaron a cabo sus pruebas en corrales pequeños. Por ejemplo, Plascencia *et al.* (1999) informaron un incremento de 37% en GDP y un aumento del 39% en la eficiencia alimenticia.

Por otro lado, Radunz *et al.* (2011) informan que el uso de CZ en ganado bovino es efectivo cuando se usa entre 20 y 40 días previos a la matanza de los bovinos. Después de este período, el rendimiento regresa al nivel previo de utilización del β AA, debido a que el organismo se adapta al ingrediente activo durante este tiempo y posteriormente pierde su eficiencia. Debido a que la unión constante y prolongada puede causar la desensibilización o inactivación de los receptores, generando una regulación a la baja negativa.

2.1.5. Impacto de los β agonistas en la salud pública

Según datos de la FAO (2012), más de 20 países usan ractopamina como suplemento para ganado de carne, mientras que la cantidad de países en que se ha aprobado el uso de CZ, es menor, entre ellos están: México (NOM-061-ZOO-1999, NOM-EM-015-ZOO-2002), Sudáfrica, Estados Unidos (FDA, 2006) y Canadá (CFIA, 2009). Estos compuestos químicos se consideran de baja magnitud de riesgo hacia consumidores que hayan ingerido alguno de los tejidos de animales tratados con algún β AA (Smith, 1998), la persistencia de residuos son frecuentes en los alimentos de consumo humano pero en rara ocasión pueden causar reacciones adversas como intoxicaciones (Thomas *et al.*, 1995; Sumano *et al.*, 2002), pero hasta el momento no se han reportado casos de personas intoxicadas por haber consumido algún tejido proveniente de animales suplementados con este compuesto. Los límites máximos de residuos recomendados de

CZ, para los diferentes tejidos comestibles son (ppb): hígado y riñón 30, tejido adiposo 20 y músculo 1 (SAGARPA, 2012; Intervet, 2014).

En contraste, el uso desmedido de clenbuterol ha provocado riesgos a la salud pública; en México la NOM-061-ZOO-1999 prohíbe el uso de este fármaco en animales. Esta norma excluye a la ractopamina y al CZ, que tienen menor potencia en la bronco dilatación, vasoconstricción y en la frecuencia cardíaca. El CZ ha sido aprobado para la alimentación de ganado de engorda en dosis de 7,5 a 8,3 mg/kg de MS (FDA, 2006) y con un tiempo de retiro entre 4 a 8 días, ya que se ha demostrado una rápida eliminación de la sustancia (> 95% en 72h), principalmente a través de la orina (Shelver y Smith 2006). Los β AA tienen en su estructura anillos aromáticos hidroxilados, los cuales son metabolizados por conjugación y tienen una vida media plasmática relativamente corta (Sumano *et al.*, 2002). Debido a que el clenbuterol posee en su estructura cloro, dicho compuesto le da la capacidad de ser más liposoluble que otros β AA, difundiendo con mayor profundidad en los tejidos, reduciendo su excreción (Sumano *et al.*, 2002). El efecto cardioestimulante del clenbuterol es 2,000 veces mayor que el CZ (Díaz y García, 1994; Garcés *et al.*, 1998).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Evaluar los efectos del clorhidrato de zilpaterol en su presentación genérica (Zipamix®), comparándola con la del producto de referencia (Zilmax®) y con animales sin suplementar (Control), en relación a las características de rendimiento y calidad de la canal y parámetros de calidad, químicos y sensoriales de la carne de toretes comerciales estabulados y finalizados en condiciones tropicales.

3.2. Objetivos particulares

- a) Conocer las características de rendimiento de bovinos con suplementación de zilpaterol de referencia o genérico con respecto a los animales Control.
- b) Determinar el efecto en el grado de calidad de la canal de bovinos tratados con clorhidrato de zilpaterol de referencia o genérico, mediante el sistema USDA y la NMX-FF-078-SCFI-2002 en comparación con el grupo Control
- c) Analizar el efecto del clorhidrato de zilpaterol de referencia o genérico sobre las características químicas, sensoriales y de calidad de la carne de toretes con influencia racial *Bos indicus*.

4. HIPÓTESIS

Las características de rendimiento y calidad de la canal, así como las características químicas, sensoriales y de calidad de la carne serán similares entre el grupo suplementado con clorhidrato de zilpaterol genérico y el producto de referencia, pero en comparación a las obtenidas en animales sin suplementar, bajo las mismas condiciones de manejo.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

La realización del presente estudio se llevó a cabo en cuatro ubicaciones:

- Rancho Praderas Huastecas. Carretera Valles-Tampico Km. 49.1. Tamuín, C.P. 79200, San Luis Potosí, México. Donde los animales fueron alimentados con las dietas por el tiempo correspondiente.
- Rastro Tipo Inspección Federal (TIF) 407. Carretera Valles-Tampico Km. 49.1. Tamuín, C.P. 79200, San Luis Potosí, México
- Laboratorio de Nutrición Animal y Bioquímica. Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Universidad 3000, C.P. 04510, Ciudad de México, México
- Laboratorio de Ciencia de la Carne. Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Producción y Sanidad Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. Cruz Blanca 486 San Miguel Topilejo, Del. Tlalpan, C.P. 14500, Ciudad de México, México

5.1. Selección de animales y formación de lotes

Los animales fueron engordados en las instalaciones del Rancho Praderas Huastecas en Tamuín, San Luis Potosí, México, que de acuerdo con la clasificación de Köppen y München modificada por Enriqueta García, el tipo climático de esta región es Aw_0 (Cálido subhúmedo con lluvias en verano). El estudio se realizó durante los meses de agosto y septiembre y se registró una temperatura ambiental media a las 14:00 horas de 32.2°C y humedad relativa de 68.2%. Todos los animales de este estudio fueron manejados bajo los procedimientos de las Normas Oficiales Mexicanas para el cuidado y manejo de los animales (NOM-051-ZOO-1995 y NOM-033-SAG/ZOO-2014) y con la aprobación del Subcomité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales Experimentales (SICUAE)

Los toretes de este estudio se seleccionaron de corrales que tuvieran características similares de peso, edad y genética. Se seleccionaron 845 machos sin castrar con predominancia cebuina, que presentaban un porcentaje mínimo de 50% *Bos indicus* × 50% *Bos Taurus*, con un

peso corporal promedio de 466 ± 16.2 kg. Durante el pesaje, cada animal fue tratado con una bacteria- toxoide para *Clostridium ssp* (Ultrabac-7[®], Zoetis, Ciudad de México, México; 5ml /animal), con un tratamiento contra parásitos internos y externos a base de Ivermectina al 1% (Dectiver[®], LaPisa, La Piedad Michoacan, México; 1ml/50kg de peso corporal) y por último fueron implantados en la oreja con una combinación de 200 mg de acetato de trembolona y 28 mg de benzoato de estradiol (Synovex Plus[®], Zoetis, Ciudad de México, México). Se formaron los lotes en 3 días consecutivos, cada día se conformaron 3 grupos de animales, para que al cabo de los 3 días se tuvieran 9 corrales.

En la fase experimental los toretes fueron alojados en corrales de 40×45 m, con 96 ± 9 animales cada corral, los cuales fueron de piso de tierra, teniendo aproximadamente 18m^2 pr cada animal. El comedero era lineal de 40 m de largo, 0.72 m de ancho y 0.50 m de profundidad; el área de sombra era de 16% de la superficie total del corral; los animales tuvieron acceso *ad libitum* al agua, usando 2 bebederos automáticos, situados a los costados de cada corral y compartidos con los corrales contiguos. Se supervisó a diario el estado de salud de los animales por un veterinario con el fin de detectar la presencia de enfermedades respiratorias, depresión, diarrea, lesiones, problemas de inapetencia y/o la presencia de alguna condición anormal que requiriera la eliminación de este animal de la prueba.

5.2. Tratamientos y diseño del experimento

Al inicio de la prueba todos los toretes fueron pesados e identificados con aretes de colores colocados en la oreja de cada animal, en el cual se indicaba a que corral pertenecían. Los 845 toretes seleccionados se distribuyeron en 9 lotes de 96 animales aproximadamente, por día se conformaron 3 grupos de animales; a cada grupo formado por día se le asignó al azar uno de los tres tratamientos: 1) Dieta base sin CZ (Control), 2) Dieta base con 0.15 mg/kg de peso corporal de Zipamix[®] (Laboratorio Pisa Agropecuaria, SA. de CV.) (CZg) y 3) Dieta base con 0.15 mg/kg de peso corporal de Zilmax[®] (Laboratorio MSD) (CZr); así durante los 3 días de formación de lotes. Los ingredientes de las dietas base y la composición química se muestran en el Cuadro. 9.1 del Anexo I.

5.3. Permanencia en corral

La fase final de estabulación duró en total 33 días, 30 días con las dietas con tratamiento y 3 días de retiro (dieta base sin CZ), según las indicaciones del producto. La administración del alimento fue 2 veces al día a las 08:00 (40%) y a las 14:00 h (60%). A diario se registró la cantidad de alimento servido y rechazado del día anterior. El último día de retiro, los bovinos se trasladaron a un corral adjunto a la rampa de embarque y se dietaron con 60% de la ración normal, para que al día siguiente a las 05:00 h fueran embarcados en grupos de 30 animales a los corrales de espera del rastro, un viaje que duró 10 minutos aproximadamente.

5.4. Matanza en rastro

Diariamente tres grupos de animales fueron enviados al rastro, uno de cada tratamiento. El ensayo se caracterizó por ser una prueba doble ciego, es decir, que ni el investigador ni los observadores sabían a qué grupo pertenecían los animales evaluados. Para las pruebas de canales cada día los tres tratamientos estuvieron representados con la misma cantidad de animales (32), elegidas con un muestreo secuencial. Para no sesgar el experimento, la forma en que se presentaban los grupos fue distinta en los 3 días. Cada canal fue etiquetada para poder darle seguimiento en la cámara fría.

5.4.1. Evaluación del bienestar animal

Durante el proceso de matanza se realizó una evaluación de variables de bienestar animal para comprobar que los animales no tuvieran diferente manejo *antemortem*. Se utilizó el protocolo de Welfare Quality® para evaluar el bienestar durante estas etapas. Se evaluaron los estresores a los que fueron sometidos los animales durante el proceso de matanza. Durante el aturdimiento se evaluó el porcentaje de animales golpeados por la puerta de guillotina, porcentaje de animales nerviosos, alerta o ansiosos, número de disparos para lograr el aturdimiento y el tiempo de espera en el cajón. Entre el aturdimiento y degüello se observó: el porcentaje de animales que presentaban reflejo pupilar, porcentaje de animales que presentaban sensibilidad al corte para el degüello y tiempo transcurrido desde el aturdimiento hasta el degüello.

5.4.2. Evaluación de canales

La matanza y faenado se realizaron en un rastro TIF bajo las condiciones de manejo y aturdimiento de bovinos descritas en la NOM-033-SAG/ZOO-2014 (Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres); la canal y la carne fueron manejadas según lo descrito en la NOM-009-ZOO-1994 (Proceso sanitario de la carne).

Tras el faenado de los animales las canales se enfriaron durante 24 horas a 2°C. El personal del rastro realizó un corte transversal en la media canal izquierda entre la 12va y 13va vertebra torácica para exponer el músculo *Longissimus* (ML). Dicho corte se realizó 30 minutos antes de las mediciones con el objetivo de permitir la oxigenación (*Blooming*) de la carne. Se realizaron evaluaciones en la canal para determinar el grado de rendimiento y de calidad según el sistema USDA (USDA 1997) y para el grado de calidad de la canal de acuerdo con la NMX-FF-078-SCFI-2002.

5.4.2.1. Medidas de Rendimiento en la canal

- a) *Peso de la canal caliente (PCC)*. Antes de que las canales ingresaran a la cámara de refrigeración se registró peso de cada una, para determinar el peso de la canal caliente.
- b) *Rendimiento en canal caliente (RCC)*. Esta medida indica que porcentaje representa la canal caliente en relación al peso corporal final (PF) que tuvieron los animales, se calculó con la siguiente formula:

$$\bullet \text{ Rendimiento en Canal Caliente} = \left(\frac{\text{Peso Final} - \text{Peso Canal Caliente}}{\text{Peso Final}} \right) * 100$$

- c) *Espesor de grasa dorsal ajustada (GDA)*. Se midió a los $\frac{3}{4}$ del borde lateral externo de la chuleta en la 12va costilla de la media canal, usando una regla metálica y su valor se expresa en cm. Posteriormente se realizó el ajuste de esta medida según la cantidad de grasa subcutánea distribuida por la canal, de manera que si el engrasamiento de la canal

está representado en el valor medido en la chuleta, este se conservará, sin embargo a medida que el engrasamiento sea menor o mayor, el valor medido de la grasa en la chuleta se ajustará de forma directamente proporcional hacia arriba o abajo. El valor de este ajuste es representativo al grosor de la grasa subcutánea en toda la canal.

- d) *Área del músculo Longissimus (AML)*. Se determinó midiendo el área del músculo *Longissimus dorsi*, específicamente del *Longissimus thoracis* entre la 12va y 13va costilla y para ello se utilizó un acetato en el cual se dibujó el contorno del músculo, posteriormente con un planímetro Digital tipo rodillo (Placom KP-90N) se midió la figura dibujada en el acetato, el resultado fue el área del músculo *Longissimus* la cual se expresa en centímetros cuadrados.
- e) *Grasa visceral (Riñón-pélvis-corazón) (GV)*. También conocida como KPH por sus siglas en inglés (Kidney, Pelvic and Heart Fat) se determinó estimando la cantidad de grasa que cubre los riñones y corazón aunada con la que se encuentra en la cavidad de la pelvis, se expresa como el porcentaje en relación al peso de la canal caliente.
- f) *Grado de rendimiento USDA*. El grado de rendimiento se calculó con los valores de PCC, EGD, GV y AML. Estos datos se aplicaron en las ecuaciones de predicción propuestas por el USDA (1977), con las cuales se obtiene el grado de rendimiento de la canal y el porcentaje y kilogramos de músculo obtenido en los cortes primarios (pierna, lomo, espaldar y paleta) sin incluir hueso ni grasa, las cuales se presentan a continuación:

Fórmula original

- **Grado de rendimiento USDA** = $2.5 + (2.5 * \text{grasa ajustada, in}) + (0.2 * \% \text{grasa visceral}) + (0.0038 * \text{Peso canal caliente, lb}) - (0.32 * \text{Área del músculo Longissimus, in}^2)$

Fórmula sistema métrico decimal

- **Grado de rendimiento USDA** = $2.5 + (0.9842525 * \text{grasa ajustada, cm}) + (0.2 * \% \text{grasa visceral}) + (0.00837756 * \text{Peso de la canal caliente, kg}) - (0.0496 * \text{Área del músculo Longissimus, cm}^2)$
- **% MCP** = $49.15 - (2.11 * \text{grasa ajustada en cm}) - (0.98 * \% \text{grasa visceral}) - (0.005 * \text{peso de la canal caliente en kg}) + (0.19 * \text{área del ojo de la chuleta, cm}^2)$

$$\bullet \text{ kg MCP} = \left(\frac{(\% \text{ Músculo en Cortes Primarios} * \text{Peso de la Canal cliente})}{100} \right)$$

Dónde:

MPC: Músculo en los cortes primarios

5.4.2.2. Medidas de calidad de la canal

La calidad de la canal se determinó mediante dos sistemas: grado de calidad USDA y NMX-FF-078-SCFI-2002.

- a) *Marmoleo*. Se determinó a partir de la cantidad y dispersión en la deposición de grasa en el músculo *Longissimus* mediante patrones fotográficos (USDA, 1997). Se asignó a cada canal uno de los siguientes grados: 100 = Prácticamente nada⁰⁰, 200 = Trazas⁰⁰, 300 = Ligeramente⁰⁰, 400 = Poco⁰⁰, 500 = Modesto⁰⁰, 600 = Moderado⁰⁰ y 700 = Ligeramente abundante⁰⁰, como se realizó en el trabajo de Méndez (2009)
- b) *Madurez fisiológica*. Se estimó observando la osificación de los tres cartílagos de las apófisis espinosas debajo del corte de la 12ava. También se observaron, el color y la forma de las costillas. Además se observó la osificación de estructuras óseas (uniones intervertebrales, cuerpos de las vértebras y las apófisis espinosas) en vértebras sacras, lumbares y torácicas. Con estas mediciones se estimó la madurez del animal con base en la escala propuesta por el USDA: A (de 9 a 30 meses), B (de 30 a 42 meses), C (de 42 a 72 meses), D (de 72 a 96 meses) y E (> a 96 meses) (USDA, 1997).
- c) *Color de la carne*. Las mediciones de color se realizaron de acuerdo con la guía publicada por el AMSA (2012). Para ese propósito, se utilizó un espectrofotómetro portátil HunterLab® MiniScan EZ-4500L (Hunter Associates Laboratory, Reston, Virginia) con condiciones de iluminante D65, observador a 10°, un tamaño de abertura de 25 mm y la escala CIELAB para obtener los valores de L*:luminosidad, a*: índice de rojo y b*: índice de amarillo. El croma fue calculado como: $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{0.5}$.
- d) *Grado de calidad USDA*. El grado de calidad USDA se obtiene conjuntando la puntuación de marmoleo y de madurez fisiológica, como se muestra en el Cuadro 9.2 del Anexo I. Si la carne presentaba un color oscuro, descendía 1/3 de grado.

- e) *pH 24 horas post-mortem*. El pH se midió en el músculo *Longissimus thoracis* en dos tomas consecutivas en la mitad del ojo del músculo *Longissimus*, en sitios sin grasa, hueso o tejido conectivo visible. Para ello se utilizó un potenciómetro digital (Hanna modelo H199163), el cual fue calibrado previamente usando las soluciones control (pH 4 y 7). El electrodo penetró por lo menos 2 cm en la masa muscular, y entre cada lectura se limpió y verificó que no tuviera agua, carne o grasa pegada.
- f) *Corte oscuro*. Para determinar la incidencia de corte oscuro se estableció que la carne debería tener un pH 24 h *postmortem* >6 (Mounier *et al.*, 2006) y un valor de $L^* < 35$ (Strange *et al.*, 1974).
- g) *Conformación de la canal*. La evaluación de la conformación de la canal se realizó observando la vista lateral de la media canal izquierda y evaluando el desarrollo muscular del perfil trasero de la media canal, asignando las siguientes categorías: 1=Perfil cóncavo, 2= Perfil recto y 3= Perfil convexo, de acuerdo con la NMX-FF-078-SCFI-2002.
- h) *Distribución de la grasa*. Se evaluó la uniformidad en la distribución de grasa de cobertura de la media canal izquierda, designando una de las siguientes categorías: 1= No uniforme, 2= Casi uniforme y 3= Uniforme, de acuerdo a las indicaciones de la NMX-FF-078-SCFI-2002
- i) *Textura*. La textura de la carne se midió por fricción digital en la superficie del músculo *Longissimus* de la 12va costilla, según lo establecido en la NMX-FF-078-SCFI-2002, la cual propone una escala del 1 al 6, donde 1= Muy tosca, 2=Moderadamente tosca, 3= Ligeramente tosca, 4= Ligeramente fina, 5= Moderadamente fina y 6=Muy fina.
- j) *Firmeza*. Se realizó presión con el dedo índice en el centro del músculo *Longissimus* de la 12va costilla para determinar la firmeza de la carne, de acuerdo con lo estipulado en la NMX-FF-078-SCFI-2002, utilizando la escala ahí descrita: 1=Muy firme, 2= Moderadamente firme, 3= Ligeramente firme, 4= Ligeramente suave, 5= Moderadamente suave y 6= Muy suave.
- k) *Color de la grasa*. Se evaluó la cobertura de grasa de la canal para determinar de forma subjetiva el color de la grasa con la siguiente escala: 1= Amarilla, 2= Crema y 3= Blanca. Según lo establecido en la NMX-FF-078-SCFI-2002.

- l) *Color de la carne*. El color de la carne se determinó de forma subjetiva en el músculo *Longissimus thoracis*, de acuerdo a lo estipulado en la NMX-FF-078-SCFI-2002, utilizando la escala ahí descrita: 1= Rojo oscuro, 2=Rojo y 3=Rojo claro.
- m) *Grado de calidad NMX-FF-078-SCFI-2002*. Para la determinación este grado de calidad, se utilizó la norma vigente para la clasificación de canales bovinas NMX-FF-078-SCFI-2002, para lo cual se utilizaron los criterios y metodología propuestos por dicha normatividad, en el cual hay 5 posibles grados de clasificación para una canal (*Suprema, Selecta, Estándar, Comercial y Fuera de clasificación*), como se observa en el Cuadro 9.3 del Anexo I. La prioridad para ordenar los criterios de evaluación es la siguiente: madurez, conformación, color de la carne, color de la grasa y distribución de la grasa de cobertura. La canal se juzga en base a la madurez correspondiéndole un grado de calidad, después se juzga según la conformación, si la canal cumple el requisito de conformación para el mismo grado encontrado en la madurez, la canal sigue conservando dicho grado, pero si la conformación corresponde a un grado diferente, esta se ubica en el nuevo grado asignado por la conformación, este procedimiento continua así para los demás criterios, en ninguno de los casos la canal evaluada puede retroceder a un grado de calidad superior, al último grado asignado por el criterio analizado previamente (Zorrilla-Ríos *et al.*, 2013).

5.4.2.3. Otras medidas

a) *Alto y ancho de giba*

La medida de altura de la giba se realizó teniendo como extremo la mitad de la base del músculo *Romboides cervical*, tomando como referencia el ligamento *nucae* hasta la punta donde termina la giba. El ancho se tomó en línea recta desde la base del inicio de la giba hasta donde termina la misma, en ambos casos la medida se registró en centímetros.

Posteriormente se obtuvo el área de giba bajo la fórmula para calcular el área del rectángulo (Área de giba= altura de giba x ancho de giba) expresando los resultados en centímetros cuadrados y se realizó una aproximación del tipo racial al que pertenecen las canales de los bovinos evaluados (Jiménez, 2014). En el cuadro 9.4 del Anexo I se muestran las medidas utilizadas para la determinación del tipo racial, sería necesario realizar estudios posteriores donde se lleve a

cabo una confirmación fenotípica o genotípica del contenido racial de los animales para correlacionar con el área de la giba, además de llevarlos a matanza al mismo peso corporal.

5.5. Evaluación de la calidad de la carne

De cada canal se obtuvo una muestra de aproximadamente 8 cm de grosor del músculo *Longissimus thoracis*, desde la 12va hacia la 10a costilla. Las muestras empacadas al vacío se enviaron en un transporte refrigerado al Laboratorio de Ciencia de la Carne (LCC) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Las muestras se enviaron del rastro de origen a los 10 días posteriores a la matanza, y procesándose en el LCC con 11 días de maduración *postmortem*. Cada muestra se cortó en 3 chuletas de aproximadamente 2.54 cm de espesor y se reempacaron al vacío, se colocaron en congelación a -18°C para su posterior análisis (AMSA, 2015). Previo a los análisis las muestras se colocaron en refrigeración (0-4°C) para que su descongelado fuera paulatino.

5.5.1. Pérdida por cocción

La cocción de la carne se realizó de acuerdo a las recomendaciones del AMSA (2015). Cada muestra se pesó antes de colocarse en la parrilla eléctrica (Parrilla DAWOOD, modelo DEG-22, 1500 W) precalentada a 200°C, se monitoreó la temperatura de cada muestra en su centro geométrico utilizando un termómetro digital de punción (Hanna modelo HI 151-00), hasta alcanzar 35°C, cuando la temperatura llegó a este punto, las muestras se giraron y se retiraron de la parrilla una vez alcanzados 70°C, dejándolas temperar durante 20 minutos a temperatura ambiente hasta que tuvieran una temperatura entre 12-14 °C, para luego registrar el peso de cada chuleta. Con la diferencia entre el peso inicial y el peso final se determinó la pérdida por cocción, usando la siguiente fórmula:

- **Pérdida por cocción** = $\left(\frac{(\text{Peso Inicial} - \text{Peso Final})}{\text{Peso Inicial}} \right) * 100$

5.5.2. Fuerza de corte Warner Bratzler (FCWB)

Con la carne atemperada, se obtuvieron como mínimo 10 cilindros de 1.27 cm de diámetro, en el sentido longitudinal de las fibras musculares utilizando un sacabocados adaptado para tal fin. Finalmente, cada cilindro se sometió a un corte transversal (perpendicular a las fibras musculares) utilizando la cuchilla de Warner Bratzler (G-R Elec. Mfg. Co., Manhattan, KS 66502, USA) para medir la fuerza de corte (AMSA, 1995). El resultado se registró en kg, el cual hace referencia a la suavidad de la carne.

5.6. Evaluación de la composición de la carne

Para la evaluación de la composición química de la carne, y por motivos económicos, se seleccionó una muestra representativa de cada tratamiento, según la descripción del Cuadro 5.6.1. Previamente a los análisis químicos, se recortó la grasa subcutánea y el epimisio de las muestras y se molió la carne magra en un molino carnicero (Torrey® M12-FS). Y se empacaron al vacío para ser transportadas en condiciones de refrigeración al Laboratorio de Nutrición Animal y Bioquímica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se determinaron los contenidos de humedad, grasa, proteína y energía siguiendo la metodología descrita por la AOAC (1990) con modificaciones del DNAB-FMVZ (2015).

Cuadro 5.6.1. Descripción de la muestra para el análisis químico proximal

Tratamiento ¹	Tipo racial	Edad	n=87
CZg n=29	$\frac{1}{2}$ <i>Bos indicus</i>	<30 meses	5
		>30 meses	2
	$\frac{3}{4}$ <i>Bos indicus</i>	<30 meses	4
		>30 meses	1
	<i>Bos indicus</i>	<30 meses	15
		>30 meses	2

	$\frac{1}{2}$ <i>Bos indicus</i>	<30 meses	2
		>30 meses	3
CZr	$\frac{3}{4}$ <i>Bos indicus</i>	<30 meses	4
n=27		>30 meses	2
	<i>Bos indicus</i>	<30 meses	15
		>30 meses	1
	$\frac{1}{2}$ <i>Bos indicus</i>	<30 meses	5
		>30 meses	1
Control	$\frac{3}{4}$ <i>Bos indicus</i>	<30 meses	4
n=28		>30 meses	1
	<i>Bos indicus</i>	<30 meses	15
		>30 meses	2

¹CZg = clorhidrato de zilpaterol de Zipamix® (Laboratorios PiSA Agropecuaria México, Guadalajara, México); CZr= clorhidrato de zilpaterol de Zilmax® (MSD Salud Animal México, México City, México)

5.6.1. Determinación de humedad

De cada muestra se pesaron 2 gramos por duplicado en una balanza analítica (Sartorius BL 1250 máx. 120 gr con error de 0.0001) en bolsas de plástico, las cuales se congelaron a -22 °C, posteriormente se colocaron en una liofilizadora (Edwards modelo Freeze dryer) por lo menos durante 72 horas. Transcurrido ese tiempo las muestras se retiraron y pesaron nuevamente para obtener el peso de la muestra seca y con la diferencia de peso se obtiene el porcentaje de humedad con la siguiente formula:

- $$\text{Porcentaje de humedad} = \left(\frac{(\text{Peso muestra humedad} - \text{Peso muestra seca})}{\text{Peso muestra seca}} \right) * 100$$

5.6.2. Determinación de proteína

De la muestra deshidratada, molida y homogenizada se pesó 1 gramo por duplicado en una balanza analítica (Sartorius BL 1250 máx. 120 gr con error de 0.0001) y se colocaron en un tubo de digestión Büchi, identificado previamente. Se agregó un gramo de solución catalizadora (88.89%

de sulfato de potasio, 8.88% de sulfato de cobre pre hidratado y 2.22% de selenio metálico en polvo) y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. Los tubos se colocaron en un digestor (Digestor Büchi K-435) precalentado, dicha digestión duro entre 45-50 minutos. La aparición de un color verde esmeralda limpio indicaba la finalización de la digestión. Los tubos se dejaron enfriar a temperatura ambiente durante 20 minutos, transcurrido el tiempo se colocaron en un Destilador Büchi Kjelflex K-360, y en un matraz Erlenmeyer de 250 ml se recolecto el destilado, el cual era de color azul y se tituló con una solución valorada de HCl 0.1N hasta que la solución del matraz viró a un color verde. Se registró la cantidad de volumen utilizado para titular y se calculó la cantidad de nitrógeno total. El porcentaje de proteína cruda se calculó multiplicando la cantidad de nitrógeno por 6.25, como se muestra en las siguientes formulas:

- **Porcentaje de Nitrógeno (BH)** = $\left(\frac{((\text{mL HCl}) * 0.1 * 0.014)}{\text{Peso de muestra}} \right) * \% \text{ Materia seca}$
- **Porcentaje de Proteína Cruda (BH)** = (% Nitrógeno * 6.25)

5.6.3. Determinación de grasa

De la muestra deshidratada y homogenizada se pesaron 2 gramos por duplicado, las cuales se colocaron en cartuchos de celulosa pesados e identificados, que previamente se desecaron en un horno a 50 °C por 24 horas. Cada cartucho con muestra se colocó en un extractor Soxhlet. Alternadamente se añadieron 200 ml de éter etílico en los matraces de bola de fondo plano y 3 perlas de vidrio. Se acoplaron los matraces con los extractores y se mantuvo la extracción durante 4 horas, a velocidad de condensación de 5-6 gotas por segundo. Al finalizar la extracción, se retiraron los cartuchos, dejándolos en la cámara de extracción durante 30 minutos para evaporar el éter excedente. Cuando se secaron los cartuchos, se colocaron en un desecador por 20 minutos, finalmente se pesaron los cartuchos para calcular el porcentaje de grasa total, utilizando la siguiente formula (DNAB-FMVZ, 2015):

- **Porcentaje grasa (BH)** = $\left(\frac{(\text{PCM} - \text{PCMD})}{\text{PM}} \right) * \% \text{ Materia seca}$

Dónde:

PCM: Peso del cartucho con la muestra deshidratada (gramos)

PCMD: Peso del cartucho con la muestra desengrasada (gramos)

PM: Peso de la muestra deshidratada

5.6.4. Determinación de cenizas

Con crisoles de porcelana identificados con el número de muestra correspondiente, por duplicado, los cuales se deshidrataron en un horno a 50 °C por 24 horas. Al transcurrir este tiempo los crisoles se colocaron en un desecador durante 20 minutos hasta igualar la temperatura ambiente, pasado este tiempo los crisoles se pesaron y se registró el peso de cada uno. Posteriormente, se pesaron por duplicado 0.5 gramos de muestra deshidratada y homogenizada, dicha muestra se colocó en un crisol. Los crisoles con la muestra se colocaron en una mufla a 500 °C durante 24 horas para incinerar la muestra, hasta que esta mostrara unas cenizas color blanco. Al transcurrir este tiempo la mufla se apagó y al cabo de 3 horas se retiraron los crisoles y se colocaron en un desecador durante 20 minutos a temperatura ambiente, al pasar este tiempo se pesaron nuevamente y con los datos se obtuvo el porcentaje de cenizas utilizando la siguiente formula:

- **Porcentaje cenizas (BH)** = $\left(\frac{(PCC-PCV)}{PM} \right) * \% \text{ Materia seca}$

Dónde:

PCC: Peso del crisol con las cenizas (gramos)

PCV: Peso del crisol vacío (gramos)

PM: Peso de la muestra deshidratada

5.7. Evaluación sensorial de la carne

La evaluación organoléptica de las muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Ciencia de la Carne en el Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Producción y Sanidad Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se seleccionaron muestras para el análisis sensorial que fueran de animales *Bos indicus* puros y

menores a 30 meses de edad, ya que estas son las características que tenían la mayoría de los animales evaluados. La cocción de la carne se realizó igual que para el análisis de fuerza de corte, según lo establecido por el AMSA (2015) hasta que la carne llegó a una temperatura interna de 70 °C, posteriormente a cada chuleta se le retiró la costra externa que se forma al cocinarse, y se cortaron en cubos de 2 cm³, los cuales fueron ofrecidos inmediatamente a los evaluadores.

Durante la celebración del día del ganadero, que se realiza en las instalaciones del Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Producción y Sanidad Animal (CEPIPSA), se conformaron grupos de 15 personas para participar de forma ordenada en el análisis sensorial. Cada juez recibió tres muestras identificadas con códigos aleatorios. Correspondiendo una de ellas a carne de animales tratados con CZg, otra a carne de animales suplementados con CZr y una muestra de animales sin suplementar (Control), también se ofrecieron galletas con bajo contenido de sal como acarreador de sabor y agua para el enjuague bucal entre cada muestra. El panel sensorial recibió también una encuesta (Formato 9.5 del Anexo I) donde se les pidió que calificaran el olor, sabor, suavidad, jugosidad y agrado general de las muestras analizadas, con una escala hedónica de 7 puntos, donde 1 indicaba el valor de mayor desagrado para una muestra, mientras que 7 correspondía a la puntuación de mayor agrado que podía obtener una muestra.

En esta evaluación participaron 73 jueces consumidores, siendo 31 mujeres y 42 hombres, con los siguientes rangos de edad: < 30 años (68.5%), 31-50 años (24.7%) y >51 años (6.8%). De estos jueces, el 75.35% indicó consumir carne de res 1-2 veces por semana, 15% mencionó que consume carne de res 1-2 veces por mes, mientras que el restante dijo que consume carne de bovino menos de una vez por mes.

5.8. Análisis estadístico

Las características de rendimiento y calidad de la canal y de la carne fueron analizadas para los supuestos de normalidad (Shapiro y Wilk, 1965) y homogeneidad de varianzas (O'Neill y Mathews, 2000) y dado que no cumplieron con alguno de estos supuestos, se decidió utilizar el Modelo Lineal Generalizado (GzLM). Con el modelo que de la siguiente forma:

$$y_i = \sum_j \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i$$

Con un vector de predictor lineal (función de enlace) $\eta_i = g(\mu_i)$

Donde

y_i : vector de la variable de respuesta

β_j : vector de parámetros

x_{ij} : Matriz de variables predictoras y covariables (El tratamiento fue considerado como efecto predictor y como covariables: el peso final y el grado de *Bos indicus* y la edad de los animales. En un segundo análisis se consideró la interacción entre el tratamiento y genética como efecto predictor y como covariables el peso final y la edad de los animales)

La función de enlace: $\eta_i = g(\mu_i)$ fue lineal para analizar las variables continuas y el *probit* ordinal para las variables con respuesta ordinal.

Para las variables continuas se realizó una comparación de medias por el método de Bonferroni, donde se contrastaron CZg frente a Control y CZg frente a CZr. En las variables ordinales (% grado de calidad de la canal USDA y NMX-FF-078-SCFI-2002, % de grado de rendimiento USDA, % niveles de marmoleo y % niveles de color subjetivo de la carne), para llevar a cabo los contrastes entre grupos se realizó la comparación entre proporciones para dos muestras, con Epi-Tools (2017).

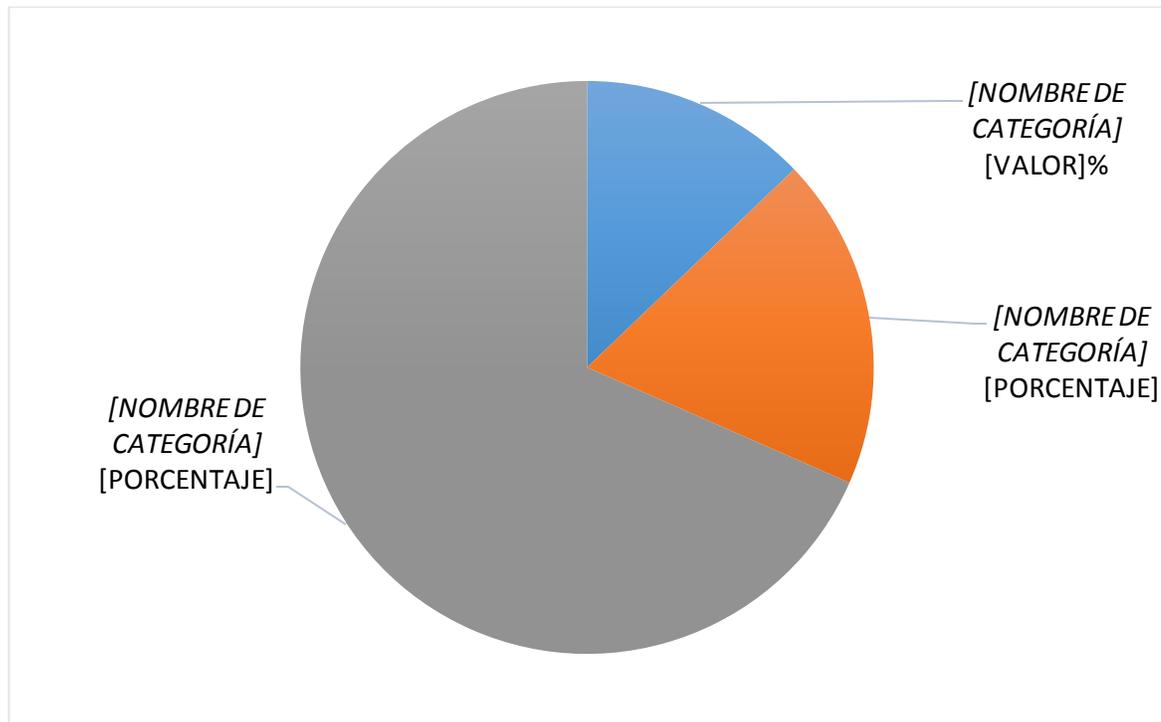
Todos los análisis se realizaron con IBM SPSS Statistics® versión 21 para Windows® (IBM, México S.A). Se consideró significativa la diferencia si $P \leq 0.05$.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Descripción de la población estudiada

Por el clima donde se desarrolló esta prueba y por la alta prevalencia en la proporción de cruzas con *Bos indicus* que hay en los animales engordados en México (Méndez *et al.*, 2009), se encontró que el 68% de los toretes estudiados tuvieron en un área promedio de la giba superior a 575 cm², correspondiendo a animales cebúes puros, seguidos por los bovinos con 75% *Bos indicus* (19%) y finalmente 13% de estos bovinos tenían menos del 50% de influencia racial cebuína. Como se muestra en la Figura 6.1.1.

Figura 6.1.1. Distribución de los tipos raciales en los animales del estudio



A pesar de que la cantidad de animales de cada tipo racial no fue la misma en el estudio, la distribución entre los tres tratamientos fue similar ($P>0.05$). El tipo racial previamente identificado con el área del músculo *Romboides cervical*, se muestran en el Cuadro 6.1.2.

Cuadro 6.1.2. Área de la giba de los animales con diferentes porcentajes *Bos indicus* en cada tratamiento

	Tratamiento ¹								
	Control n= 96			CZg n=96			CZr n=96		
	< ½ <i>Bos indicus</i>	¼ <i>Bos indicus</i>	<i>Bos indicus</i>	< ½ <i>Bos indicus</i>	¼ <i>Bos indicus</i>	<i>Bos indicus</i>	< ½ <i>Bos indicus</i>	¼ <i>Bos indicus</i>	<i>Bos indicus</i>
n	12	15	69	15	16	65	10	23	63
Área giba	278.08 ± 35.3	366.66 ± 21.0	616.08 ± 182.2	278.67 ± 35.9	378.94 ± 23.5	576.94 ± 136.1	281.50 ±28.1	378.82 ±24.1	603.17 ± 164.2

¹CZg = clorhidrato de zilpaterol de Zipamix® (Laboratorios PiSA Agropecuaria México, Guadalajara, México); CZr= clorhidrato de zilpaterol de Zilmax® (MSD Salud Animal México, Ciudad de México, México)

6.2. Descripción del bienestar animal

Para comprobar que el trato de los animales fue similar entre los tres grupos examinados, se realizó un análisis de diversos factores que están involucrados en el manejo adecuado por parte de los operadores y en respuestas observadas en los animales. El Cuadro 6.2.1 muestra los parámetros analizados de bienestar animal. Se encontró un mayor porcentaje de animales golpeados por la puerta de guillotina en aquellos del grupo Control ($P>0.05$), lo que puede estar relacionado con que se mostraron más alertas, nerviosos o ansiosos. La permanencia en el cajón de aturdimiento no fue diferente en los tres grupos ($P<0.05$), siendo en promedio 21.61 segundos. Un disparo basto para aturdir a la mayoría de los animales, siendo que más del 97.92% de los disparos fueron certeros, considerado como aceptable en los protocolos de bienestar animal (Grandin, 2000; Méndez *et al.*, 2013). Se observó que el tiempo que transcurre entre el aturdimiento y degüello fue superior a los 30 segundos que sugiere la NOM-033-SAG/ZOO-2014, en los animales del tratamiento de CZr fue ligeramente mayor, entre 5.08 y 7.47 segundos con relación al grupo Control y CZg ($P<0.05$), respectivamente. No se observó reflejo pupilar en ninguno de los animales analizados. Finalmente, entre 43.8 y 52.1% de los animales presentaron sensibilidad en riel, lo que sobrepasa con mucho lo sugerido en protocolos de bienestar animal, donde un parámetro aceptable permite que tan solo 0.2% de los animales puedan recobrar sensibilidad en esta estación (Grandin, 2000; Méndez *et al.*, 2013). Este problema se puede deber al tiempo prolongado entre el aturdimiento y degüello y a que el disparo para noquear no haya sido efectivo.

Cuadro 6.2.1. Observaciones de los parámetros de bienestar animal según los criterios de la Welfare Quality®

Variable	Tratamiento ¹			SEM	Contraste ²	
	Control n=96	CZg n=96	CZr n=96		CZg vs. Control	CZg vs. CZr
Manejo						
Golpeados con puerta de guillotina (%)	49.0 _a	24.0 _b	32.3 _b	0.478	<0.001	0.201
Permanencia en el cajón (s)	23.22	18.83	22.78	1.654	0.185	0.271
Disparos certeros (%)	98.96	97.92	97.92	0.002	0.569	0.999
Tiempo entre aturdimiento y degüello (s)	44.24 _a	41.85 _a	49.32 _b	1.294	0.575	<0.0001
Animales						
Animales alerta, nerviosos o ansiosos (%)	66.7 _a	65.6 _a	51.0 _b	0.488	0.872	0.040
Reflejo pupilar (%)	0.00	0.00	0.00	0	NA	NA
Sensibilidad en riel (%)	47.9	52.1	43.8	0.500	0.561	0.249

¹CZg = Clorhidrato de zilpaterol de Zipamix® (Laboratorios Pisa Agropecuaria México, Guadalajara, México); CZr= clorhidrato de zilpaterol de Zilmax (MSD Salud Animal México, Ciudad de México)

²Significancia

a, b: Literales distintas en la misma fila indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

6.3. Efecto de la suplementación de clorhidrato de zilpaterol de referencia o genérico sobre las características de rendimiento de la canal

Los hallazgos de la presente tesis se muestran en los Cuadros 6.3.1 al 6.6.1. Muchos autores reconocen que el uso de CZ en ganado *Bos taurus* aumenta el rendimiento productivo con sutiles modificaciones en las características de la canal y la carne (Arp *et al.*, 2014; Brooks *et al.*, 2009; Leheska *et al.*, 2009; McEvers *et al.*, 2012; Parr *et al.*, 2010; Plasencia *et al.*, 2009). Sin embargo, las investigaciones en ganado *Bos indicus* tratados con CZ de referencia o genéricos son muy limitadas (Avendaño-Reyes *et al.*, 2016; Castellanos-Ruelas *et al.*, 2006). En nuestro estudio el peso de la canal caliente de los animales suplementados con CZg y CZr fue mayor en comparación con las canales de animales no suplementados ($P < 0.0001$) superándolas en 8.92 y 5.96 kg, respectivamente (Cuadro 6.3.1). Estos resultados coinciden con los reportados en estudios previos en los que el peso de la canal caliente fue mayor en novillos *Bos taurus* (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Baxa *et al.*, 2010; Kononoff *et al.*, 2013) y animales *Bos indicus* (Avendaño-Reyes *et al.*, 2016; Bricchi *et al.*, 2014) suplementados con CZ en comparación con animales sin tratar. Esto confirma el

efecto de CZ como un efectivo promotor de crecimiento. Arp *et al.* (2014) informaron que en novillos *Bos taurus*, tratados con 7.5 mg CZ / kg de MS durante 20 días, había un aumento de 11.1 kg en el peso de la canal caliente y un incremento de 1.4% en porcentaje de rendimiento en la canal. Por su parte, Elam *et al.* (2009) reportaron que para novillos de raza Británica y cruce de Británica × Continental tratados con 8.33 mg de CZ/kg de MS durante 30 días, el peso de la canal caliente era superior en 16 kg y el porcentaje de rendimiento en canal en 1.6%. Estos resultados coinciden con el hecho de que el efecto principal de los βAA es provocar la hipertrofia muscular, aunado a que existe suficiente evidencia científica para establecer que la suplementación de βAA modifica el metabolismo muscular, estimulando la conversión de fibras musculares oxidativas pequeñas a fibras musculares tipo II-X más grandes y glicolíticas (Baxa *et al.*, 2010, Mills, 2002, Rathmann *et al.*, 2009). Del mismo modo, nuestros hallazgos muestran que la suplementación de ambos productos mejora la deposición muscular en animales *Bos indicus* (Cuadro 6.3.1), los cuales incrementaron el área del músculo *Longissimus* (AML) en 6.26 cm² con CZg y 7.67 cm² con CZr, en comparación con los toretes del grupo Control ($P < 0.05$). Sin embargo, estos valores se encuentran debajo de lo reportado en otros estudios, es decir, que el AML aumenta entre 7 a 11 cm² en novillos *Bos taurus* suplementados con CZr (Arp *et al.*, 2014; Elam *et al.*, 2009; Montgomery *et al.*, 2009b). La genética de los animales puede ser un factor influyente en el tamaño del ojo de la chuleta, Jiménez (2014) reporta que los toretes con >50 % *Bos taurus* producen chuletas más grandes que los bovinos con menor porcentaje de *Bos taurus*, y según el National Beef Quality Audit del 2000 realizado en Estados Unidos, el músculo *Longissimus thoracis* con estas dimensiones corresponden a carne clasificada como *Select* (McKenna *et al.*, 2002). En un estudio realizado en ganado Brahman se encontró un área promedio del ML de 72.5 cm² (Casas *et al.*, 2005), resultados ligeramente inferiores a los encontrados en este estudio, al evaluar esta variable, Méndez *et al.* (2009) reportaron resultados para el área de la chuleta (75.3 cm²) de toretes producidos en México similares a nuestros resultados, en cambio Jiménez (2014) reportó chuletas con un área de 83.35 cm², resultados que superan los encontrados en esta prueba.

Cuadro 6.3.1. Características de rendimiento de la canal de toretes *Bos indicus* suplementados con clorhidrato de zilpaterol (CZg y CZr)

Variable	Tratamiento ¹			SEM	Contraste ²	
	Control n=96	CZg n=96	CZr n=96		CZg vs. Control	CZg vs. CZr
Peso de la canal caliente, kg	311.26 _a	320.18 _b	317.22 _b	1.699	<0.001	0.218
Área del músculo <i>Longissimus</i> , cm ²	69.22 _a	75.48 _b	76.89 _b	1.078	<0.001	0.355
Grasa dorsal ajustada, cm	0.40 _a	0.35 _b	0.40 _a	0.019	0.044	0.045
Grasa visceral (KPH), %	1.68 _a	1.50 _b	1.59 _b	0.045	0.015	0.490
Grado de rendimiento USDA	2.41 _a	2.08 _b	2.05 _b	0.052	<0.001	0.999
Grado de rendimiento USDA, %						
USDA YG 1	17.7 _a	40.6 _b	47.9 _b	0.516	0.001	0.308
USDA YG 2	70.8 _a	55.2 _b	49.0 _b	0.532	0.025	0.389
USDA YG 3	11.5	4.2	3.1	0.177	0.060	0.685

¹CZg = clorhidrato de zilpaterol de Zipamix® (Laboratorios PiSA Agropecuaria México, Guadalajara, México); CZr= clorhidrato de zilpaterol de Zilmax® (MSD Salud Animal México, Ciudad de México, México).

²Significancia.

a, b: Literales distintas en la misma fila indican diferencia significativa ($P<0.05$)

Por otro lado, el grosor de la grasa dorsal de los toretes Control (0.40 cm) fue similar al de los animales tratados con CZr (0.40 cm) ($P>0.05$); sin embargo, ambos fueron superiores a los valores encontrados en animales tratados con CZg (0.35 cm) ($P<0.05$). En contraste la suplementación de CZ causó una disminución en el porcentaje de grasa visceral (KPH), que fue más alto en el grupo Control en comparación con los toretes suplementados con CZg o CZr ($P<0.05$). A pesar de lo anterior, la suplementación de CZ no modificó la puntuación de marmoleo, resultando que más del 57.3% de las canales de los 3 grupos mostraron una puntuación de marmoleo ligero. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Avendaño-Reyes *et al.* (2016), quienes compararon la efectividad de otra marca genérica de CZ disponible en México. Otros autores también informan una disminución en la cantidad de grasa subcutánea de la 12ª costilla y grasa visceral (KPH) adjudicando ese efecto a que el CZ estimula la lipólisis y disminuye la síntesis de ácidos grasos (Yang y McElligott, 1989; Mersmann, 2002). Kononoff (2013) por su parte menciona que el nivel de grasa de la canal en el ganado puede verse influenciada por la actividad de la hormona leptina, mientras que otros indican que la reducción en la cantidad de grasa en la canal en bovinos tratados con β AA es atribuible a que los nutrientes destinados para la biosíntesis de ácidos grasos se reorientan hacia la síntesis de proteína (Mersmann, 1998; Miller *et al.*, 2012).

En el grado de rendimiento USDA no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre CZg y CZr ($P>0.05$), con un aumento del 15.8% y 17.5%, respectivamente, en comparación con el grupo Control ($P<0.05$). El Cuadro 6.3.1 muestra un porcentaje más alto de canales magras (es decir con un grado de rendimiento USDA 1 y 2), en animales suplementados con CZ, en comparación con animales Control ($P<0,05$). Estos resultados se aproximan a los encontrados en otros estudios (Elam *et al.*, 2009; Montgomery *et al.*, 2009).

6.4. Efecto de la adición de clorhidrato de zilpaterol de referencia o genérico sobre las características de calidad de la canal

En el Cuadro 6.4.1 se puede observar que los tratamientos de CZ no alteraron las características de calidad de la canal, basándose en la ausencia de diferencias estadísticamente significativas en relación a las canales de animales Control ($P>0.05$). En los tres grupos, la puntuación de marmoleo de las canales fue similar ($P>0.05$), siendo que al menos 26.07% de las canales tuvieron una puntuación de trazas o menor, y el 73.93% entre poco y modesto. Por su parte, la madurez fisiológica no se vio afectada ($P>0.05$) con el uso del CZ, lo que coincide con resultados obtenidos por otros autores (Beckett *et al.*, 2009; Elam *et al.*, 2009; Montgomery *et al.*, 2009a). El color subjetivo de la carne no mostró variaciones entre los tres grupos y tuvo una distribución similar en los tres niveles de color de la carne (rojo oscuro, rojo y rojo claro) ($P>0.05$). Esto ya había sido señalado por Elam *et al.* (2009) y Montgomery *et al.* (2009a). El atributo de textura de la carne no se vio afectada por la suplementación de cualquiera de las marcas CZ ($P>0.05$). Sin embargo, la firmeza se redujo en la carne de animales tratados con CZg, en comparación con los valores encontrados en toretes de los grupos Control y CZr ($P<0.05$). Los grados de calidad calculados para el sistema USDA y para la NMX-FF-SCFI-078-2002 (*Standard y Comercial*, respectivamente) tampoco se vieron modificados entre grupos ($P>0.05$). En comparación, el estudio de Montgomery *et al.* (2009a) muestra que debido a una ligera disminución en la puntuación de marmoleo en animales tratados con CZ, el grado final de calidad resulta ligeramente menor respecto a los animales Control, ellos evaluaron el efecto del CZ en novillos y novillas de razas *Bos taurus* con *frame* mediano y grande, mientras que en nuestra prueba la influencia racial *Bos indicus* fue un factor que limita la deposición de grasa intramuscular. Se ha descrito que los animales con un alto porcentaje de *Bos indicus* poseen

menor habilidad para depositar grasa intramuscular con respecto a bovinos con mayor proporción de *Bos taurus* (Huffman *et al.*, 1990; O'Connor *et al.*, 1997), influyendo también la precocidad de las razas, siendo los *Bos taurus* más precoces que los *Bos indicus*, los animales con predominancia de razas europeas presentan un *frame* chico, es decir que la altura de las patas es menor en comparación con el ancho del tórax, mientras que los bovinos cebuinos, se caracterizan por tener un *frame* grande, por lo que requieren más tiempo para alcanzar su tamaño maduro y por lo tanto su madurez es tardía, debido a esto comienzan a depositar grasa subcutánea, intermuscular e intramuscular a periodos de tiempo más tardíos que los bovinos de razas europeas (Brito *et al.*, 2004). En el sistema mexicano de producción de carne, a medida que aumenta el porcentaje de *Bos indicus* hay una disminución en la cantidad de marmoleo presente en el músculo *Longissimus thoracis* (Huffman *et al.*, 1990; Jiménez, 2014). La distribución de las canales en los distintos grados de calidad tanto para el sistema USDA y la NMX-FF-SCFI-078-2002 no se vieron modificados por la suplementación de CZ. El 53% de las canales de este estudio fueron clasificadas como USDA *Select* y 35.93% como USDA *Standard*; por su lado para el sistema mexicano de clasificación de canales, 43.73% de estas fueron categorizadas como *Estándar*, mientras que el 54.13% se catalogó con el grado de *Comercial*.

Cuadro 6.4.1. Características de calidad de la canal de toretes *Bos indicus* en finalización suplementados con clorhidrato de zilpaterol (CZg y CZr)

Variable	Tratamiento ¹			SEM	Contraste ²	
	Control n=96	CZg n=96	CZr n=96		CZg vs. Control	CZg vs. CZr
Puntuación de marmoleo ³	304.56	303.99	291.55	8.581	0.963	0.305
Marmoleo, %						
Prácticamente nada	4.2	6.3	5.2	0.508	0.514	0.743
Trazas	16.7	17.7	28.1	0.501	0.854	0.086
Ligero	75.0	68.8	57.3	0.515	0.339	0.099
Poco	3.1	4.2	8.3	0.539	0.685	0.241
Modesto	1.0	3.1	1.0	0.418	0.305	0.305
Madurez fisiológica general ⁴	A ₅₀	A ₄₀	A ₄₀	5.750	0.040	0.576
Color subj. de la carne ⁵	1.88	1.90	1.83	0.058	0.802	0.403
Color subj. de la carne, %						
Rojo oscuro	18.8	29.2	22.9	0.443	0.092	0.320
Rojo cereza	74.0	64.6	58.3	0.452	0.158	0.369
Rojo claro	7.3	12.5	12.5	0.577	0.228	0.999

Textura ⁶	3.19	3.16	2.98	0.085	0.794	0.371
Grado de calidad USDA ⁷	3.39	3.61	3.54	0.080	0.061	0.546
Grado de calidad USDA, %						
USDA Choice	2.2	7.3	5.3	0.425	0.097	0.569
USDA Select	54.9	48.9	55.2	0.446	0.405	0.382
USDA Standard	30.8	42.6	34.4	0.448	0.089	0.243
Conformación ⁸	1.69	1.74	1.71	0.057	0.494	0.676
Distribución de la grasa de cobertura ⁹	1.71	1.92	2.05	0.076	0.055	0.205
Color subjetivo de la grasa ¹⁰	2.00	2.00	2.00	0.001	0.999	0.999
Firmeza ¹¹	3.12 _a	3.24 _a	2.76 _b	0.095	0.377	<0.001
Grado de calidad de la canal NMX-FF-078-SCFI-2002 ¹²	1.37	1.48	1.49	0.054	0.179	0.858
Grado de calidad de la canal NMX-FF-078-SCFI-2002, %						
Selecta	0.0	1.0	2.1	0.615	0.326	0.537
Estándar	39.6	45.8	45.8	0.523	0.385	0.999
Comercial	58.3	53.1	51.0	0.462	0.468	0.771
Fuera de clasificación	2.1	0.0	1.0	0.504	0.154	0.326

¹ CZg = clorhidrato de zilpaterol de Zipamix® (Laboratorios PiSA Agropecuaria México, Guadalajara, México); CZr = clorhidrato de zilpaterol de Zilmax® (MSD Salud Animal México, Ciudad de México, México).

² Significancia.

³ 200=trazas; 300=Ligero; 400=Poco

⁴ 100-199= Madurez A; 200-299= Madurez B; 300-399= Madurez C

⁵ 1=Rojo oscuro; 2=Rojo cereza; 3=Rojo claro

⁶ Escala de 1 a 6, siendo 1= Muy tosca, y 6= Muy fina

⁷ 1=Utility; 2=Commercial; 3=Standard; 4=Select; 5=Choice; 6=Prime

⁸ 1=Perfil cóncavo; 2=Perfil recto; 3= Perfil convexo

⁹ 1=Uniforme; 2=Casi uniforme; 3=No uniforme

¹⁰ 1=Amarilla; 2=Crema; 3=Blanca

¹¹ Escala de 1 a 6, siendo 1= Muy firme, y 6= Muy suave

¹² 1=Comercial; 2=Estándar; 3=Selecta; 4=Suprema

a, b: Literales distintas en la misma fila indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

Parecería lógico esperar que la conformación de la canal difiera entre los animales tratados con CZ y los toretes Control, Baxa *et al.* (2010) reporta que el CZ actúa sobre todos los músculos, aumentando los niveles de ARNm de miosina en las fibras de alta glicólisis de tipo II-X, incrementando así su diámetro, lo que a su vez modifica la hipertrofia muscular. Esto afecta tanto a los cuartos posteriores como a los anteriores (Lawrence *et al.*, 2010; Ricks *et al.*, 1984); particularmente, los músculos que tienen una mayor cantidad de fibras de tipo II tales como las piernas y paletas, los que habrían tenido una mayor respuesta a la administración del β AA (Smith

et al., 1995). Sin embargo, en este estudio, no se encontraron diferencias para la calificación de conformación entre los grupos ($P>0.05$), siendo el perfil recto el más recurrente en los tres grupos de animales. Tampoco se produjo un cambio en la distribución de grasa (casi uniforme) ni en el color de la grasa de cobertura (color crema) ($P>0.05$) (Cuadro 6.4.1).

6.5. Características de la carne de toretes suplementados con clorhidrato de zilpaterol de referencia o genérico

La administración de cualquiera de las dos marcas de CZ no modificó las características de calidad de la carne (Cuadro 6.5.1), ya que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en comparación con la carne obtenida de animales control ($P>0.05$). Además, los resultados mostraron que la suplementación de CZg y CZr no modificó la pérdida por cocción en comparación con la carne de toretes Control ($P>0.05$), en estudios previos no se ha encontrado que la administración de CZ tenga algún efecto en la pérdida por cocción (Holmer *et al.*, 2009; Leheska *et al.*, 2009; Garmyn *et al.*, 2014). Varios autores han informado que la administración de CZ se asocia con una carne más dura (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Garmyn y Miller, 2014; Leheska *et al.*, 2009); mientras que otros indican que la suplementación de CZ no modifica la fuerza de corte Warner-Bratzler (FCWB) (O'Neill, 2001; Lean *et al.*, 2014). En este estudio, la FCWB fue similar en los tres grupos, consistente con lo reportado por Avendaño-Reyes *et al.* (2016). Mehaffey *et al.* (2009), por su parte, informaron que la carne de novillos *Bos taurus* suplementados con CZ durante 20 y 30 días antes del sacrificio, fue más dura en comparación con los filetes de animales libres de CZ. En un estudio realizado en ganado Nelore por Brandão *et al.* (2016) se sugirió que la disminución en la suavidad de la carne de los animales administrados con CZ se debe posiblemente al aumento de la actividad de la calpastatina y la reducción en la actividad de la calpaína 1 y 2, proteínas presentes en el proceso de ablandamiento endógeno *postmortem* de la carne. La FCWB obtenida en los animales de este estudio corresponde a carne dura, según las escalas para categorizar la suavidad de la carne en base a la FCWB, propuestas por Boleman *et al.* (1997) en la que la carne intermedia tiene fuerza de corte entre 4.08 a 5.4 kg y una carne dura está entre 5.9 y 7.1 kg y por Miller *et al.* (2001) en la que una carne con suavidad intermedia esta entre 3.9 y 4.5kg y una carne dura entre 5.42 y 7.2 kg. Se propone que la suavidad de la carne encontrada en este estudio con o sin suplementos de CZ, fue enmascarada por la influencia del tipo racial y el sexo de

los animales utilizados. Varios autores coinciden en que la carne de los novillos *Bos indicus* es más dura que la de los novillos *Bos taurus* (Café *et al.*, 2010; Koohmaraie *et al.*, 1990 y 1995; Shackelford *et al.*, 1995; Wheeler *et al.*, 1994). Se ha sugerido que este efecto se debe a la alta actividad de calpastatina (Crouse *et al.*, 1989; Pringle *et al.*, 1997; Barendse *et al.*, 2008) en los primeros. Además, las razas bovinas con alto cruzamiento *Bos indicus*, tienden a depositar menos grasa que aquellas con un alto porcentaje de *Bos taurus* (Huffman *et al.*, 1990; O'Connor *et al.*, 1997), menor grado de marmoleo aumenta la dureza de la carne, sea evaluada por FCWB o panel sensorial en *Bos taurus* y *Bos indicus*, además de que el aumento de la deposición de grasa intramuscular aumenta las puntuaciones de jugosidad de carne de ganado *Bos taurus* (Wheeler *et al.*, 1994). Smith y Carpenter (1974) explicaron el posible efecto de la grasa intramuscular sobre las características sensoriales de la carne. Propusieron que la grasa puede disminuir la fuerza necesaria en la mordida, debido a la densidad aparente, siendo que la grasa es menos densa que la proteína y dando por resultado un aumento en la suavidad de la carne. Estos autores también sugirieron que la grasa contenida entre las células del músculo, podría adelgazar el tejido conectivo en una extensión suficiente para reducir la cantidad de fuerza necesaria para cortar la carne. Además, la grasa entre las fibras musculares proporciona lubricación aumentando la percepción de suavidad. Finalmente, la grasa intramuscular también puede proporcionar cierta protección de las proteínas contra la cocción excesiva. Por otro lado, los bovinos incluidos en este ensayo fueron machos sin castrar, condición que se ha relacionado con la producción de carne más dura, debido a una disminución en la cantidad de colágeno soluble en comparación con la carne de animales castrados (Cross *et al.*, 1983) y una disminución en la grasa intramuscular (Marti *et al.*, 2013).

Las diferencias para los valores L*, a*, b* y C* no fueron estadísticamente significativas entre los tres grupos ($P > 0.05$), esto es consistente con estudios previos que indican que la administración de CZ no modifica los parámetros del color (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Brandão *et al.*, 2016), aunque el valor L* de los tres tratamientos se encontraba en el rango de carne oscura (Leyva *et al.*, 2012; Wulf *et al.*, 2002) fueron similares a los encontrados en ganado mexicano (Delgado *et al.*, 2005; Oliva, 2014). En el caso de los valores de pH 24 h *postmortem*, se encontró que fueron superiores en carne de animales suplementados con CZr, en 0.09 y 0.12 unidades respecto a los animales tratados con CZg y animales Control. En el estudio de Avendaño-Reyes *et al.* (2006) no hallaron diferencias entre el pH 24 h *postmortem* de la carne de animales tratados con el

producto genérico y el de referencia con respecto a la carne de animales Control. La proporción de carne con $\text{pH} \geq 6.0$ fue similar entre los tres grupos ($P > 0.05$), pero mostro una tendencia a ser mayor en carne de toretes tratados con CZr ($P = 0.059$). En nuestro estudio se identificó, que el porcentaje de cortes oscuros no fue diferente entre la carne de animales tratados con CZg y CZr en comparación con aquella del grupo Control ($P > 0.05$), Loneragan *et al.* (2014) describieron que la incidencia de corte oscuro era superior en animales tratados con CZ en comparación con los animales sin suplementar, en cambio, Montgomery *et al.* (2009b) no encontraron que la prevalencia de corte oscuro en novillos y vaquillas suplementados con CZ fuera diferente significativamente respecto a aquellos sin medicar con CZ.

Cuadro 6.5.1. Calidad de la carne de toretes *Bos indicus* en finalización suplementados con clorhidrato de zilpaterol (CZg y CZr), carne con maduración de 11 días

Variable	Tratamiento ¹			SEM	Contraste ²	
	Control n=96	CZg n=95	CZr n=93		CZg vs. Control	CZg vs. CZr
Pérdida por cocción, %	25.07	25.51	25.51	0.613	0.610	0.994
Fuerza de corte WB, Kg/cm ³	6.08	6.54	6.49	0.177	0.066	0.831
L*	40.38	39.91	39.66	0.378	0.385	0.633
a*	28.90	28.05	27.70	0.288	0.080	0.997
b*	20.63	19.71	18.95	0.288	0.055	0.065
C*	35.50	34.31	33.23	0.395	0.120	0.519
pH 24 hrs	5.78 _a	5.81 _a	5.90 _b	0.024	0.381	0.011
pH 24 hrs, %						
<6.0	88.54	87.5	77.09	-	0.824	0.059
≥6.0	11.46	12.5	22.91	-	0.824	0.059
Corte oscuro ³ , %	4.16	6.25	6.25	-	0.515	0.999

¹CZg = clorhidrato de zilpaterol de Zipamix® (Laboratorios PiSA Agropecuaria México, Guadalajara, México); CZr= clorhidrato de zilpaterol de Zilmax® (MSD Salud Animal México, Ciudad de México, México).

²Significancia.

³ Cortes con $\text{pH} > 6.0$ y $L^* < 35$

a, b: Literales distintas en la misma fila indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

Se ha reportado que en el ganado, los fármacos β AA modifican el metabolismo del tejido adiposo, provocando una disminución en la cantidad de grasa depositada, debido al aumento de la lipólisis y la disminución de la lipogénesis (Mersmann, 2002). Por su parte, en el tejido muscular, estos fármacos aumentan la cantidad de proteína (Ricks *et al.*, 1984, Mersmann, 2002). Los datos del análisis químico proximal del músculo *Longissimus* se presentan en el Cuadro 6.5.2. Los

hallazgos indican que la suplementación de CZ no modifica la cantidad de humedad, grasa y cenizas del músculo *Longissimus* en comparación con la carne de animales sin suplementar ($P>0.05$). Los valores obtenidos coinciden con los rangos de humedad y cantidad de ceniza del músculo *Longissimus dorsi* del ganado mexicano (Delgado *et al.*, 2005); aunque, los resultados encontrados durante este ensayo son ligeramente más altos en la cantidad de proteína y grasa. En este estudio el porcentaje de proteína no fue diferente entre los grupos CZr y Control (24.16 y 23.52%, respectivamente) ($P=0.351$), pero la cantidad de proteína del grupo CZr fue ligeramente superior a la de la carne de animales tratados con CZg ($P=0.023$), el grupo Control y CZg fueron similares en la cantidad de proteína ($P=0.819$).

Cuadro 6.5.2. Composición del músculo *Longissimus* de toretes *Bos indicus* en finalización suplementados con clorhidrato de zilpaterol (CZg y CZr)

Variable	Tratamiento ¹			SEM	Contraste ²	
	Control n=28	CZg n=27	CZr n=29		CZg vs. Control	CZg vs. CZr
Humedad, %	71.26	70.85	71.39	0.237	0.672	0.344
Proteína, %	23.52 _{ab}	23.08 _b	24.16 _a	0.279	0.819	0.023
Grasa, %	4.36	5.22	3.58	0.265	0.125	0.073
Cenizas, %	0.85	0.84	0.87	0.024	0.999	0.999

¹CZg = clorhidrato de zilpaterol de Zipamix® (Laboratorios PiSA Agropecuaria México, Guadalajara, México); CZr= clorhidrato de zilpaterol de Zilmax® (MSD Salud Animal México, Ciudad de México, México).

²Significancia.

a, b: Literales distintas en la misma fila indican diferencia significativa ($P<0.05$)

Existe inconsistencia en relación a la composición de la carne de bovinos suplementados con CZ, Shook *et al.* (2009) evaluaron la carne de novillos de raza Británica y Británica × Continental que habían sido tratados con 8.3 mg CZ/ kg MS durante 20 d y reportaron cambios en el porcentaje de proteína, siendo superior en carne de novillos tratados con CZ en comparación con la carne de novillos Control (23.41 vs 22.87%), los porcentajes de grasa y humedad no se vieron afectados por la suplementación de CZ. Mientras que Rathmann *et al.* (2009), encontraron que la carne de animales tratados con CZ presentaba menor contenido de grasa y mayor porcentaje de humedad y proteína en comparación con animales Control. El reporte de Holmer *et al.* (2009), menciona que la humedad no se ve afectada, mientras que la cantidad de grasa es menor en músculos (*Triceps Brachii*, *Gluteus medius* y *Longissimus lumborum*) de animales en tratamiento de 30 d con CZ en comparación con la carne de animales sin suplementar. Por otro

lado, Hilton *et al.* (2009) observaron una disminución en el porcentaje de grasa en el *longissimus lumborum*, sin verse modificado el porcentaje de proteína o humedad en los novillos alimentados con CZ.

Los resultados referentes a las calificaciones aceptables otorgadas por un panel de jueces consumidores a la carne de los tres grupos se muestran en el Cuadro 6.5.3. La suplementación de CZg y CZr no modificó las calificaciones de los consumidores para olor, sabor y suavidad del músculo *Longissimus* ($P < 0.05$), se observa que más del 65% de los consumidores asignaron una calificación entre 5 y 7 (“me gusta ligeramente” y “me gusta mucho”, respectivamente), para olor, sabor y suavidad, en cambio la calificación para jugosidad de la carne de los grupos tratados con CZ de cualquier presentación, arrojó un menor porcentaje de calificaciones positivas en comparación con la carne de animales en el grupo Control ($P > 0.05$), aunque los consumidores detectaron diferencia en la jugosidad de la carne de toretes tratados con CZ de ambas presentaciones no se vio afectada la calificación del agrado general ($P > 0.05$).

Cuadro 6.5.3. Porcentaje de calificaciones positivas³ (≥ 5) para rasgos de palatabilidad del músculo *Longissimus* de toretes *Bos indicus* en finalización suplementados con clorhidrato de zilpaterol (CZg y CZr), carne madurada por 11 días

Variable	Tratamiento ¹			SEM	Contraste ²	
	Control n=73	CZg n=73	CZr n=73		CZg vs. Control	CZg vs. CZr
Aroma ³	71.2	67.1	56.2	0.055	0.590	0.171
Sabor ³	75.3	68.5	65.8	0.054	0.356	0.724
Suavidad ³	60.3	53.4	58.9	0.058	0.402	0.504
Jugosidad ³	65.8 _a	45.2 _b	56.2 _b	0.058	0.011	0.183
Aceptación general ³	75.3	67.1	69.9	0.055	0.271	0.721

¹CZg = clorhidrato de zilpaterol de Zipamix® (Laboratorios PiSA Agropecuaria México, Guadalajara, México); CZr= clorhidrato de zilpaterol de Zilmax® (MSD Salud Animal México, Ciudad de México, México).

²Significancia.

³ Las calificaciones del panel sensorial de consumidores se basan en una escala hedónica de 7 puntos (1 me disgusta mucho a 7 = Me gusta mucho)

a, b: Literales distintas en la misma fila indican diferencia significativa ($P < 0.05$)

Los resultados observados por Garmyn *et al.* (2010) indican que el CZ no modifica el sabor del músculo *Longissimus* de novillos Holstein en comparación con las muestras Control, pero si se vieron afectadas las puntuaciones de jugosidad sostenida y suavidad general. Otros reportes

indican que la suplementación de CZ puede afectar rasgos de palatabilidad como el sabor, suavidad y jugosidad, estos cambios pueden estar ligados a la menor cantidad de grasa intramuscular de la carne de animales tratados con CZ (Hilton *et al.*, 2009). Leheska *et al.* (2009) atribuyen estos efectos a los cambios estructurales que ocurren en el tejido muscular, ya que la suplementación de CZ provoca una hipertrofia muscular, que se relaciona con el aumento del diámetro de las fibras musculares (Mills, 2002).

6.6. Efecto de la interacción entre el porcentaje de *Bos indicus* y tratamientos con clorhidrato de zilpaterol de referencia o genérico sobre las características de rendimiento de la canal

Los resultados de la interacción entre el porcentaje de *Bos indicus* y los tratamientos con CZ se muestran en el Cuadro 6.6.1. El peso de la canal caliente fue superior en animales tratados con CZ de ambas marcas, en cualquiera de los porcentajes raciales, comparados con sus homólogos del grupo Control ($P<0.05$). Las canales más pesadas se obtuvieron de toretes $\frac{3}{4}$ *Bos indicus* y *Bos indicus* puros que se trataron con CZg y CZr ($P<0.05$). En este estudio se encontró que las canales de toretes cebuinos puros tratados con CZr y CZg superaron en 6.22 y 9.09 kg, respectivamente, en relación al peso de las canales de animales del mismo tipo racial del grupo Control ($P<0.05$). En cuanto a los animales con $\frac{3}{4}$ cebú tratados con CZr y CZg el peso de la canal caliente fue superior en 1.99 y 3.29 %, respectivamente, en comparación con los animales del mismo grupo racial que no se suplementaron con CZ ($P<0.05$), estos resultados son superiores a los obtenidos por Castellanos-Ruelas *et al.* (2006), pero inferiores a los descritos por Avendaño Reyes *et al.* (2016), quienes compararon la suplementación de CZ genérico en toretes con 75% de *Bos indicus*. En todos los grupos se observó que el peso de la canal caliente fue inferior en toretes con 50% de cruce con *Bos taurus* ($P<0.05$), esto puede deberse a que en las condiciones ambientales donde se llevó a cabo el estudio, con temperaturas superiores a 25°C y humedad relativa alta, condiciones en las cuales los animales en confinamiento comienzan a sufrir por estrés calórico, viéndose afectado el consumo de alimento y de agua (NRC, 1981), provocando la disminución del desempeño productivo comparado con el obtenido en condiciones óptimas (LeRoy, 1995). Además, se ha demostrado que animales *Bos indicus* parecen lidiar mejor con este tipo de condiciones ambientales en comparación con los animales *Bos taurus* (Beatty *et al.*, 2006; Norris *et al.*, 2003), debido a las características fisiológicas y celulares que poseen (Hansen, 2004).

Se observó mayor rendimiento de la canal en animales totalmente cebuinos tratados con CZ de ambas marcas, y este rendimiento fue similar al obtenido en los toretes $\frac{3}{4}$ *Bos indicus* tratados con CZ y al de los *Bos indicus* puros del grupo Control ($P<0.05$). El menor rendimiento en canal se obtuvo de bovinos con $< \frac{1}{2}$ de porcentaje *Bos indicus* en los que se administró o no CZ ($P<0.05$). El porcentaje de rendimiento fue similar al obtenido por otros autores (Avendaño-Reyes *et al.*, 2016; Castellanos-Ruelas *et al.*, 2006). Elzo *et al.* (2011) reportaron que el rendimiento de la canal es superior en animales Brahman, comparados con animales Angus, aunque con las cruza a diversos porcentajes no es diferente.

Cuadro 6.6.1. Características de la canal de toretes con diferente porcentaje de cruce *Bos indicus* finalizados en confinamiento y suplementados con clorhidrato de zilpaterol (CZg y CZr)

Tratamiento ¹	Tipo racial ²	n=288	Variables					
			PCC (kg)	RC (%)	AML (cm ²)	GDA (cm)	(KPH) (%)	MCP (%)
Control n=96	$< \frac{1}{2}$ BI	n=12	301.96 _a	59.5 _a	70.22 _{ab}	0.32 _{bc}	1.82 _c	176.77 _a
	$\frac{3}{4}$ BI	n=15	311.57 _b	61.4 _{ab}	70.86 _{ab}	0.36 _c	1.74 _c	182.67 _b
	BI	n=69	312.75 _{bc}	61.4 _a	68.53 _a	0.43 _d	1.65 _{bc}	181.67 _b
CZg n=96	$< \frac{1}{2}$ BI	n=15	311.05 _b	60.6 _a	76.57 _c	0.26 _a	1.62 _b	186.84 _b
	$\frac{3}{4}$ BI	n=16	320.66 _d	61.3 _{ab}	77.21 _c	0.31 _{ab}	1.54 _{ab}	192.74 _c
	BI	n=65	321.84 _d	62.0 _b	74.88 _{bc}	0.38 _c	1.45 _a	191.74 _c
CZr n=96	$< \frac{1}{2}$ BI	n=10	308.17 _b	60.5 _a	78.10 _c	0.32 _{bc}	1.73 _c	185.37 _b
	$\frac{3}{4}$ BI	n=23	317.78 _{cd}	61.6 _{a,b}	78.74 _c	0.36 _c	1.64 _{bc}	191.28 _c
	BI	n=63	318.97 _d	62.1 _b	76.42 _c	0.43 _d	1.55 _{ab}	190.28 _c
SEM	--	--	3.11	0.42	1.98	0.035	0.086	2.41
Interacción T x BI ³	--	--	0.001	0.001	<0.001	0.001	0.026	<0.001
P-valor	--	--	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.007	<0.001

¹CZg= clorhidrato de zilpaterol genérico de Zipamix® (Laboratorios PiSA agropecuaria, México); CZr=

clorhidrato de zilpaterol de referencia de Zilmax® (MSD Salud Animal, México)

² $< \frac{1}{2}$ BI= $< 50\%$ de cruce con *Bos indicus*; $\frac{3}{4}$ BI= 75% de cruce con *Bos indicus*; $\frac{4}{4}$ BI= *Bos indicus* puros

³Efecto de la interacción del tratamiento por el porcentaje de *Bos indicus*

a, b, c y d: Literales distintas en la misma columna indican diferencia significativa ($P<0.05$)

La suplementación de CZ aumenta la deposición de músculo, lo cual se refleja en un incremento del área del músculo *Longissimus*, en este estudio este parámetro se vio incrementado entre 6 y 10 cm² en toretes que fueron suplementados con CZ de ambas marcas, en todos los tipos raciales, en comparación con animales del grupo Control ($P<0.05$), coincidiendo con otros reportes

(Avendaño-Reyes *et al.*, 2016; Castellanos-Ruelas *et al.*, 2006). En este estudio no se observó una tendencia clara en la deposición de grasa dorsal por el uso de CZ en los diferentes porcentajes de *Bos indicus*, mientras que en el porcentaje de grasa visceral (KPH), los toretes considerados cebúes puros suplementados con CZ de ambas marcas y los $\frac{3}{4}$ *Bos indicus* tratados con CZg tuvieron menor porcentaje de grasa KPH en comparación con los toretes del grupo Control con $< \frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ *Bos indicus* ($P < 0.05$), lo que concuerda con otros reportes, donde se observa que las cruza entre Brahman y Angus presentan mayor porcentaje de grasa que los animales puros (Elzo *et al.*, 2011; Nunes *et al.*, 2002).

Se encontró que aquellos toretes con un máximo de 75% *Bos indicus*, tratados con CZ de ambas marcas, tuvieron un grado de rendimiento más magro, en comparación con los toretes *Bos indicus* puros tratados con CZ ($P < 0.05$), debido a que estos presentaron una mayor cantidad de grasa de cobertura y/o KPH. Las canales de toretes cebuinos puros Control fueron las que recibieron un grado de rendimiento más engrasado en comparación al resto de grupos, relacionado a que estas canales fueron de las más ligeras, presentaron un área del músculo *Longissimus* menor y una mayor cantidad de grasa dorsal.

Se observó que la cantidad de músculo en los cortes primarios aumenta conforme se incrementa el tamaño de la giba. Las canales con menos cantidad de músculo en los cortes primarios fueron las de animales presuntivamente con $< 50\%$ *Bos indicus* del grupo Control, seguidas por las canales $< \frac{1}{2}$ *Bos indicus* tratados con CZ de ambas marcas y finalmente las canales Control con 75% y 100% cebúes. La superioridad de las canales de animales suplementados con CZg y CZr con proporción $\frac{3}{4}$ y completamente *Bos indicus* esta entre 13.5 y 15.9 kg de músculo en los cortes primarios ($P < 0.05$). Nunes *et al.* (2011) reporta que el porcentaje de músculo no se ve afectado por el cruzamiento entre *Bos taurus* y *Bos indicus*, comparado con el porcentaje de músculo obtenido en animales puros. Se reitera que para realizar una investigación más profunda acerca del tipo racial de los animales medida a través del área de la giba, se recomienda realizar una confirmación fenotípica o genotípica de los bovinos, además de llevarlos a un peso similar a matanza.

7. CONCLUSIONES

Los datos de esta evaluación farmacodinámica indican que la suplementación de CZg durante 30 días antes de la matanza de los animales, mejora el peso de la canal caliente en relación con los toretes Control en animales *Bos indicus* bajo condiciones de trópico húmedo, sin afectar las cualidades de la canal y la carne.

El CZ genérico probado presentó efectos similares en el rendimiento de la canal y en las características de calidad de la canal y la carne, al compararlo con el CZr cuando se administró en el alimento en toretes comerciales con predominancia cebuína finalizados en el trópico húmedo.

Por lo tanto, el uso de cualquiera de estas preparaciones farmacéuticas de CZ puede mejorar las características de rendimiento de la canal en ganado cebú, garantizando una calidad de la carne similar a la de animales no suplementados.

Finalmente en condiciones tropicales donde la temperatura es de 28.2 °C a las 8:00 h y 35.0°C a las 13:00 h, con humedad relativa de 86.8% y 52%, respectivamente, la suplementación con CZ de cualquiera de las dos marcas produce mejoras en el peso de la canal caliente, área del músculo *Longissimus* y cantidad de músculo en los cortes primarios, en animales que presuntivamente son 75 y 100% *Bos indicus*, ya que estos animales poseen estrategias fisiológicas para hacer frente a las condiciones climáticas con calor y humedad elevados, en comparación con bovinos que tienen un porcentaje superior al 50% de sangre de *Bos taurus*.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, R. 2016. Finalización de bovinos en corral. *Entorno ganadero*. 68
- Allen, P., F. Quirke, P.V. Tarrant. 1986. Effects of cimaterol on the growth, food efficiency and carcass quality of friesian cattle. In: J.P. Hanrahan (ed). Beta-agonist and their effects on animal growth and carcass quality. *Elsevier Applied Sci. London*. 86-92
- AMSA. 2015. *Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat*. Second edition (version 1.0). Última revisión 08 de enero de 2017, Consultado en: <http://www.meatscience.org/docs/default-source/publicationsresources/amsa-sensory-and-tenderness-evaluation-guidelines/research-guide/2015-amsa-sensory-guidelines-1-0.pdf?sfvrsn=6>.
- AMSA. American Meat Science Association. 2012. *Meat color measurement guidelines*. Última revisión 08 de enero de 2017, Consultado en: <http://www.meatscience.org>
- Anaya, A. D. L., G. M. Guevara, y S. O. Argudin. (2005). Comportamiento productivo de ovinos engordados en corral utilizando clorhidrato de zilpaterol en el alimento. *Arch. Latinoam, Prod, Anim*. 13: 190.
- Anderson, D. B., D. E. Moody, y D. L. Hancock. 2005. Beta Adrenergic Agonist. In: W. G. P. A. W. Bell (ed.) *Encyclopedia of Animal Science*. 104-107. Taylor & Francis
- Anderson, P.T.; B.J. Johnson; M. Dikeman. 2004. Metabolic Modifiers. *Encyclopedia of Meat Sciences*, 2, 538-546.
- AOAC. 1990. Helrick, K. (15° Ed.), Official methods of analysis of the association of official analytical chemists (15th ed., p. 1230). USA: Arlington.
- Arp, T. S., S. T. Howard, D. R. Woerner, J. A. Scanga, D. R. McKenna, W. H. Kolath, P. L. Chapman, J. D. Tatum, and K. E. Belk. 2014. Effects of dietary ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride supplementation on performance, carcass traits, and carcass cutability in beef steers. *J. Anim. Sci.* 92, 836–843.
- Avendaño-Reyes, L., F. Meraz, C. Pérez, F. Figueroa, A. Correa, F. Álvarez, J. Guerra, G. López and U. Macias. 2016. Evaluation of the efficacy of Grofactor, a beta-adrenergic agonist based on zilpaterol hydrochloride, using feedlot finishing bulls. *J. Anim. Sci.* 94, 2954–2961.
- Avendano-Reyes, L., V. Torres-Rodriguez, F. J. Meraz-Murillo, C. Perez-Linares, F. Figueroa-Saavedra, and P. H. Robinson. 2006. Effects of two β -adrenergic agonists on finishing

- performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 84, 3259–3265.
- Baker, P. K., R. H. Dalrymple, D. L. Ingle, e C. A. Ricks. 1984. Use of a β -Adrenergic Agonist to Alter Muscle and Fat Deposition in Lambs. *J. Anim Sci.* 59: 1256-1261.
- Bardsley, R.G., S.M.J. Allcock, J.M. Dawson, N.W. Dumelow, J.A. Higgins, Y.V. Lasslett, A.K Lockley, T. Parr, y P.J. Buttery. (1992). Effect of β -agonists on expression of calpain and calpastatin activity in skeletal muscle. *Biochimie.*74: 267-273.
- Barendse W.J., B.E. Harrison, R.J. Bunch y M.B. Thomas. 2008. Variation at the calpain 3 gene is associated with meat tenderness in zebu and composite breeds of cattle. *BMC Genet*, 9(41), 1-8.
- Baxa, T. J., J. P. Hutcheson, M. F. Miller, J. C. Brooks, W. T. Nichols, M. N. Streeter, D. A. Yates, and B. J. Johnson. 2010. Additive effects of a steroidal implant and zilpaterol hydrochloride on feedlot performance, carcass characteristics, and skeletal muscle messenger ribonucleic acid abundance in finishing steers. *J. Anim. Sci.* 88, 330–337.
- Beatty, D. T., A. Barnes, E. Taylor, D. Pethick, M. McCarthy, y S. K. Maloney. (2006). Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *J. Anim. Sci.* 84:972–985
- Beckett, J. L., R. J. Delmore, G. C. Duff, D. A. Yates, D. M. Allen, T. E. Lawrence, and N. Elam. 2009. Effects of zilpaterol hydrochloride on growth rates, feed conversion, and carcass traits in calf-fed Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 87, 4092–4100
- Beermann, D. H.; Butler, W. R.; Hogue, D. E.; Fishell, V. K.; Dalrymple, R. H.; Ricks, C. A.; Scanes, C. G. 1987. Cimaterol-induced muscle hypertrophy and altered endocrine status in lambs. *J. Anim. Sci.* 65:1514-1524.
- Bell A.W., D.E.Bauman, D.H. Beermann y R.J. Harrell. 1998. Nutrition, development and efficacy of growth modifiers in livestock species. *J. Nut.* 128:360S–363S.
- Blair E.L. (1983). Hormones and metabolism: a background. *Proceedings of the Nutrition Society.*42: 103-111.
- Boucqué, C. V., L. O. Fiems, R. J. Moermans, B. G. Cottyn, y M. Sommer. 1994. Effect of cimaterol on growth, carcass characteristics and meat quality in double-muscléd Belgian White-blue bulls. *Canad J Anim. Sci.* 74: 707-709.

- Boleman, S. J., S.L. Boleman, R.K. Miller, J.F. Taylor, H.R. Cross, T.L. Wheeler, M. Koohmaraie, S.D. Shackelford, M.F. Miller, R.L. West, D.D. Johnson, y J. W. Savell. 1997. Consumer Evaluation of Beef of Known Categories of Tenderness. *J. Anim. Sci.* 75:1521–1524
- Brandão N. R., V. B. Ferrari, L. Garcia, R. Silva y L. F. Prada. 2016. Zilpaterol hydrochloride improves beef yield, changes palatability traits, and increases calpain-calpastatin gene expression in Nelore heifers. *Meat Sci.* 121, 375–381
- Brito, L., A.E. Silva, M.M. Unanian, M.A. Dode, R.T. Barbosa y J.P. Kastelic. 2004. Sexual developmente in early and late maturing *Bos indicus* and *Bos indicus* - *Bos taurus* crossbred bulls in Brazil. *Theriogenology*, 62: 1198-1217
- Brooks, J. C., H. C. Claus, M. E. Dikeman, J. Shook, G. G. Hilton, T. E. Lawrence, J. M. Mehaffey, B. J. Johnson, D. M. Allen, M. N. Streeter, W. T. Nichols, J. P. Hutcheson, D. A. Yates, and M. F. Miller. 2009. Effects of zilpaterol hydrochloride feeding duration and postmortem aging on Warner-Bratzler shear force of three muscles from beef steers and heifers. *J. Anim. Sci.* 87, 3764–3769.
- Café L.M., B.L. McIntyre, D.L. Robinson, G.H. Geesink, W. Barendse y P.L. Greenwood. 2010. Production and processing studies on calpain system gene markers for tenderness in Brahman cattle: 1. Growth, efficiency, temperament and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.*, 88, 3047-3058.
- Canadian Food Inspection Agency (CFIA). 2015. Compendium of Medicating Ingredient Brochures #83, Zilpaterol Hydrochloride. Última revisión 05 de febrero de 2017, Consultado en: <http://www.inspection.gc.ca/animals/feeds/medicating-ingredients/mib/mib-83/eng/1331130141375/1331130195394>
- Casas, E., S. N. White, D. G. Riley, T. P. L. Smith, R. A. Brenneman, T. A. Olson, D. D. Johnson, S. W. Coleman, G. L. Bennett, and C. C. Chase Jr. 2005. Assessment of single nucleotide polymorphisms in genes residing on chromosomes 14 and 29 for association with carcass composition traits in *Bos indicus* cattle. *J. Anim. Sci.* 83:13–19.
- Casey N.H., T.H. Montgomery y M. L. Scheltons. (1997a). The effect of zilpaterol on feedlot performance, carcass quality, USDA carcass grades and meat quality. *Proceedings of the 43rd International Congress in Meat Science and Technology*, Auckland, New Zealand, 262-263

- Castellanos-Ruelas, A. F., J.G. Rosado-Rubio, L.A. Chel-Guerrero, and D.A. Betancur-Ancona. 2006. Using zilpaterol in an intensive feeding system for steers in Yucatán, México. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 14, 56-59
- Chikhou F.H., A. P. Moloney, P. Allen, J.F. Quirke, F.H. Austin y J.F Roche JF. 1993a. Long- term effects of cimaterol in Friesian steers: I. Growth, feed efficiency and selected carcass traits. *J. Anim. Sci.* 71: 906- 913.
- Chikhou F.H., A.P. Moloney, P. Allen, R.L Joseph, P.V. Tarrant, J.F. Quirke, F.H Austin y J.F Roche. 1993b. Long-term effects of cimaterol in Friesian steers: II. Carcass composition and meat quality. *J. Anim. Sci.* 71:914–922.
- Chwalibog, A., K. Jensen, y G. Thorbek. 1996. Quantitative protein and fat metabolism in bull calves treated with beta-adrenergic agonist. *Arch Tierernahr* 49: 159-167.
- Claus, H. L., M. E. Dikeman, L. Murray, J. C. Brooks, J. Shook, G. G. Hilton, T. E. Lawrence, J. M. Mehaffey, B. J. Johnson, D. M. Allen, M. N. Streeter, W. T. Nichols, J. P. Hutcheson, D. A. Yates, M. F. Miller, M. C. Hunt, e J. Killefer. 2010. Effects of supplementing feedlot steers and heifers with zilpaterol hydrochloride on Warner-Bratzler shear force interrelationships of steer and heifer longissimus lumborum and heifer triceps brachii and gluteus medius muscles aged for 7, 14 and 21 d. *Meat Sci.* 85: 347- 355.
- Cross H.R., B.D. Schanbacher y J.D. Crouse. 1983. Sex, age and breed related changes in bovine testosterone and intramuscular collagen. *Meat Sci.*, 10, 187-195.
- Crouse, J.D., L.V. Cundiff, R.M. Koch, M. Koohmaraie y S.C. Seideman. 1989. Comparisons of *Bos indicus* and *Bos taurus* inheritance for carcass beef characteristics and meat palability. *J. Anim. Sci.* 67, 2661.
- Dawson, J. M., J. Craigon, P. J. Buttery, y D. E. Beever. 1993. Influence of diet and beta-agonist administration on plasma concentrations of growth hormone and insulin-like growth factor-1 in young steers. *Br J Nutr.* 70: 93-102.
- Delgado, E. J., M.S. Rubio, F. A. Iturbe, R.D. Méndez, L. Cassis, y R. Rosiles. 2005. Composition and quality of Mexican and imported retail beef in Mexico. *Meat Sci.* 69:465-471
- Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica (DNAB). 2015. Documentos del sistema de gestión de la calidad; Técnicas para la determinación de humedad, proteína, grasa y cenizas. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

- Díaz L. y García J. 1994. La grasa: implicaciones en la calidad de la carne. *Eurocarne*. 29:46-55
- Dikeman, M. E. 2007. Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. *Meat. Sci.* 77: 121 - 135.
- Domínguez-Vara, I, J. Mondragón, M. Ronquillo, F. Salazar, J. Bórquez y A Aragón. 2009. Los β -agonistas adrenérgicos como modificadores metabólicos y su efecto en la producción, calidad e inocuidad de la carne de bovinos y ovinos: una revisión, *CIENCIA ergo sum*. 1: 6- 3.
- Doumit, M.E. y M. Koochmaraie. 1999. Immunoblot analysis of calpastatin degradation: Evidence for cleavage by calpain in postmortem muscle. *J. Anim. Sci.* 77:1467–1473.
- Dunshea, F. R., D.N. D'souza, D. W. Pethick, G.S. Harper y R.D. Warner. 2005. Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat Sci.*, 71: 8–38.
- Elam, N. A., J. T. Vasconcelos, G. Hilton, D. L. VanOverbeke, T. E. Lawrence, T. H. Montgomery, W. T. Nichols, M. N. Streeter, J. P. Hutcheson, D. A. Yates, and M. L. Galyean. 2009. Effect of zilpaterol hydrochloride duration of feeding on performance and carcass characteristics of feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 87, 2133–2141.
- Elzo, M.A., D.D. Johnson, J.G. Wasdin, y J.D. Driver. 2012. Carcass and meat palatability breed differences and heterosis effects in an Angus–Brahman multibreed population. *Meat Sci.* 90:87–92
- Epi-Tools *epidemiological calculators*. Última revisión 06 de marzo de 2017, Consultado en: <http://epitools.ausvet.com.au/content.php?page=z-test-2>
- Fiems L.O., C.V. Boucque y B.G. Cottyn. 1993. Effect of duration of β -agonist treatment on growth, feed intake and carcass characteristics in finishing bulls. *Archives of Animal Nutrition*. 45: 101- 109.
- Fiems, L. O. 1987. Effect of b-adrenergic agonists in animal production and their mode of action. *Annales Zootechnie*, 36: 271–290.
- Fiems, L. O., B. Buts, C. V. Boucqué, D. I. Demeyer, y B. G. Cottyn. 1990. Effect of a β -agonist on meat quality and myofibrillar protein fragmentation in bulls. *Meat Sci.* 27: 29-39.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2015. *Overview of the world meat market*. Última revisión 07 de enero de 2017, Consultado en: <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/background.html>

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2012. Hoja informativa– Discussion on ractopamine in codex and in the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Última consulta: 24 de marzo de 2017. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/agns/pdf/Ractopamine_info_sheet_Codex-JECFA.pdf.
- Food and Drug Administration (FDA). 2006. Freedom of Information Summary. Original New Animal Drug Application NADA 141–258. ZILMAX (Zilpaterol Hydrochloride). Type A Medicated Article for Cattle Fed in Confinement for Slaughter. Última consulta: 14 de enero de 2017. Disponible en: <http://www.fda.gov/downloads/AnimalVeterinary/Products/ApprovedAnimalDrugProducts/FOIADrugSummaries/ucm051412.pdf>
- Food and Drug Administration (FDA). 2013. Guidance for Industry Bioequivalence Studies with Pharmacokinetic Endpoints for Drugs Submitted Under an ANDA. . Última consulta: 14 de enero de 2017. Disponible en: <https://www.fda.gov/downloads/Drugs/GuidanceComplianceRegulatoryInformation/Guidances/UCM377465.pdf>
- Garcés, Y. P.; M. R. Zinn; A. M. Rebolledo y C. C. Abreu. (1998). Efectos del clorhidrato de zilpaterol sobre la ganancia de peso y características de la canal de toretes finalizados en pastoreo, en *Memoria de la Reunión Científica de la XXXIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Querétaro, México*. 144 p.
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de geografía- UNAM. *Serie libros* 6: 35-40
- Garmyn, A. J., J. N. Shook, D. L. VanOverbeke, J. L. Beckett, R. J. Delmore, D. A. Yates, D. M. Allen, y G. G. Hilton. 2010. The effects of zilpaterol hydrochloride on carcass cutability and tenderness of calf-fed Holstein steers. *J Anim Sci*. 88: 2476-2485.
- Garmyn, A. J., y M. F. Miller. 2014. Implant and beta agonist impact on meat palatability. *J. Anim. Sci*. 92: 10–20.
- Garza, F. J. D., C. J. H. Ramírez, T. H. Montgomery y F. J. Garza (1997). Comportamiento productivo y características de canal en vaquillas de engorda suplementadas con zilpaterol en condiciones comerciales. *XXXIII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Veracruz, México*. 580 p.

- Garza, F.J.D., G.R. Basurto, M. del C. Ramirez, J. H. Montgomery, H. Ted, y F.J. Garza. (1997). Respuesta productiva de novillos en finalización alimentados con distintos niveles de Zilpaterol. (Resumen). En: *Memorias del VII Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal A.C. Puerto Vallarta, México.*
- Geesink G.H., F.J.M. Smulders, N.L.J.M. van Laack, J.H. van der Kolk, T.H. Wensing y H.J. Breukink. 1993. Effect of meat quality of the use of clenbuterol in veal calves. *J. Anim. Sci.* 71:1161–1170.
- Genchi, C., Alvinerie, M., Forbes, A., Bonfanti, M., Genchi, M., Vandoni, S., Innocenti M, y Sgoifo-Rossi, C. A. 2008. Comparative evaluation of two ivermectin injectable formulations against psoroptic mange in feedlot cattle. *Veterinary Parasitology*, 158,110–116
- Gerber, P.J., H. Steinfeld, B. Henderson, A. Mottet, C. Opio, J. Dijkman, A. Falcucci, y G. Tempio, G. 2013. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería –Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma.
- Gerber, P.J., H. Steinfeld, B. Henderson, A. Mottet, C. Opio, J. Dijkman, A. Falcucci, y G. Tempio, G. 2013. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería –Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma.
- Grandin, T. 2000. Handling and welfare of livestock in slaughter plants. In: Grandin (ed) *Livestock Handling and Transport*, 2nd edition, Wallingford, Oxon, UK, CAB International, pp. 409-439.
- Gunderson, J. A., M. C. Hunt, T. A. Houser, E. A. Boyle, M. E. Dikeman, D. E. Johnson, D. L. VanOverbeke, G. G. Hilton, C. Brooks, J. Killefer, D. M. Allen, M. N. Streeter, W. T. Nichols, J. P. Hutcheson, y D. A. Yates. 2009. Feeding zilpaterol hydrochloride to calf-fed Holsteins has minimal effects on semimembranosus steak color. *J Anim Sci.* 87: 3751-3763.
- Hale, D. S., Goodson, K., y Savell. 2013. USDA Beef Quality and Yield Grades. Department of Animal Science Texas A&M AgriLife Extension Service. Última consulta: 01 de septiembre de 2017. Disponible en: <https://meat.tamu.edu/beefgrading/>
- Hansen, P.J. 2004. Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Anim. Rep. Sci.* 82:349–360

- Hatefi, A., A. Towhidi, S. Zali, S. Zeinoaldini, M. Ganjkanlou, R. Masoudini, y A. Plascencia, A. 2015. Influence of dietary zilpaterol hydrochloride on feedlot performance, carcass traits, chemical composition of longissimus muscle, and plasma metabolites of castrated male goats. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*.
- Hilton G.G., J.L. Montgomery, C.R. Krehbiel, J. Cranston, D.A. Yates, J.P. Hutcheson, W.T. Nichols, M. Streeter, J.R. Blanton, y M.F. Mille. 2009. Dietary zilpaterol hydrochloride. IV. Carcass cutability and meat palatability of beef cattle with or without monesin and tylosin. *J Anim Sci*. 87: 1394-1406.
- Hilton, G. G. 2009. Effect of zilpaterol hydrochloride on fabrication yields of beef and calf-fed Holstein steer. Application of zilpaterol hydrochloride in the beef industry: Technical Symposium. Proc. 62nd Reciprocal Meats Conf., Rogers, AR.
- Holland, B. P., C. R. Krehbiel, G. G. Hilton, M. N. Streeter, D. L. VanOverbeke, J. N. Shook, D. L. Step, L. O. Burciaga-Robles, D. R. Stein, D. A. Yates, J. P. Hutcheson, W. T. Nichols, and J. L. Montgomery. 2010. Effect of extended withdrawal of zilpaterol hydrochloride on performance and carcass traits in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.* 88, 338–348.
- Holmer, S. F., D. M. Fernández-Dueñas, S. M. Scramlin, C. M. Souza, D. D. Boler, F. K. McKeith, J. Killefer, R. J. Delmore, J. L. Beckett, T. E. Lawrence, D. L. VanOverbeke, G. G. Hilton, M. E. Dikeman, J. C. Brooks, R. A. Zinn, M. N. Streeter, J. P. Hutcheson, W. T. Nichols, D. M. Allen, and D. A. Yates. 2009. The effect of zilpaterol hydrochloride on meat quality of calf-fed Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 87, 3730–3738
- Hope-Jones M., P. E. Strydom, L. Frylinck, e E. C. Webb. 2010. The efficiency of electrical stimulation to counteract the negative effects of β -agonists on meat tenderness of feedlot cattle. *Meat Sci* 86: 699-705.
- Huffman R.D., S.E. Williams, D.D. Hargrove, D.D. Johnson y T.T. Marshall. 1990. Effects of percentage Brahman and Angus breeding, age-season of feeding and slaughter endpoint on feedlot performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.*, 68, 2243-2252.
- INTERVET, Boletín Veterinario Zilmax®. 2005. Última consulta: 26 de abril de 2016, Disponible en: http://www.msd-salud-animal.mx/binaries/Bolet_n_T_cnico_Zilmax_tcm92-66507.pdf
- Jiménez, P. Efecto de los días de engorda, tipo racial y edad de los animales sobre la calidad organoléptica y composición de la carne de bovinos en México. [Tesis de maestría]. Ciudad

- de México (MX). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2014
- Johnson B.J., S.B. Smith, y K.Y. Chung. 2014. Historical Overview of the Effect of β -adrenergic Agonists on Beef Cattle Production. *Asian Australas J. Anim. Sci.* 27:757-766.
- Kellermeier, J. D., A.W. Tittor, J.C. Brooks, M.L. Galyean, D.A Yates, J.P. Hutcheson, W.T. Nichols, M.N. Streeter, B.J Johnson, y M.F. Miller. 2009. Effects of zilpaterol hydrochloride with or without an estrogen-trenbelone acetate terminal implant on carcass traits, retail cut-out, tenderness, and muscle fibre diameter in finishing steers. *J. Anim. Sci.* 7:3702–3711.
- Kononoff, P. J., P. J. Defoor, M. Engler, S. Swingle, S. T. James, H. M. Deobald, J. L. Deobald, and F. L. S. Marquess. 2013. Impact of a leptin single nucleotide polymorphism and zilpaterol hydrochloride on growth and carcass characteristics in finishing steers. *J. Anim. Sci.* 91, 5011–5017.
- Koohmaraie M. y D.H. Kretchmar. 1990. Comparisons of four methods for quantification of lysosomal cysteine proteinase activities. *J. Anim. Sci.*, 68, 2362-2370
- Koohmaraie M. y G. H. Geesink. 2006. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Sci.* 74:34–43.
- Koohmaraie M., J. Killefer, M.D. Bishop, S.D. Shackelford, T.L. Wheeler y J.R. Arbona. 1995. Calpastatine – based methods for predicting meat tenderness. In: A. Ouali, D. Demeyer, and F. Smulders (Ed). *Expression of Muscle Proteinases and regulation of protein degradation as related to meat quality.* 395-412.
- Koohmaraie, M. 1995. The biological basis of meat tenderness and potential genetic approaches for its control and prediction. *Proc. Rec. Meat Conf.*, 48: 69-75
- Koohmaraie, M. 1996. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Sci.*, 43: 193-201
- Koohmaraie, M., M.P. Kent, y S.D. Shakelford. 2002. Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship? *Meat Sci.* 62:354 352.
- Köppen, W. y R. G. München. 1936. Das geographische System der Klimate. *Borntraneger Science Publishers.* 35, 15-44.
- Lawrence, T. E., N. A. Elam, M. F. Miller, J. C. Brooks, G. G. Hilton, D. L. VanOverbeke, F. K. McKeith, J. Killefer, T. H. Montgomery, D. M. Allen, D. B. Griffin, R. J. Delmore, W. T. Nichols,

- M. N. Streeter, D. A. Yates, and J. P. Hutcheson. 2010. Predicting red meat yields in carcasses from beef-type and calf-fed Holstein steers using the United States Department of Agriculture calculated yield grade. *J. Anim. Sci.* 88, 2139–2143
- Lean, I. J., J. M. Thompson, and F. R. Dunshea. 2014. A meta-analysis of zilpaterol and ractopamine effects on feedlot performance, carcass traits and shear force strength of meat in cattle. *Plos One*, 9(12):e115904.
- Leheska, J. M., J. L. Montgomery, C. R. Krehbiel, D. A. Yates, J. P. Hutcheson, W. T. Nichols, M. Streeter, J. R. Blanton Jr., and M. F. Miller. 2009. Dietary zilpaterol hydrochloride. II. Carcass composition and meat palatability of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 87, 1384–1393.
- LeRoy, G. 1995. Environmental influences on feed intake and performance of feedlot cattle. In: Symposium: Intake by feedlot cattle. Oklahoma State University. Pp.207
- Leyva-García, I. A., F. Figueroa-Saavedra, E. Sánchez-López, C. Pérez-Linares, A. Barreras-Serrano. 2012. Economic impact of DFD beef in a Federal Inspection Type (TIF) slaughterhouse. *Arch Med Vet* 44, 39-42
- Lifschitz, A., Sallovitz, J., Imperiale, F., Pis, A., Jauregui Lorda, J., & Lanusse, C. 2004. Pharmacokinetic evaluation of four ivermectin generic formulations in calves. *Veterinary Parasitology*. 119: 247-257.
- Loneragan, GH., Thomson, DU., Scott, HM. 2014. Increased Mortality in Groups of Cattle Administered the β -Adrenergic Agonists Ractopamine Hydrochloride and Zilpaterol Hydrochloride. *PLoS ONE* 9(3): e91177
- López, Z. R., S. O. Argudín, y A. D. Anaya. 2003. Efecto de un β -adrenérgico solo y combinado, sobre aumento de peso, grasa dorsal y área de rib eye en ovinos Tabasco. *Memorias XXVII Congreso Nacional de Buiatría*. p 240-241.
- McKenna, D. R., D. L. Roeber, P. K. Bates, T. B. Schmidt, D. S. Hale, D. B. Griffin, J. W. Savell, J. C. Brooks, J. B. Morgan, T. H. Montgomery, K. E. Belk, and G. C. Smith. 2002. National Beef Quality Audit–2000: Survey of targeted cattle and carcass characteristics related to quality, quantity, and value of fed steers and heifers. *J. Anim. Sci.* 80:1212–1222.
- Marti, S., C. E. Realini, A. Bach, M. Pérez-Juan, and M. Devant. 2013. Effect of castration and slaughter age on performance, carcass, and meat quality traits of Holstein calves fed a high-concentrate diet. *J. Anim. Sci.*, 91, 1129–1140.

- Martínez M. N. y Riviere J. E. 1994. Review of the 1993 Veterinary Drug Bioequivalence Workshop. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics* 17:83-119.
- McEvers, T. J., W. T. Nichols, J. P. Hutcheson, M. D. Edmonds and T.E. Lawrence. 2012. Feeding performance, carcass characteristics, and tenderness attributes of steers sorted by the Igenity tenderness panel and fed zilpaterol hydrochloride. *J. Anim. Sci.* 90, 4140–4147.
- Mehaffey, J. M., J. C. Brooks, R. J. Rathmann, E. M. Alsup, J. P. Hutcheson, W. T. Nichols, M. N. Streeter, D. A. Yates, B. J. Johnson and M. F. Miller. 2009. Effect of feeding zilpaterol hydrochloride to beef and calf-fed Holstein cattle on consumer palatability ratings. *J. Anim. Sci.* 87, 3712–3721
- Méndez, R. D., C. O. Meza, J. M. Berruecos, P. Garces, E. J. Delgado, and M. S. Rubio. 2009. A survey of beef carcass quality and quantity attributes in Mexico. *J. Anim. Sci.* 87, 3782–3790
- Méndez, R.D., A.S. de Aluja, M.S. Rubio, y D. Braña. 2013. Bienestar animal para operarios en rastros de bovinos. Libro técnico 10. INIFAP, FMVZ, SAGARPA. 54pp
- Mersmann, H. 1998. Beta-Adrenergic Receptor Modulation of Adipocyte Metabolism and Growth, *Journal Animal Science*. 80 (Suppl. 1): E24-E29.
- Mersmann, H. J. (2002). Beta-adrenergic receptor modulation of adipocyte metabolism and growth. *J. Anim. Sci.* 80(Suppl. 1):E24–E29.
- Miller M.F., D.K. Garcia, M.E. Coleman, P.A. Ekeren, D.K. Lunt, K.A. Wagner, M. Procknor, T.H. Jr. Welsh, y S.B. Smith. 1988. Adipose tissue, longissimus muscle and anterior pituitary growth and function in clenbuterol- fed heifers. *J. Anim Sci.* 66: 12- 20.
- Miller M.F., M.A. Carr, C.B. Ramsey, K.L. Crockett y L.C. Hoover. 2001. Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness. *J. Anim. Sci.* 79:3062–3068
- Miller, E. K., K. Y. Chung, J. P. Hutcheson, D. A. Yates, S. B. Smith, and B. J. Johnson. 2012. Zilpaterol hydrochloride alters abundance of β -adrenergic receptors in bovine muscle cells but has little effect on de novo fatty acid biosynthesis in bovine subcutaneous adipose tissue explants. *J. Anim. Sci.* 90, 1317–1327.
- Mills, S. E. 2002. Biological basis of the ractopamine response. *J. Anim. Sci.* 80(E. Suppl. 2): E28–E32.
- Mohammadi, M., M. Abazari, y M. Nourozi. (2006). Effects of two beta-adrenergic agonists on adipose tissue, plasma hormones and metabolites of moghani ewes. *Small Rumin. Res.* 63:84-90.

- Moloney A.P., P. Allen, D.B. Ross, G. Olson, y E.M. Convey. (1990). Growth, feed efficiency and carcass composition of finishing Friesian steers fed the β -adrenergic agonist L-644,969. . *J. Anim Sci.* 68: 1269- 277.
- Moloney, A.P., P. Allen, R.L. Joseph, P.V Tarrant, Y E.M Convey. (1994). Carcass and meat quality of finishing Friesian steers the β -adrenergic agonist L-644,969. *Meat Science.* 38:419–432.
- Mondragón A.J., I. A. Dominguez-Vara, J. M. Pinos-Rodriguez, M. Gonzalez, J. L. Borquez, A. Dominguez, y M. L. Mejia. 2010. Effects of feed supplementation of zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass traits of finishing lambs. *Acta Agriculturae Scand Section A.* 60: 47 – 52.
- 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.*
- Monsón, F., C. Sañudo, G. Bianchi, P. Albertí, A. Herrera, Y A. Ariño. 2007. Carcass and meat quality of yearling bulls as affected by the use of clenbuterol and steroid hormones combined with dexamethasone. *J Muscle Foods.* 18: 173-185.
- Montgomery, J. L., C. R. Krehbiel, J. J. Cranston, D. A. Yates, J. P. Hutcheson, W. T. Nichols, M. N. Streeter, R. S. Swingle, and T. H. Montgomery. 2009b. Effects of dietary zilpaterol hydrochloride on feedlot performance and carcass characteristics of beef steers fed with and without monensin and tylosin. *J. Anim. Sci.* 87, 1013–1023.
- Montgomery, J. L., C. R. Krehbiel, J. J. Cranston, D. A. Yates, J. P. Hutcheson, W. T. Nichols, M. N. Streeter, D. T. Bechtol, E. Johnson, T. TerHune, y T. H. Montgomery. 2009a. Dietary zilpaterol hydrochloride. I. Feedlot performance and carcass traits of steers and heifers. *J Anim Sci.* 87: 1374-1383.
- Moody, D. E., D. L. Hancock, y D. B. Anderson. (2000). Phenethanolamine repartitioning agents. In: J. P. F. D'Mello (ed.) *Farm animal metabolism and nutrition.* p 65-96. CAB International, WallingfordOxon, UK.
- Mounier L., Dubroeuq H., Andanson S., Veissier I. (2006). Variations in meat pH of beef bulls in relation to conditions of transfer to slaughter and previous history of the animals. *J Anim Sci* 84:1567–76.
- Norma Mexicana-NMX-FF-078-SCFI-2002, Productos pecuarios- Clasificación de Bovinos en canal. *Diario Oficial de la Nación, SAGARPA.* México.

- Norma Oficial Mexicana-NOM-009-ZOO-1994, Proceso sanitario de la carne, *Diario Oficial de la Nación*, SAGARPA. México.
- Norma Oficial Mexicana- NOM-033-SAG/ZOO-2014, Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. *Diario Oficial de la Nación*, SAGARPA. México.
- Norma Oficial Mexicana-NOM-008-ZOO-1994, Especificaciones zoosanitarias para la construcción y equipamiento de establecimientos para el sacrificio de animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos, en rastros Tipo Inspección Federal (TIF), *Diario Oficial de la Nación*, SAGARPA. México.
- Norma Oficial Mexicana-NOM-061-ZOO-1999. Especificaciones zoosanitarias de los productos alimenticios para consumo animal. *Diario Oficial de la Nación*, SAGARPA. México.
- Norma Oficial Mexicana-NOM-EM-015-ZOO-2002. Especificaciones técnicas para el Testigo del uso de beta-agonistas en los animales. *Diario Oficial de la Nación*, SAGARPA. México, D.F.
- Norris, R. T., R. B. Richards, J. H. Creeper, T. F. Jubb, B. Maddin, y J. W. Kerr. 2003. Cattle deaths during sea transport from Australia. *Aust. Vet. J.* 81:156–161.
- Nourozi, M., M. Abazari, M. Raisianzadeh, M. Mohammadi, y A. ZareShahne. 2005. Effect of terbutaline and metaproterenol (two beta-adrenergic agonists) on performance and carcass composition of culled Moghani ewes. *Small Rumin. Res.* 74: 72–77.
- NRC, 1985. Nutrient Requirements of Sheep (6th Revised Ed.). *National Academy Press*, Washington, D.C. 99 p.
- NRC. (1981). Effect of environment on nutrient requirements of domestic animals. BARR comm. on Animal Nutrition, Board on Agriculture National Research Council. National Academy Press, Washington, DC.
- Nunes, F. J. Restle, R. Zambarda, I. L. Brondani, R. A. Carvalho, y C. Faturi. (2002). Efeitos de Raça e Heterose na Composição Física da Carcaça e na Qualidade da Carne de Novilhos da Primeira Geração de Cruzamento entre Charolês e Nelore. *R. Bras. Zootec.* (Suppl. 1) 31:376-386
- O'Connor S.F., J.D. Tatum, D.M. Wulf, R.D. Green y G.C. Smith. 1997. Genetic effects of beef tenderness in *Bos indicus* composite and *Bos taurus* cattle. *Meat Sci.*, 75, 1822-1830.
- O'Neill HA. The effects of zilpaterol hydrochloride on N- requirements and the quality and nutritional value of meat components. [Tesis de maestría]. University of Pretoria, Pretoria, South Africa. 2001

- O'Neill, M. E. and K. Mathews. 2000. A weighted least squares approach to Levene's test of homogeneity of variance. *J. Statist.* 42, 81–100
- OECD/FAO. 2015. OECD Agriculture Statistics (database). Última revisión 29 de noviembre de 2016, disponible en: <http://dx.doi.org/10.1787/agr-outl-data-en>.
- Parr, S. L., K. Y. Chung, M. L. Galyean, J.P. Hutcheson, N. Di Lorenzo, K. E Hales and B. J. Johnson. 2010. Performance of finishing beef steers in response to anabolic implant and zilpaterol hydrochloride supplementation. *J. Anim. Sci.* 89, 560–570.
- Plascencia, A., N. Torrentera, and R. A. Zinn. 1999. Influence of the β -agonist, zilpaterol, on growth performance and carcass characteristics of feedlot steers. *Proc. West. Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 77(1):114. (Abstr.)
- Pringle T., CR. Calkins CR, M. Koohmaraie and SJ Jones. 1993. Effects over time of feeding a beta-adrenergic agonist to wether lambs on animal performance, muscle growth, endogenous muscle proteinase activities, and meat tenderness. *J Anim Sci.* 71, 636–644.
- Pringle T.D., S.E. William, B.S. Lamb, D.D. Johnson y R.L. West. 1997. Carcass characteristics, the calpain proteinase system, and aged tenderness of Angus and Brahman crossbred steers. *J. Anim. Sci.*, 75, 2955-2961.
- Quinn, M.J., C.D. Reinhardt, E.R. Loe, B.E. Deppenbusch, M.E. Corrigan, M.L. May, y J.S. Drouillard. (2008). The effects of ractopamine-hydrogen chloride (Optaflexx) on performance, carcass characteristics, and meat quality of finishing feedlot heifers. *J. Anim. Sci.* 86:902-908.
- Quirke J.F., P. Allen, A.P. Moloney, M. Sommer, J.P. Hanrahan, W. Sheehan y J.F. Roche. (1988). Effect of beta-agonist cimaterol on blood metabolite and hormone concentrations, growth and carcass composition in finishing Friesian steers. *J. Anim. Physiology and Animal Nutrition* (Berl.). 60: 128- 136.
- Radunz A.E. (2011). Use of beta-agonists as a growth promoting feed additive for finishing beef cattle. University of Wisconsin Beef Information Center. Última consulta: 29 de febrero de 2017. Disponible en: <http://fyi.uwex.edu/wbic/>.
- Rathmann, R. J., J. M. Mehaffey, T. J. Baxa, W. T. Nichols, D. A. Yates, J. P. Hutcheson, J. C. Brooks, B. J. Johnson, and M. F. Miller. 2009. Effects of duration of zilpaterol hydrochloride and days on the finishing diet on carcass cutability, composition, tenderness and skeletal muscle gene expression in feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 87, 3686–3701.

- Ricks, C., P. Baker and R. Dlymple. 1984. Use of Repartitioning Agents to Improve Performance and Body Composition of Meat. *Animals. Reciprocal Meat Conference Proceedings*, 37, 5-11
- Robles- Estrada J.C., A.A. Arrizon, A. Barreras, J.F. Calderon, F. Fiqueroa- Saavedra, N. Torrentera, A. Plascencia, y R.A. Zinn. 2009. Effects of preslaughter withdrawal period on response of feedlot heifers to zilpaterol hydrochloride supplementation: Growth performance and carcass characteristics. *J Anim Sci*. 87: 1759- 1763.
- Rogers, H. R., J. C. Brooks, M. C. Hunt, G. G. Hilton, D. L. VanOverbeke, J. Killefer, T. E. Lawrence, R. J. Delmore, B. J. Johnson, D. M. Allen, M. N. Streeter, W. T. Nichols, J. P. Hutcheson, D. A. Yates, J. N. Martin, e M. F. Miller. 2010. Effects of zilpaterol hydrochloride feeding duration on beef and calf-fed Holstein strip loin steak color. *J Anim Sci*. 88:1168-1183
- Rubio, M. S., R. D. Mendez, and N. Huerta-Leidenz. 2007. Characterization of beef semimembranosus and adductor muscles from US and Mexican origin. *Meat Sci*. 76:438–443.
- SAGARPA. (2004). Situacion Actual y Perspectiva de la Producción de Carne de Bovino. Última revisión 29 de noviembre de 2016, disponible en: www.sagarpa.gob.mx/Dgg/estudio/sitbov04.pdf
- Salinas, C. J., M. M. Domínguez, M. R. Díaz, B. P. Cruz, G. M. F. Montaña, y A. C. Arzola. 2006. Effect of duration of zilpaterol hydrochloride treatment on carcass characteristics and weight Gain in grazing Pelibuey lambs, *J. Appl. Anim. Res.* 29.
- Salinas, C. J., R. G. Ramirez, M. Dominguez-Muñoz, R. Palomo-Cruz, y V.H. López-Acuña. 2004. Influence of zilpaterol hydrochloride on growth and carcass characteristics of Pelibuey lambs. *J. Appl. Anim. Res.* 26: 13–16.
- Schiavetta, A. M., M. F. Miller, D. K. Lunt, S. K. Davis, y S. B. Smith. (1990). Adipose tissue cellularity and muscle growth in young steers fed the beta-adrenergic agonist clenbuterol for 50 days and after 78 days of withdrawal. *J. Anim. Sci.* 68: 3614-3623.
- Schroeder A.L., D.M. Polser, S.B. Laudert, y G.L. Vogel. 2003. Effect of Optaflexx on sensory properties of beef. Optaflexx Exchange No. 3. Elanco Animal Health, Greenfield, IN.
- Schroeder, A., D. Hancock, D. Mowrey, S. Laudert, G. Vogel, y D. Polser. 2005a. Dose titration of Optaflexx® (ractopamine HCl) evaluating the effects on composition of carcass soft tissues in feedlot heifers. *J. Anim. Sci.* 83, Suppl. 1/J. Dairy Sci. 88, Suppl. 1: 114-172.

- Shackelford S.D., J.B. Morgan, H.R. Cross, y J.W. Savell. 1991. Identification of threshold levels for Warner-Bratzler shear force in beef top loin steaks. *J. Muscle Foods*.2:289–296.
- Shackelford, S. D., J. W. Edwards, E. K. Smarr, y J. W. Savell. 1992. Retail cut yields of Rambouillet wether lambs fed the β -adrenergic agonist L-644,969, *J. Anim. Sci.* 70:161-168.
- Shapiro, S. S and M. B. Wilk. 1965. An Analysis of Variance Test for Normality. *Biometrika*, 52, 591-611.
- Shelver W.L. y D.J. Smith. 2006. Tissue residues and urinary excretion of zilpaterol in sheep treated for 10- days with dietary zilpaterol. *J. Agriculture and Food Chemistry*.54:4155-4161.
- Shook, J. N., D. L. VanOverbeke, L. A. Kinman, C. R. Krehbiel, B. P. Holland, M. N. Streeter, D. A. Yates, and G. G. Hilton. 2009. Effects of zilpaterol hydrochloride and zilpaterol hydrochloride withdrawal time on beef carcass cutability, composition, and tenderness. *J. Anim. Sci.* 87:3677–3685.
- Sillence, M. N., y M. L. Matthews. 1994. Classical and atypical binding sites for beta-adrenoceptor ligands and activation of adenylyl cyclase in bovine skeletal muscle and adipose tissue membranes. *Br J Pharmacol.* 111: 866-872.
- Smith, G.C. y Z.L. Carpenter. 1974. Eating quality of animal products and their fat content. Proceedings of the Symposium on Changing the Fat Content and Composition of Animal Products. Washington D. C. *National Academy of Science*.
- Smith, S. B., D. K. Garcia, S. K. Davis, y D. B. Anderson. 1989. Elevation of a specific mRNA in longissimus muscle of steers fed ractopamine. *J Anim. Sci.* 67: 3495-3502.
- Smith, S. B., S. K. Davis, J. J. Wilson, R. T. Stone, F. Y. Wu, D. K. Garcia, D. K. Lunt, and A. M. Schiavetta. 1995. Bovine fast-twitch myosin light chain 1: Cloning and mRNA amount in muscle of cattle treated with clenbuterol. *Am. J. Physiol.* 268, E858–E865.
- Stackhouse-Lawson, K.R., C.B. Trucker, M.S. Calvo-Lorenzo, y F. M. Mitloehner. 2015. Effects of growth-promoting technology on feedlot cattle behavior in the 21 days before slaughter. *Appl. Anim. Behav. Sci* 162:1-8
- Stoller, G. M., H. N. Zerby, S. J. Moeller, T. J. Baas, C. Johnson, y L. E. Watkins 2003. The effect of feeding ractopamine (Paylean) on muscle quality and sensory characteristics in three diverse genetic lines of swine, *J. Anim. Sci.* 81. American Society of Animal Science.

- Strange E.D., Benedict R.C., Gugger R.E., Metzger V.G., Swift C.E. 1974. Simplified methodology for measuring meat color. *J Food Sci* 39:988–992.
- Strydom, P. E., L. Frylinck, J. L. Montgomery, y M. F. Smith. 2009. The comparison of three beta-agonists for growth performance, carcass characteristics and meat quality of feedlot cattle. *Meat Sci.* 81: 557-564.
- Suárez, G., Alvarez, L., Castells, D., Correa, O., Fagiolino, P., y Lanusse C. 2013. Relative bioavailability and comparative clinical efficacy of different ivermectin oral formulations in lambs. *BMC Veterinary Research*, 9:27
- Sumano L.H., C.L. Ocampo, O.L. Gutiérrez. 2002. Clembuterol y otros β -agonistas, ¿una opción para la producción pecuaria o un riesgo para la salud pública? *Vet. Mex.* 33:137-159.
- Timmerman H. 1987. β –adrenergics: Physiology, Pharmacology, Applications, Structures and Structure-Activity Relation Ships. In: J. P. Hanrahan (ed.). Beta-agonist and their Effects on Animal Growth and Carcass Quality. *Elsevier Applied Science. London.* 13-23
- Timmerman H. 1987. β –adrenergics: Physiology, Pharmacology, Applications, Structures and Structure-Activity Relation Ships. In: J. P. Hanrahan (ed.). Beta-agonist and their Effects on Animal Growth and Carcass Quality. *Elsevier Applied Science. London.* 13-23
- USDA. U.S. Department of Agriculture. 1997. United States Standards for Grades of Carcass Beef. USDA Agric. Marketing Serv., Livest. Seed Div., Washington, DC.
- USMEF. U.S. Meat Export Federation. 2017. Explicación del sistema de clasificación de canales USDA. Última revisión 29 de mayo de 2017, disponible en: <http://usmef.org.mx/USmeat2/PDFs/Handout%204%20CLASIFICACION%20USDA.pdf>
- Van Liefde, I., A. Van Ermen, A. van Witzenburg, N. Fraeyman, y G. Vauquelin. 1994. Species and strain-related differences in the expression and functionality of beta-adrenoceptor subtypes in adipose tissue. *Arch Int Pharmacodyn Ther.* 327: 69-86.
- VanOverbeke, D. L., G. G. Hilton, J. Green, M. Hunt, C. Brooks, J. Killefer, M. N. Streeter, J. P. Hutcheson, W. T. Nichols, D. M. Allen, y D. A. Yates. 2009. Effect of zilpaterol hydrochloride supplementation of beef steers and calf-fed Holstein steers on the color stability of top sirloin butt steaks. *J. Anim Sci.* 87: 3669-3676.
- Vestergaard, M., K. Sejrsen, y S. Klastrup. 1994. Growth, composition and eating quality of Longissimus dorsi from young bulls fed the β –agonist cimaterol at consecutive developmental stages. *Meat Sci.* 38: 55-66.

- Wang, S. Y., y D. H. Beermann. 1988. Reduced calcium-dependent proteinase activity in cimaterol-induced muscle hypertrophy in lambs. *J Anim Sci.* 66: 2545-2550.
- Warris, P.D. 2000. The handle of cattle preslaughter and is effects on carcass and meat quality. *Applied Animal Behaviour Science.* 28:171-186.
- Welfare Quality® 2009. Welfare Quality® assessment protocol for cattle. Welfare Quality® Consortium, Lelystad, Netherlands.
- Wheeler T.L., L.V. Cundiffy R.M. Koch. 1994. Effect of marbling degree on beef palatability in *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. *J. Anim. Sci.*, 72, 3145-3151.
- Wheeler, T. L., y M. Koohmaraie. 1992. Effects of the b-adrenergic agonist L-644,969 on muscle protein turnover, endogenous proteinase activities, and meat tenderness in steers. *J. Anim. Sci.* 70:3035–3043.
- Wulf, D.M., Emmett, R.S., Leheska, J.M., y Moeller, S.J. 2002. Relationships among glycolitic potential, dark cutting (dark, firm and dry) beef, and cooked beef palatability. *J Anim Sci.* 80, 1895-1903.
- Yang, Y. T., y M. A. McElligott. 1989. Multiple actions of the β -adrenergic agonists on skeletal muscle and adipose tissue. *Biochem. J.* 261, 1–10.
- Zorrilla-Rios, J.M., Lancaster, P. A., Goad, C. L., Horn, G. W., Hilton, G. G., y Galindo, J. G. 2013. Quality evaluation of beef carcasses produced under tropical conditions of México. *J. Anim. Sci.* 91:477–482

9. ANEXO I

Cuadro 9.1. Ingredientes y composición química de la dieta de finalización, en materia seca (MS).

Ingredientes	Tratamiento ¹		
	Control	CZg	CZr
Clorhidrato de zilpaterol, mg/kg MS	0.00	7.5	7.5
Ingredientes, % MS			
Pasta de soya	0.5	0.5	0.5
Grano seco de destilería	14	14	14
Melaza	6	6	6
Sebo	3	3	3
Maíz rolado	61	61	61
Ensilado de maíz	5	5	5
Paja de cebada	8	8	8
Premezcla mineral	2.5	2.5	2.5
Composición química²			
Materia Seca, %	80.9	80.9	80.9
Proteína Cruda, %	14	14	14
Extracto etéreo, %	6.6	6.6	6.6
FDN, %	18.4	18.4	18.4
FDA, %	11.46	11.46	11.46
Cenizas, %	4.6	4.6	4.6
EN _m , Mcal/kg MS	2.15	2.15	2.15
EN _g , Mcal/kg MS	1.5	1.5	1.5

¹Dieta base sin (Control) y con clorhidrato de zilpaterol (CZg, Zipamix® (Laboratorios Pisa Agropecuaria México, Guadalajara, Mexico; CZr, Zilmax (MSD Salud Animal México, Ciudad de México, México).

²EN_m y EN_g fueron calculadas usando las ecuaciones propuestas por NRC (2000).

Cuadro 9.2. Determinación del grado de calidad USDA de la canal, utilizando la puntuación de marmoleo y la madurez fisiológica.

		Puntuación de madurez fisiológica				
		A	B	C	D	E
Puntuación de marmoleo	Lig. abundante	Prime ⁻	Prime ⁻	Comercial ⁺	Comercial ⁺	Comercial [°]
	Moderado	Choice ⁺	Choice ⁺	Comercial ⁺	Comercial [°]	Comercial ⁻
	Modesto	Choice [°]	Choice [°]	Comercial [°]	Comercial ⁻	
	Ligero	Choice ⁻	Standard ⁺	Comercial ⁻		
	Poco ⁵⁰	Select ⁺	Standard ⁺			
	Poco ⁰⁰	Select ⁻	Standard ⁺			
	Trazas	Standard ⁺	Standard ⁺			
	Prácticamente nada	Standard ⁻	Standard ⁻			

Adaptado de Hale *et al.*, 2013

Cuadro 9.3. Criterios para evaluar las canales de res de acuerdo con la norma NMX-FF-078-SCFI-2002 (Secretaría de Economía, 2002)

	Criterios				
	Suprema	Selecta	Estándar	Comercial	Fuera de clasificación
Madurez, meses	< 24	25 – 30	31 – 36	37 – 48	> 49
Conformación	Músculo del lomo sobrepasando las apófisis transversales de las vértebras torácicas y lumbares y una un perfil convexo de la vista lateral y frontal de la parte trasera de la canal	Músculo del lomo cubriendo las apófisis transversales de las vértebras torácicas, y un perfil convexo en la vista lateral de la parte trasera de la canal	Músculo del lomo liso y perfil recto de la parte trasera de la canal en su vista lateral	Lomo y parte trasera de la canal con forma cóncava	Ninguna
Color carne, (Sistema Pantone)	Rojo cereza (Código 186C)	Rojo cereza (Código 186C) a Rojo intenso (Código 1805)	Rojo intenso (Código 1805) a Rojo opaco (188C)	Rojo intenso (Código 1805) a Rojo opaco (188C)	Ninguna
Colorgrasa (Sistema Power point)	Blanca (255-255-255)	Blanca a ligeramente crema (255-255-255 a 210)	Ligeramente crema a ligeramente amarillo (255-255-210 a 200)	Amarillo aceptable (255-255 y menor a 200)	Ninguna
Distribución de grasa subcutánea	Uniforme en el lomo, costillas y perfil trasero	Uniforme en el lomo, costillas y perfil trasero	No distribuida uniformemente	> 30% sin grasa de cobertura	Ninguna

Adaptado de NMX-FF-078-SCFI-2002

Cuadro 9.4. Determinación del tipo racial de las canales evaluadas, en base al área de la giba (Romboides cervical)

Tipo racial	Área de giba (cm ²)
≤ ¼ <i>Bos indicus</i>	< 250
½ <i>Bos Indicus</i>	250 - 334
¾ <i>Bos indicus</i>	334 - 424
<i>Bos indicus</i> puro	> 424

Adaptado de Jiménez, 2014

Figura 9.5. Evaluación sensorial de carne de res, juzgada por consumidores



Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Laboratorio de Ciencia de la Carne
FORMATO DE EVALUACIÓN SENSORIAL



CARNE DE RES

GRACIAS POR PARTICIPAR. TU TIEMPO Y TU OPINIÓN SON MUY VALIOSOS PARA NUESTRA INVESTIGACIÓN. Por favor, proporcione los datos que a continuación se solicitan, marcando con una (X):

Edad	Género	Usted consume carne de res:
<30 ()	Femenino ()	1-2 veces por semana ()
31-50 ()	Masculino ()	1-2 veces por mes ()
>50 ()		≤ 1 vez por mes ()

A continuación se le presentan tres muestras de carne de res en un plato, cada una con un número. Por favor, evalúe cada muestra por separado. Antes de comenzar coma un poco de galleta y enjuague su boca con agua. Ahora comience la prueba, escriba el número de la muestra y luego indique el nivel de agrado para cada una de las características que se indican en el cuadro, marcando con una (X) en el lugar que corresponda. Al cambiar de muestra coma un poco de galleta y enjuague su boca con agua.

Muestra No.: _____



Nivel de agrado	Olor	Sabor	Suavidad	Jugosidad	Agrado general
1. Me disgusta mucho					
2. Me disgusta moderadamente					
3. Me disgusta ligeramente					
4. Ni me gusta ni me disgusta					
5. Me gusta ligeramente					
6. Me gusta moderadamente					
7. Me gusta mucho					