



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRIA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES**

**EFFECTO DE LA COMPLEMENTACIÓN DIETARIA DEL
CLORHIDRATO DE ZILPATEROL Y SU INTERACCIÓN CON ZINC
Y CROMO ORGÁNICOS EN LA RESPUESTA PRODUCTIVA,
CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y CALIDAD DE LA CARNE DE
BOVINOS Y OVINOS EN ENGORDA INTENSIVA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES**

**PRESENTA:
MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ GAXIOLA**

El cerrillo Piedra Blancas, Toluca, Estado de México; diciembre de 2015



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRIA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES**

**EFFECTO DE LA COMPLEMENTACIÓN DIETARIA DEL
CLORHIDRATO DE ZILPATEROL Y SU INTERACCIÓN CON ZINC
Y CROMO ORGÁNICOS EN LA RESPUESTA PRODUCTIVA,
CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y CALIDAD DE LA CARNE DE
BOVINOS Y OVINOS EN ENGORDA INTENSIVA**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES**

**PRESENTA:
MIGUEL ÁNGEL RODRÍGUEZ GAXIOLA**

COMITÉ DE TUTORES

**TUTOR ACADÉMICO
Dr. IGNACIO ARTURO DOMÍNGUEZ VARA**

**TUTORES ADJUNTOS
Dr. RUBEN BARAJAS CRUZ
Dra. MARIA ANTONIA MARIEZCURRENA BERASAIN**

El cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México; diciembre de 2015

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi trayecto profesional, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres, Miguel Ángel Rodríguez Rodríguez y Juana Gaxiola Camacho, por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis hermanos, por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar.

Gracias a mi esposa, Marbeth Aguilar, por ser una parte muy importante de mi vida, por haberme apoyado en las buenas y en las malas, por creer en mí, por motivarme a seguir adelante en los momentos de desesperación, sobre todo por su paciencia y amor incondicional. T. A.

Gracias a mi hijo, Ángel Saúl Rodríguez Aguilar, por su apoyo, su cariño y su amor incondicional que me motivaron día a día para salir adelante y echarle más ganas a todo este proyecto, por ser la principal razón de culminar esta etapa profesional y darle una mejor calidad de vida.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mis profesores. Por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

Gracias, Dr. Ignacio Domínguez y Dr. Rubén Barajas, por creer en mí, y haberme brindado la oportunidad de desarrollar mi tesis doctoral, y por todo el apoyo y facilidades que me otorgaron. Por darme la oportunidad de crecer profesionalmente y aprender cosas nuevas.

A mis amigos por confiar y creer en mí, y por haber hecho de mi etapa profesional un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

Le agradezco la oportunidad, por el espacio brindado, a la Ganadera los Migueles, y al MVZ Billy Josué Cervantes Pacheco, por permitirme realizar el trabajo de experimentación en sus instalaciones.

Al Dr. Ignacio Contreras por el tiempo, recursos y espacio brindado.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UAEM, por la oportunidad brindada.

Al CONACyT, por la beca otorgada para la realización de mis estudios.

DEDICATORIA

La Presente tesis se la dedico a mi familia que gracias a su apoyo pude concluir mi doctorado.

A Dios por haberme concedido la bendición de la vida y brindado la fortaleza necesaria para poder culminar este proyecto.

A mi esposa e hijo por su apoyo incondicional y confianza en todo lo necesario para cumplir mis objetivos como persona y estudiante.

A mis padres por brindarme los recursos necesarios y estar a mi lado apoyándome y aconsejándome siempre.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome.

A mi tía Soila Maribel Gaxiola Camacho por su apoyo, cariño y consejos para poder cumplir mis objetivos en todo el trayecto de mi preparación profesional.

A mis tutores por su paciencia, comprensión y enseñanza que me brindaron a lo largo de esta trayectoria.

A todos mis familiares y amigos que de una u otra manera me han llenado de sabiduría para poder realizar la tesis.

A todos en general por brindarme el tiempo necesario que necesite en su momento para realizarme profesionalmente.

Resumen experimento 1

Sesenta toretes con un peso promedio de 314.70 ± 16.17 kg fueron usados en un experimento en engorda intensiva para evaluar el efecto de la suplementación de clorhidrato de zilpaterol (CZ) y metionina de zinc (ZM) sobre la respuesta productiva y características de la canal. El diseño experimental fue en bloques completos al azar, con arreglo factorial 2 x 2 de tratamientos (CZ 0 y $0.15 \text{ mg kg PV}^{-1} \text{ día}^{-1}$; ZM 0 y 80 mg kg^{-1}). El CZ incrementó ($P < 0.05$) el peso final (PF), ganancia diaria de peso (GDP), conversión alimenticia (CA), rendimiento en canal (RC) y área del *longissimus thoracis* (ALD). Se encontró interacción efecto ($P < 0.01$) de la interacción CZ x ZM para espesor de grasa dorsal (EGD) y grasa intramuscular (GI). El CZ aumentó ($P < 0.02$) el contenido de proteína cruda (PC) y la pérdida por cocción (PPC). El CZ incrementó el rendimiento productivo, rendimiento en canal, área del *longissimus thoracis* y contenido de proteína de la carne, pero la suplementación de ZM con CZ en la dieta para bovinos en engorda intensiva no mostró efecto adicional. La explicación para el efecto negativo de la interacción CZ x ZM en la disminución del EGD y GI no están claros, lo cual implica que nuestros conocimientos de las sustancias beta agonistas y su interacción con minerales es incompleta todavía.

Palabras claves: Bovinos, Engorda, Clorhidrato de Zilpaterol, Metionina de zinc

Resumen experimento 2

Se utilizaron veintiocho corderos Rambouillet (27.85 ± 2.91 kg) en un experimento de 74 d para evaluar la influencia de la suplementación de clorhidrato de zilpaterol (CZ) y levadura enriquecida con Cr (LCR) en el rendimiento productivo, características de la canal y la composición del músculo *longissimus thoracis*. Los corderos se pesaron y asignaron individualmente en corrales de 1.2 x 2.5 m con piso de concreto. Fueron asignados al azar a cuatro tratamientos de la siguiente manera: 1) Dieta basal (DB; Testigo) con 85% de concentrado, 13.9% de PC y 7.83 MJ ENm kg⁻¹ MS; 2) DB más la adición de 0.2 mg de clorhidrato de zilpaterol kg⁻¹ PV durante los últimos 28 d de engorda (CZ); 3) DB más 0.3 mg de Cr kg⁻¹ MS (LCR); y 4) DB más CZ y LCR (CZCr). El CZ se añadió como Zilmax® (Merck Salud Animal) y el Cr se suministró como levadura enriquecida con Cr BioChrome® (Alltech). Los resultados fueron analizados como un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2 de tratamientos. El corral con cada ovino fue la unidad experimental; los datos se analizaron por covarianza, utilizando el peso inicial como covariable asociada. El peso final tendió ($P = 0.10$) a incrementarse por la suplementación con CZ. La ganancia diaria de peso tendió ($P = 0.07$) a ser mayor para los corderos en el tratamiento con CZ. El consumo de materia seca no fue afectado por los tratamientos ($P > 0.20$). La relación ganancia/alimento se incrementó ($P = 0.02$) en 11% por la suplementación con CZ. La suplementación de levadura-Cr no modificó ($P > 0.20$) el rendimiento de los corderos en engorda. El peso de la canal caliente tendió a aumentar ($P = 0.10$) con la suplementación de CZ. El espesor de la grasa dorsal tendió a aumentar ($P = 0.10$) con el uso de Cr. El ancho y perímetro de la grupa se incrementaron con la adición de CZ ($P < 0.01$). La grasa intramuscular disminuyó ($P = 0.03$) y la fuerza de corte aumentó ($P < 0.01$) por el CZ. La proporción de ácido linoleico en la grasa del lomo se incrementó ($P < 0.01$) por el CZ. Se concluye que la suplementación con clorhidrato de zilpaterol contribuye a aumentar el peso de la canal y disminuir el contenido de grasa de la carne, pero reduce su terneza. La Levadura-Cr no afectó las características de la canal o calidad de la carne.

Palabras clave: Cromo, Corderos, Crecimiento, Engorda, Canales, Carne, Zilpaterol.

Abstract experiment 1

Sixty beef bullock with 314.70 ± 16.17 kg live weight (LW) were used in a feedlot experiment to evaluate the effect of the supplementation of zilpaterol hydrochloride (ZH) and zinc methionine (ZM) on the growth performance and carcass characteristics. The experimental design was a randomized complete blocks, with a factorial 2 x 2 arrangement of treatments (ZH 0 and $0.15 \text{ mg kg}^{-1} \text{ LW day}^{-1}$; ZM 0 and 80 mg kg^{-1}). The ZH increased ($P < 0.05$) the final live weight (FLW), average daily gain (ADG), feed conversion (FC), carcass yield (CY) and *longissimus thoracis* area (LDA). Interaction of ZH x ZM ($P < 0.01$) was observed for the back fat thickness (BFT) and intramuscular meat fat (IMF). ZH increased ($P < 0.02$) the meat crude protein content (CP) and cooking loss (CL). In this study, ZH feeding improved growth performance, carcass yield, *longissimus thoracis* area, and meat protein content; but inclusion of ZM and ZH in diets for feedlot cattle did not have any effect. The explanation for the negative effect of the interaction of ZH x ZM in depressing BFT and IMF is unclear, which implies that our knowledge of beta agonists and their interactions with minerals is incomplete yet.

Key words: Beef, Zilpaterol Hydrochloride, Zinc Methionine,

Abstract experiment 2

Twenty eight Rambouillet cross lambs (27.85 ± 2.91 kg) were used in a 74 d feedlot experiment to evaluate the effect of zilpaterol hydrochloride (ZH) and enriched-Cr yeast supplementation (YCr) on its remover performance, carcass characteristics, and *longissimus thoracis* muscle composition. Lambs were weighed and individually allotted in 1.2 x 2.5 m concrete floor pens. They were randomly assigned to each of four treatments as follows: 1) Basal diet (BD; Control) with 85% concentrate, 13.9% CP and 7.83 MJ NEm kg^{-1} DM; 2) BD added with 0.2 mg of ZH kg^{-1} BW during the last 28 d in the feedlot (ZH); 3) BD plus 0.3 mg of Cr kg^{-1} DM (YCr); and 4) BD plus ZH and YCr (ZHCr). ZH was added as Zilmax® (Merck Animal Health), and Cr was supplied as enriched-Cr yeast BioChrome®(Alltech). Results were analyzed as a completely randomized design with a 2 x 2 factorial arrangement of treatments. Pen was the experimental unit; it was used the initial weight of lambs as the associated covariable. Final body weight tended ($P = 0.10$) to be increased by ZH supplementation. Average daily weight gain tended ($P = 0.07$) to be higher for lambs with ZH. Dry matter intake was not affected ($P > 0.20$) by treatments. Feed efficiency was increased ($P = 0.02$) in 11% by ZH supplementation. YCr supplementation did not modify ($P > 0.20$) the performance of lambs. Hot carcass weight tended ($P = 0.10$) to increase by ZH. Back fat thickness tended ($P = 0.10$) to be increased by the YCr supplementation. Hindquarters width and perimeter were augmented ($P < 0.01$) by the use of ZH. Meat-fat decreased ($P = 0.03$) and Shear force increased ($P < 0.01$) with the supplement of ZH. Linoleic acid in loin fat was increased ($P < 0.01$) with ZH supplementation. It is concluded that ZH supplementation contributes to increase carcass weight and decrease the fat content of meat, but increases it hardness. YCr tended to increases carcass back fat thickness with any other benefit on carcass or meat characteristics.

Key words: Chromium, Growth, Fattening, Lambs, Carcass, Meat, Zilpaterol.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	III
Resumen experimento 1	IV
Resumen experimento 2	V
Abstract experiment 1	VI
Abstract experiment 2	VII
Índice de Cuadros	X
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Consumo de carne	4
2.1.1 Consumo mundial carne	4
2.1.2 Consumo de carne bovina y ovina en México	5
2.2 Situación de la producción bovina y ovina	5
2.2.1 Producción mundial de bovinos	5
2.2.2 Producción de bovinos en México	6
2.2.3 Producción mundial de ovinos	7
2.2.4 Producción de ovinos en México	8
2.3 Carne y canal bovina	8
2.3.1 La canal Mexicana	8
2.3.2 Genotipo de la canal bovina mexicana	9
2.3.3 Características de las canales bovinas mexicanas	9
2.3.4 Carne	13
2.3.4.1 Color	14
2.3.4.2 Capacidad de retención de agua (CRA)	15
2.3.4.3 pH	16
2.3.4.4 Terneza	17
2.3.4.5 Marmoleo	18
2.3.4.6 Perfil de ácidos grasos	19
2.4 β -Agonistas Adrenérgicos	20
2.5 Mecanismos de acción del Clorhidrato de Zilpaterol	21

2.6 Características del zinc como micro elemento y su importancia en la función orgánica	23
2.7 Propiedades químicas del cromo y su función en el metabolismo de los nutrientes ..	25
III. JUSTIFICACIÓN	28
IV. HIPÓTESIS	29
V. OBJETIVOS EXPERIMENTO 1	30
OBJETIVOS EXPERIMENTO 2	30
VI. MATERIALES Y METODOS.....	32
6.1 Experimento 1.....	32
6.2 Experimento 2.....	38
VII. RESULTADOS GENERALES	42
7.1 Carta de artículo aceptado	42
7.1.1 Artículo aceptado.....	43
7.2 Carta de recepción de artículo	50
7.2.1 Artículo enviado	51
7.3 Resumen en memorias.....	72
7.4 Resultados experimento 1.....	74
7.5 Resultados experimento 2.....	78
VIII. DISCUSIÓN GENERAL	82
8.1 Discusión experimento 1	82
8.2 Discusión experimento 2	88
IX. CONCLUSIÓN GENERAL.....	94
X. LITERATURA CITADA	95

Índice de Cuadros

Cuadro	Título	Página
1	Ingredientes usados en la dieta basal (DB), y su composición química (Base Seca).....	34
2	Ingredientes usados y composición química final de la dieta basal (DB).....	40
3	Efecto del CZ y ZM sobre en la respuesta productiva de toros en engorda intensiva.....	74
4	Efecto del CZ y ZM en las características de la canal en bovinos en engorda.....	75
5	Efecto de CZ y ZM sobre el espesor de grasa dorsal (EGD) y contenido de grasa intramuscular (GIM) en carne de bovinos en engorda intensiva.....	76
6	Efecto del CZ y ZM sobre las características químicas y calidad de la carne de bovinos en engorda intensiva.....	76
7	Efecto del CZ y ZM en el perfil de ácidos grasos de carne húmeda de toros en engorda intensiva.....	77
8	Influencia de la suplementación de clorhidrato de zilpaterol y levadura enriquecida-Cr sobre la respuesta productiva de ovinos en engorda intensiva.....	78
9	Influencia de la suplementación de clorhidrato de zilpaterol y levadura enriquecida-Cr sobre las características de la canal en ovinos en engorda intensiva.....	79
10	Influencia de la suplementación de clorhidrato de zilpaterol y levadura enriquecida-Cr sobre las características del <i>longissimus thoracis</i> en ovinos en engorda intensiva.....	80

11	Influencia de la suplementación de clorhidrato de zilpaterol y levadura enriquecida-Cr en la composición de ácidos grasos del <i>longissimus thoracis</i> en ovinos en engorda intensiva.....	81
----	---	----

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la alimentación de los seres humanos es uno de los retos primordiales a nivel mundial (Foresing, 2011). México tiene un consumo per cápita de carne de bovino de 17 kg, con una demanda de 1,886 ton (miles de toneladas) aproximadamente y una producción aproximada de 1,740 ton (miles de toneladas), además se espera que para el año 2018 la demanda supere las 2,000 ton (miles de toneladas) (OECD-FAO, 2013). La producción de carne ovina en México para el 2014 fue de 58,288 ton (SIAP, 2014); sin embargo, se espera que para el 2018 la producción alcance las 67,500 ton, con una demanda de alrededor de las 99,000 ton (OECD-FAO, 2013). Por lo que mejorar la productividad de bovinos y ovinos con el fin de incrementar la producción de carne, es sin duda un punto medular. En los sistemas de engorda de bovinos y ovinos se buscan alternativas para promover un crecimiento rápido y eficiente, así como la mejora en las características de la canal y la carne (Beermann, 2009; Etherton, 2009). La intensificación de la producción ha contado con diversos métodos para conseguir mejorar la producción, como el mejoramiento genético, perfeccionamiento de las técnicas de producción, introducción de nuevas técnicas y procedimientos, incluyendo el uso de fármacos como aditivos en la dieta (Domínguez-Vara *et al.*, 2009a). Desde los años 50's se han empleado sustancias que incrementan la asimilación del alimento, tal es el caso de antibióticos, probióticos, enzimas, antimicrobianos, modificadores del sistema inmunitario, modificadores metabólicos o agentes anabólicos (Sumano *et al.*, 2002). El grupo de fármacos de reciente incorporación que se utilizan en la producción animal para mejorar la retención de nitrógeno, son los β -agonistas adrenérgicos (β AA) (Domínguez-Vara *et al.*, 2009a). Uno de los β AA más utilizados en México es el clorhidrato de zilpaterol (CZ), su uso durante los últimos días de la engorda incrementa la tasa de la ganancia de, eficiencia alimenticia, rendimiento y peso de las canales de bovinos y ovinos (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Estrada-Angulo *et al.*, 2008; Delmore *et al.*, 2010; Vahedi *et al.*, 2014). El CZ induce la lipólisis y redirige la energía hacia la síntesis de proteína, lo que conduce a una hipertrofia del músculo (Helferich *et al.*, 1990; Mersmann, 1998). Sin embargo, cuando se suplementa con CZ, se

ha observado menor terneza en la carne (Garmyn *et al.*, 2010; Bohrer *et al.*, 2014). Dado que uno de los atributos que tiene un gran impacto en la satisfacción de los consumidores de carne de vacuno es su terneza, y debido al hecho de que esta puede ser mejorada con un aumento en el contenido de grasa intramuscular (Brooks *et al.*, 2010), es importante buscar alternativas que permitan aumentar la grasa intramuscular en ganado vacuno alimentado con CZ, y con esto revertir, en parte, la disminución de su terneza.

El zinc (Zn) es un oligoelemento esencial; forma parte de más de 200 metalo-enzimas, y varias de ellas están relacionados con el metabolismo de los hidratos de carbono, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos (Smith y Akinbamizo, 2000; Vierboom *et al.*, 2003). Además, tiene efecto lipogénico (Malcom-Callis *et al.*, 2000; Oh y Choi, 2004); participa en la cascada de señalización de la insulina (Saltiel y Kahn 2001; Eom *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2003), y puede tener efectos similares a los de la insulina, estimulando la lipogénesis e inhibiendo la lipólisis (Coulston y Dandona, 1980; May y Contoreggi, 1982). La adición de Zn favorece la deposición de grasa y el grado de marmoleo en la carne de bovinos de engorda (Greene *et al.*, 1988; Spears y Kegley, 2002). La adición de moléculas de Zn orgánicas produce mejores resultados que las fuentes inorgánicas (Malcom-Callis *et al.*, 2000; Spears y Kegley, 2002; Monjas *et al.*, 2007). El NRC (1996) recomienda 30 mg Zn kg⁻¹ MS en la dieta de ganado en engorde; sin embargo, en la práctica, los nutricionistas de los dos países con más bovinos de engorda utilizan una dosis promedio de 71 mg kg⁻¹ MS; 93 mg kg⁻¹ MS en los Estados Unidos (Vasconcelos y Galyean, 2007), y 49 mg kg⁻¹ MS en Brasil (Millen *et al.*, 2009). Nunnery *et al.* (2007) encontraron que la mejor respuesta productiva en novillos de engorde fue con 75 mg de Zn kg⁻¹ MS.

Otro micro-mineral que es considerado como esencial para los rumiantes es el cromo (NRC, 1996), y podría ser considerado como un modificador metabólico (Domínguez-Vara *et al.*, 2009b) ya que potencializa la actividad de la insulina que afecta el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas (Mertz, 1993), con capacidad para mejorar la ganancia de peso del ganado de carne (Barajas y Almeida, 1999), así como incrementar el área del ojo

de la costilla (Domínguez *et al.*, 2009b). El cromo unido a una molécula inorgánica se absorbe en niveles muy bajos (0.4 a 3.0%), por lo que se ha recomendado utilizar fuentes orgánicas de cromo para su mayor biodisponibilidad (Anderson, 1987). La suplementación de cromo orgánico como levadura enriquecida con Cr incrementa la ganancia de peso y el peso de la canal de corderos en engorda (Domínguez-Vara *et al.*, 2009b).

En esta investigación se llevaron a cabo dos experimentos para conocer el comportamiento de bovinos suplementados con y Zn orgánico en forma de metionina de zinc, y un segundo en ovinos para evaluar la suplementación del CZ y Cr orgánico ofrecido como levadura enriquecida con Cr; en el primer experimento el objetivo fue evaluar los efectos sobre el rendimiento productivo, características de la canal y propiedades físico-químicos como indicadores de la calidad de la carne de ganado de engorda intensiva cuando se suplementan con CZ y ZM en su dieta. Para la segunda investigación el objetivo fue estimar el efecto de la suplementación del clorhidrato de zilpaterol y el Cromo orgánico en el rendimiento productivo, características de la canal, y composición del músculo *longissimus thoracis* de corderos en engorda intensiva.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Consumo de carne

La carne aporta valiosos nutrientes beneficiosos para la salud. Contienen importantes niveles de proteínas, vitaminas y minerales esenciales para el crecimiento y el desarrollo (FAO, 2014). La carne vacuna ya no será un producto de consumo para las masas, para el 2050 llegará a ser un producto de lujo como el caviar. Los recursos necesarios para producir carne vacuna serán entre tres y cinco veces superiores a los necesarios para producir cerdo o pollo. Para el año 2050 habrá 9,000 millones de habitantes (3,000 millones más que hoy), y la producción no podrá cubrir el aumento del consumo, que se duplicará en los próximos 40 años (FAO, 2014).

2.1.1 Consumo mundial carne

El consumo de carne es diverso alrededor del mundo, esto debido a diferentes factores tales como hábitos y tradiciones alimentarias, disponibilidad, precios, niveles socioeconómicos, y factores religiosos (SAGARPA, 2012).

Sin duda en el mundo se consume más carne, en 1970 el consumo per cápita era de 26 kg año⁻¹ (SAGARPA, 2012), para el 2012 según la FAO (2012) se espera que el consumo per cápita de carnes rojas y de ave sea de 42.5 kg año⁻¹; para los países desarrollados será de 78.4 kg año⁻¹ y para los países en desarrollo de 32.8 kg año⁻¹. En 1980 la demanda de carne bovina, ovina, porcina y de aves era aproximadamente de 135 millones de toneladas; para el 2010 aumentó a 280 millones y para el 2013 se estima que sea aproximadamente de 410 millones de toneladas. Sin embargo, el consumo de carne bovina tiende a disminuir con relación a la de cerdo y ave. En los años 80's el 35% de la carne que se consumía en el mundo era de res, el 40% de cerdo, 19% de ave y 6% de ovino; sin embargo, en el año 2010 fue en el mismo orden de 23%, 37%, 35% y 5%, respectivamente. Dadas las situaciones actuales, se espera que para el año 2030 la carne que más se consuma sea la de ave, con un 39% de la demanda total mundial, la de cerdo se mantenga en un 37%, la de bovino represente el 20% y de ovino 4% (CIC, 2013).

En los últimos años el consumo per cápita de carne bovina por país ha cambiado, en el año 2000, Argentina ocupaba el primer lugar a nivel mundial, con un consumo aproximado de 68 kg año⁻¹ por habitante; sin embargo, para el año 2012 su consumo disminuyó a 55 kg año⁻¹ por habitante, registrando Uruguay el mayor consumo con aproximadamente 60.5 kg año⁻¹ por habitante (CIC, 2013).

2.1.2 Consumo de carne bovina y ovina en México

México muestra un aumento sostenido en los últimos años en el consumo de carne (ave, res, cerdo, ovino y caprino) (Rabobank, 2012); en 1970 se consumían 23 kg, actualmente el consumo es de 63 kg habitante⁻¹ año⁻¹ (SAGARPA, 2012); sin embargo, hay un descenso para el consumo de la carne bovina, principalmente debido al aumento del precio en canal fría, el cual pasó de 31.3 pesos en el 2006 a 45.67 pesos en el 2012, lo cual significa un aumento de 45.9% (Revista AMEG, 2013). Lo anterior, ha ocasionado una disminución del consumo per cápita. En los años 80s se consumía alrededor de 20 kg/habitante/año de carne bovina, para el 2012 el consumo se situó alrededor de los 17 kg, y los pronósticos indican un consumo de 15 kg para el año 2020 (CIC, 2013). Aun así, la demanda de carne bovina continuará incrementándose, por lo que es necesario aumentar la producción nacional (SAGARPA, 2011).

El consumo de carne ovina en México representa aproximadamente el 1% del consumo nacional (considerando carne de ave, porcina, bovina, caprina y ovina) (SAGARPA, 2012). Su consumo per cápita en el año 2012 fue de 0.68 kg habitante⁻¹ año⁻¹, y se espera que se incremente a 0.70 kg en los próximos años, al igual que la demanda pase de 90.29 mil toneladas en el 2012 a 101.85 mil toneladas para el 2021 (OECD-FAO, 2013). Por lo que igual que la carne de bovino, es necesario el incremento de la producción nacional.

2. 2 Situación de la producción bovina y ovina

2.2.1 Producción mundial de bovinos

Se sabe que hay una contracción de la población mundial de bovinos, en 1990 se contaba con un estimado de 1,098.25 millones de cabezas, para el 2009 la población llegó a

1,023.76 millones. Los países con el mayor número de cabezas son India, Brasil, China y Estados Unidos, de estos, todos presentaron un crecimiento en su población bovina con excepción de Estados Unidos que tuvo una disminución (CIC, 2013). La producción, al igual que el consumo, tienen una tendencia a aumentar, a pesar de la disminución del número de cabezas en el mundo; aunque en los últimos años el consumo y producción han tenido un pequeño incremento, las perspectivas para los próximos años es un aumento mucho mayor (OECD-FAO, 2013).

Los principales países productores de carne de bovino en el mundo son: Estados Unidos con aproximadamente 19%, Brasil 11%, China 10%, Argentina 4%, Australia 4%, México 3% y Rusia 3%.

Los países con mayor exportación de carne bovina en el 2012 fueron la India, Australia, Brasil, Estados Unidos, Nueva Zelanda, Canadá y Uruguay. Los principales importadores fueron Rusia, Estados Unidos, Japón, Vietnam, Corea del Sur y Venezuela.

2.2.2 Producción de bovinos en México

El sector bovino es de gran importancia para México, es la actividad productiva más difundida en el medio rural, se desarrolla en aproximadamente 110 millones de hectáreas, en aproximadamente el 60% del territorio nacional (FIRA, 2010). Aporta el 29% del PIB de las actividades agropecuarias y se dedican a esta actividad poco más de 1.13 millones de ganaderos. Se cuenta con 907 rastros municipales y 65 de tipo inspección federal (TIF) especializados en bovinos, de los cuales 15 exportan carne tipo TIF (CIC, 2013).

México es uno de los principales países productores, importadores y exportadores de carne bovina a nivel mundial (CIC, 2013). La población bovina según SIAP (2012^a) para el 2011 se estimaba en 30.55 millones de cabezas, pero expertos estiman que este número se pudo reducir a 29 millones para el 2013 (CIC, 2013). Los estados con el mayor número (millones) de cabezas de bovinos son Veracruz (3.96), Jalisco (2.99), Chiapas (2.53), Chihuahua (1.88) y Michoacán (1.84) (SIAP, 2012^b).

La producción nacional de carne bovina en el 2012 fue de 1.85 millones de toneladas, con un pronóstico de aumentar a 2.11 millones de toneladas para el 2020 (OECD-FAO, 2013).

Los estados con mayor producción de carne (miles de ton) en canal son Veracruz (269.83), Jalisco (194.91), Chiapas (110.54), Chihuahua (99.82), Sonora (84.96) y Sinaloa (79.84) (SIAP, 2012^b).

El volumen y el valor de la carne bovina exportada se incrementó en un 28% anualmente entre los años 2005 y 2011 (Financiera Rural, 2012). Para el año 2012 el volumen total fue de 141,657 toneladas, con un valor de 9, 857 millones de pesos (Revista AMEG, 2013). La carne fresca o refrigerada representó el 50% del volumen de la carne exportada, la carne congelada tuvo una participación de 42%, despojos comestibles 7% y carne procesada 1%. Estados Unidos fue el principal destino de la exportación nacional con el 58%, el 28% fue enviado a Rusia, 16% para Japón, Corea 3% y Angola 2%, el 1% fue exportado a otros doce países (Financiera Rural, 2012).

México no solo exporta carne, en el 2012 exportó aproximadamente 1.4 millones de becerros en pie, con un valor de 7,623 millones de pesos. En el año 2008 alcanzó un pico histórico de la carne importada de res con 289,495 toneladas, que representó 12,792 millones de pesos. En los próximos años se pronostica que las importaciones descenderán hasta representar un volumen de 152,325 toneladas, con un valor de 10,963 millones de pesos. En importaciones de becerros en pie en el 2012 tan solo se importaron 20,008 cabezas, con un valor de 99 millones de pesos, con una diferencia de 1, 379,881 cabezas con respecto a las exportaciones, lo que contribuye en gran medida a la reducción del hato nacional (Revista AMEG, 2013).

2.2.3 Producción mundial de ovinos

Se estima que la población ovina mundial en el 2011 era aproximadamente 1,043 millones de cabezas, la cual ha permanecido relativamente estable en los últimos años con un pequeño descenso en la población del 2000 al 2011 de 16 millones, aproximadamente el 1.5% (OECD-FAO, 2013). En el 2010, China era el país con el mayor hato ovino, concentraba el 12.42% de la población mundial, le seguían la India con 6.86%, Australia 6.31% e Irán 5%. Los principales exportadores de carne son Nueva Zelanda, Australia, Ucrania y la India.

2.2.4 Producción de ovinos en México

La ovinocultura es considerada como actividad económica que presenta una de las mejores tasas de rentabilidad y perspectivas de crecimiento (Carrera y Carrera, 2010). En México, el inventario nacional ovino en el año 2013 fue de 8,219,390 cabezas, con un crecimiento durante los últimos cinco años (de 2000 a 2011) del 2.8% anual (FAOSTAR, 2013).

La producción ovina en México se localiza principalmente en el centro y sur del país, ya que a su vez son los mayores consumidores del producto (Arteaga, 2003).

La distribución geográfica del ganado ovino abarca todos los Estados de la República Mexicana; los que mayores inventarios poseen son el Estado de México (1,307,371) e Hidalgo (1,099,773) (SIAP^C, 2012).

México prácticamente no exporta, pero si realiza importaciones de ovinos; ha importado carne congelada y ganado en pie, sin embargo, prácticamente en el 2012 no se importó ganado en pie, que venía principalmente de Estados Unidos en forma de ovejas de desecho (CIC, 2013). Las importaciones de carne congelada han disminuido con relación a la producción. En el año 2005 las importaciones aportaron el 53.8% del consumo nacional, sin embargo, para el 2012 representaron tan solo el 35.9% y se estima que continúe la tendencia a la baja, con una predicción para el 2021 de 28.7% (OECD-FAO, 2013).

2.3 Carne y canal bovina

2.3.1 La canal Mexicana

El conocer las diferencias entre canales tiene un fuerte impacto económico, lo que ha cambiado la industria de la carne a lo largo del mundo (Cross y Savell, 1994). Diversos científicos han desarrollado una metodología para la medición de atributos de la canal que afectan el rendimiento y palatabilidad de la carne (Méndez *et al.*, 2009), los cuales son relevantes para el consumidor, los productores y empacadoras de carne (Kempster *et al.*, 1982). El valor de los animales deberían ser diferentes según las características de la canal y la carne, características específicas que las hagan más deseables para el mercado. Deben estar asociadas a un sistema de incentivos y castigos (Rubio *et al.*, 2013).

La canal bovina se define como el cuerpo entero del animal sacrificado tal como se

presenta después de las operaciones de sangrado, eviscerado y desollado, separada la cabeza a nivel de la articulación occipito-atloidea, y sin extremidades, que se cortarán a nivel de las articulaciones carpo-metacarpiana y tarso metatarsiana. La canal podrá conservar o no los riñones y la grasa de riñonada y pélvica; no presentará las vísceras torácicas ni abdominales ni la ubre ni la grasa mamaria (Braña *et al.*, 2011).

2.3.2 Genotipo de la canal bovina mexicana

México cuenta con tres regiones agro-climáticas situadas en el norte, centro y sur del país (Villegas *et al.*, 2001), las cuales tienen impacto en el tipo de ganado que se explota y el sistema de producción utilizado (Trueta, 2003; Gallardo *et al.*, 2002).

Existen pocos estudios sobre el genotipo utilizado para el abasto de carne en México, sin embargo, Méndez *et al.* (2009) reportaron que el 53.7% de los animales correspondían al genotipo *Bos Indicus*, mientras que el 46.3% eran categorizado como *Bos taurus*. Este estudio de genotipo se basó en la altura de la giba de las canales, considerando como *Bos indicus* las canales con una altura de giba mayor a 10 cm y en *Bos taurus* las gibas menores a 10 cm. Sin embargo, Casas *et al.* (2005) reportaron una altura de giba de menos de 7 cm en el 12.6% de animales raza Brahmán que fueron estudiados. Por lo que el genotipo *Bos indicus* en México puede ser del 90% si el criterio se reduce a 7 cm o menos (Méndez *et al.*, 2009).

2.3.3 Características de las canales bovinas mexicanas

Las canales que se producen en México tienen ciertas particularidades, y no es correcto hacer una comparación con las canales de otros países. Esto debido a que es diferente el tipo de ganado que se produce, el cual es mayoritariamente autóctono, y no ganado mejorado como en Estados Unidos o Japón, así como el tipo de producción y el patrón de consumo son diferentes (Rubio *et al.*, 2013).

Prácticamente todo el ganado para abasto en México, es sometido a un proceso de engorda. El tiempo de engorda varía por regiones; en el sur se emplea un esquema de 70-90 días y en

el norte de 100 - 150 días, la mayor proporción del ganado tiene una edad de 18-26 meses al sacrificio (CIC, 2013).

Peso

El peso es una característica de gran importancia para el productor, ya que en México se paga generalmente por el peso del animal en pie (Rubio *et al.*, 2013). La raza es un factor que afecta al peso vivo y la canal del animal (Crouse *et al.*, 1989); por ejemplo, la raza Holstein crece más rápido y eficientemente que la raza Hereford, alcanzando un peso al sacrificio a menor edad y logrando canales más pesadas (García de Siles, 1977), así como a medida que se incrementa el porcentaje de *Bos indicus* en las cruas disminuye el peso de la canal (Crouse *et al.*, 1989).

Méndez *et al.* (2009), reportaron que el 71.6% de los bovinos para sacrificio tuvieron un peso vivo entre 400 y 500 kg; 11.5% inferior y 16.7% mayor. El 88.9% de las canales frías tuvieron un peso entre 220 y 340 kg, lo cual concuerda con un estudio realizado en Jalisco, en el que reportaron un peso de la canal fría de 287 kg en promedio (Zorrilla *et al.*, 2013); Nuñez *et al.* (2005) señalaron en un estudio realizado en Oaxaca un peso en canal caliente de 309.95 kg para toros, 247.47 kg para novillos y 237.67 kg para vacas.

Rendimiento en canal

El rendimiento en canal es la proporción del peso de la canal en relación al peso vivo del animal, y se expresa en porcentaje, el cuál varía en función del peso de la canal si es caliente o fría, y el peso vivo del animal según el lugar de origen (engorda, antes del transporte), peso al sacrificio (*peso previo al sacrificio*) o peso vacío (sin contenido digestivo) (Hernández *et al.*, 2009).

El rendimiento de la canal en México es muy variado; según Méndez *et al.* (2009), estimaron que el 65.4% de los bovinos tenían un rendimiento en canal de 58 - 68%, lo cual concuerda con Avendaño *et al.* (2006) quienes encontraron un rendimiento de 61.83% en Mexicali considerando el peso de la canal caliente; Castellanos *et al.* (2006) reportaron un

rendimiento en canal caliente de 58.6%, y 57.9 % para canal fría; Plascencia *et al.* (1999) señalaron un rendimiento de la canal caliente de 62.8%.

Grasa

El tejido graso está constituido por adipocitos especializados en el almacenamiento de grasas, y por tejido conjuntivo de sostén (Díaz, 2001). La función se relaciona con una serie de procesos biológicos destinados a la nutrición de los tejidos, y una de sus funciones más importante es como reserva de energía para el animal (Ham, 1975; Lehninger *et al.*, 1978; Díaz, 2001). Es el único tejido básico que no tiene límite de acumulación, excepto cuando el factor genético lo regule (Godoy *et al.*, 1986). Los factores que influyen en la cantidad de grasa son:

Peso del animal: a mayor peso, mayor es el peso de la canal y mayor es el engrasamiento (PAG, 2006).

Sexo: en las hembras ocurre antes el engrasamiento; los machos depositan por lo general menos grasa en la zona renal (Rubio *et al.*, 2013; PAG, 2006).

Raza: las razas de tamaño pequeño engrasan más rápido que las razas grandes, o razas de maduración tardía producen canales 50% menos grasa (Wheeler *et al.*, 1989; PAG, 2006).

Alimentación: El nivel nutricional produce variaciones en el crecimiento relativo del peso del animal, y por lo tanto, en la composición tisular de la canal. Los ritmos de crecimiento alto que se presentan en bovinos alimentados con dietas ricas en energía frente a las dietas forrajeras, aumentan la proporción de grasa en la canal (Nuernberg *et al.*, 2005).

Grasa visceral

El estado de engrasamiento se define como la proporción de grasa que presentan las canales respecto de su peso (Briskey y Bray, 1964), el cuál es un indicador de la cantidad de músculo y grasa que contendrá, así como de algunos parámetros organolépticos de la carne, como son el sabor y la jugosidad. Es decir, el estado de engrasamiento, puede ser un indicador subjetivo de la calidad de la canal (Albertí *et al.*, 2003). El engrasamiento visceral, se encuentra directa e indirectamente relacionado con la cantidad de grasa que será

recortada durante el despiece, lo que ejerce una notable influencia en la cantidad de carne vendible (Rubio *et al.*, 2013; Cabrero, 1991; Briskey y Bray, 1964).

La grasa de riñonada asociada a la grasa de cobertura puede ser utilizada como un indicador de la grasa total de la canal (Flamant y Boccard, 1966). Se determina subjetivamente y se expresa como un porcentaje del peso de la canal. Normalmente el peso de estos acúmulos de grasa representa entre el 1 y 5% del peso de la canal fría. El peso de los riñones se excluye en ésta medición (Rubio *et al.*, 2013).

Grasa subcutánea de cobertura o externa

La grasa de cobertura protege a la canal y a los músculos de las pérdidas de agua durante la conservación en refrigeración o en congelación, evitando el oscurecimiento de la carne como consecuencia de la oxidación de la mioglobina, evita el acortamiento por frío cuando las canales son congeladas (PAG, 2006; McCrae *et al.*, 1971; Lawrie, 1966). Su distribución en la canal es el factor de mayor apreciación por parte del consumidor (PAG, 2006). La grasa de cobertura se mide en la 12ª costilla, a tres cuartos de la distancia del eje largo del músculo *Longissimus thoracis*, desde la línea media (Rubio *et al.*, 2013; Méndez *et al.*, 2009). Zorrilla *et al.* (2013) reportaron un promedio de 5.1 mm de espesor en la grasa de cobertura, lo cual concuerda con Méndez *et al.* (2009) que encontraron un promedio de 5.5 mm.

Grasa intramuscular o de marmoleo

La grasa intramuscular es un depósito de grasa dentro de las fibras musculares (Forrest *et al.*, 1979; Rubio *et al.*, 2013). Aunque en México no es un factor decisivo para determinar la calidad de la carne si lo es en otros países como Estados Unidos y Japón (Rubio *et al.*, 2013). Sin embargo, juega un papel muy importante en el aroma, la jugosidad, la ternura y vida de anaquel (French *et al.*, 2000; Olivan *et al.*, 2001; Chambaz *et al.*, 2003).

El marmoleo puede ser medido químicamente en el laboratorio y subjetivamente con la ayuda de estándares fotográficos (Rubio *et al.*, 2013). Unos de los estándares fotográficos más utilizados son los establecidos por la USDA para grado de marmoleo: 100 =

Desprovisto, 200 = Traza, 300 = Ligero, 400 = Pequeño, 500 = Modesto, 600 = Moderado y 700 = Abundante.

Méndez *et al.* (2009) reportaron que en el 43% de las canales que evaluaron en México su grado de marmoleo se encontró entre los grados traza y ligero (200 - 300), y con un mayor grado en hembras (250) que en machos (200).

Área del ojo de la chuleta

El área del músculo del ojo de la chuleta a la altura de la 12ª costilla es un mejor predictor de la composición que las medidas subjetivas de conformación o forma. Se puede medir usando una gradilla marcada, con planímetros o dibujando el contorno sobre un papel plástico transparente. En la medición solo se debe incluir el área del músculo, excluyendo la grasa adyacente y demás tejidos (Rubio *et al.*, 2013). Méndez *et al.* (2009), encontraron un promedio general de 74.6 cm² de área del ojo de la chuleta midiéndola en la 12ª costilla; sin embargo, el promedio para machos fue de 75.3 cm² y para hembras 73.4 cm². Avendaño *et al.* (2006), encontraron promedios similares en machos cuando adicionaron clorhidrato de zilpaterol (75.23 cm²) y ractopamina (72.17 cm²), para el grupo control el promedio fue de 66.75 cm². En otro estudio, Zorrilla *et al.* (2013), midiendo el área del ojo de chuleta entre la 6ª y 7ª, reportaron un promedio de 74.55 cm². Por lo que se puede inferir que el área del ojo de la chuleta en México se encuentra entre los 74 y 75 cm².

2.3.4 Carne

La carne, en su definición más amplia, es el tejido animal utilizado como alimento. Se compone de células de tejido o fibras musculares, grasa y tejido conectivo (Miller, 2002). Aunque la carne refleja en gran medida la química y la estructura natural de los músculos postmortem (Lawrie, 1991). El músculo se convierte en carne por una serie de cambios bioquímicos y biofísicos, que se inician tras la muerte del animal. La conversión es un proceso de tres pasos que incluye la fase de pre-rigor (pocos minutos a 30 minutos postmortem), durante la cual el músculo permanece excitable y podría corresponder a la duración de la supervivencia del sistema nervioso, y es consecuencia del cese del

suministro de oxígeno y nutrientes a la células, por lo que en este momento el músculo es flácido y extensible. La fase de rigor-*mortis* sucede después de pocas horas, se caracteriza porque el músculo se torna rígido e inextensible, lo cual es provocado por la formación de puentes cruzados entre los filamentos de actina y miosina, que en ausencia de energía esto es irreversible. Durante este periodo, el pH desciende debido a la degradación del glucógeno por la vía anaerobia con el fin de obtener energía (ATP); como resultado hay la formación de ácido láctico, provocando el descenso del pH muscular pasando de valores próximos a 7 hasta valores entre 5.4 - 5.8; la última fase es la post-rigor, maduración o tenderización de la carne, que es un proceso en el que enzimas proteolíticas endógenas (catepsinas, calpainas, caspases, proteosomas) degradan proteínas musculares (desacoplamiento de las proteínas ligadas al sarcolema de cada miofibrilla) (Pearson y Young, 1989; Taylor *et al.*, 1995; Sentandreu *et al.*, 2002; Warris, 2003; Uzcátegui-Bracho y Jerez-Timaure, 2008). Dado que muchos factores afectan la calidad de la carne, por ejemplo edad, sexo, raza, estado nutricional, estrés de los animales durante el transporte, tasa de refrigeración de la canal, edad postmortem, manipulación pre-sacrificio, lo cual genera un producto altamente impredecible (Miller, 2002).

La FAO define la calidad de la carne generalmente en función de su calidad composicional (coeficiente magro-graso) y de factores de palatabilidad tales como aspecto, olor, firmeza, jugosidad, terneza y sabor. La calidad nutritiva de la carne es objetiva, mientras que la calidad “como producto comestible”, tal y como es percibida por el consumidor, es altamente subjetiva (FAO, 2015). A nivel del consumidor, Smith (2000) describió las características más importantes al comprar un corte de carne fresca: calidad (sabor, terneza o blandura, apariencia y la estabilidad en el almacenamiento), consistencia (igualdad en apariencia a la compra, igualdad en palatabilidad al consumo), seguridad (bacteriológica y química) y por último, la actitud del distribuidor (productores sobre el ambiente y bienestar animal).

2.3.4.1 Color

El color de la carne depende del tipo de músculo (tipo de actividad) y de la concentración

de mioglobina que contenga el músculo, además del estado de oxidación del átomo de hierro del grupo hemo, y de una posible desnaturalización de la globina (Hulot y Ouhayoun, 1999). El color de la carne es uno de los atributos más valorados por el consumidor en el momento de la compra, hasta el punto de ser considerado uno de sus criterios preferenciales (Krammer, 1994).

La comisión Internacional de la Carne (CIE por sus siglas del francés: Commission Internationale de l'Eclairage) de 1976 recomienda para evaluar el color, dos escalas de color alternativas y uniformes: CIE, 1976 (L^* , a^* , b^*) ó CIELAB y la CIE, 1976 (L^* , u^* , v^*) ó CIELUV. El sistema de representación del color más adecuado es el CIELAB, ya que se presenta más uniforme en la zona de los rojos (Hernández, 1994). Este sistema emplea las coordenadas tricromáticas L^* (luminosidad), a^* (índice rojo) y b^* (índice de amarillo), de manera que a partir de relaciones entre ellas se pueden obtener las coordenadas colorimétricas, intensidad de color o croma ($C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$) y tono ($H^* = \arctg(b^*/a^*)$). La coordenada L^* es la más relacionada con la valoración visual del consumidor (Murray, 1989). Depende de varios factores como el pH, capacidad de retención de agua, humedad, integridad de la estructura muscular y, en menor medida, grado de oxidación de los hemo pigmentos (Sayas, 1997). También influye el contenido en grasa, pues las materias primas con mayor contenido en grasa son las que presentan mayores valores de L^* . La coordenada a^* (eje rojo-verde) está relacionada con el contenido de mioglobina (Pérez-Álvarez, 2006). La coordenada b^* (eje amarillo-azul) ha sido relacionada con los distintos estados de la mioglobina (Pérez-Álvarez, 1996).

2.3.4.2 Capacidad de retención de agua (CRA)

La carne cruda de los mamíferos después del sacrificio contiene, por término medio, un 75% de agua (Lawrie, 1996), porcentaje que varía con la especie y el músculo. Parte de esta agua se pierde por evaporación durante el enfriamiento de las canales (las de bovino pierden hasta un 2% de su peso y en corderos lechales estas pérdidas pueden llegar a ser de un 5%); o por goteo, como consecuencia de la sección de los tejidos (según el grado de división de la carne puede perderse hasta un 6%). Las mayores pérdidas de agua, sin

embargo, se producen en el cocinado de la carne, pérdidas que pueden superar el 40% (Offer y Knight, 1988).

No se sabe con total certeza como se encuentra el agua en el músculo, aunque mediante estudios de resonancia magnética nuclear se ha concluido que existe un 5% de agua imposible de separar y el 95% restante está considerada como agua libre, capaz de migrar (Hazlewood, 1995). Sañudo *et al.* (1993), la definen como la capacidad de la carne para retener el agua que ella misma contiene cuando se aplican fuerzas externas como cortes, calentamiento, trituración y prensado, lo cual presenta un gran interés durante su conservación, fileteado, cocinado y transformación. Después del sacrificio, la CRA de la carne se ve afectada por factores como: caída del pH postmortem, pérdida de ATP, instauración del rigor mortis y cambios en la estructura miofibrilar asociados en parte a la actividad proteolítica (Ouali, 1990; Koohmaraie, 1996). Por ello, las propiedades físicas más importantes de la carne (color, firmeza, jugosidad y textura) están estrechamente relacionadas con la CRA (Hulot y Ouhayoun, 1999).

La CRA de la carne se puede determinar de varias maneras. El método de compresión o del jugo exprimible, midiendo el agua eliminada al someter a la carne a una fuerza externa (Grau y Hamm, 1953; Sierra, 1973). El método de presión según la técnica de Grau y Hamm (1953), con la modificación de Sierra (1973), que consiste en presionar una muestra a presiones concretas para medir el agua que se expulsa. Para ello, se pesan 5 g del músculo *longissimus thoracis*, picado con un masticador limpio de grasa y tejido conjuntivo, y se coloca entre dos papeles de filtro Whatman número 41, previamente pesados. Se aísla por la parte superior e inferior con dos placas de petri y se coloca encima un peso de 2.25 kg durante cinco minutos. La diferencia entre el peso inicial de la carne y el peso después de haber sido sometida a presión, será el agua que ha expulsado, que se expresa como porcentaje de jugo expulsado respecto al peso de la muestra inicial.

2.3.4.3 pH

El pH de los animales vivos se sitúa en un rango entre 7.08 y 7.30. Tras la muerte del animal se produce un descenso del mismo hasta valores entre 5.4 y 5.6 (Barriada, 1995).

Cuando el animal muere, el músculo se ve privado de riego sanguíneo y por lo tanto de oxígeno. Esto hace que se bloquee la síntesis de ATP, que es la fuente ordinaria de obtención de energía muscular, con lo cual el músculo se ve obligado a adquirir esa energía por vía anaerobia a partir del glucógeno de reserva, dando lugar a la producción de ácido láctico (Monin, 1988). Mientras exista glucógeno se produce ácido láctico, descendiendo el pH hasta que se interrumpen los fenómenos glucolíticos o bien hasta que se inactivan las enzimas que rigen el metabolismo muscular (Lawrie, 1996). El pH afecta directamente a la estabilidad y propiedades de las proteínas, y de su valor final (medido generalmente a 24 h post-mortem) dependerá prácticamente de todos los atributos importantes de calidad de la carne (capacidad de retención de agua, textura y color).

Para determinar el pH de la carne se utiliza un potenciómetro; según su forma y función, se pueden clasificar en electrodos de inmersión, para medir homogeneizados de carne, y de penetración, que con un extremo punzante que permite medir el pH en piezas de carne (Braña *et al.*, 2011). Existen equipos que traen incluido este sistema, pero en los que no lo traen, es necesario indicar la temperatura a la que se mide el pH para poder realizar las correcciones necesarias (Swatland, 1991). Para la determinación del pH de la carne en la canal se utiliza un potenciómetro con electrodo de penetración, introduciéndolo en el músculo *longissimus thoracis* a nivel de la 12ª costilla, a las cero horas (justo después del faenado del animal) y a las 24 horas (después de permanecer en refrigeración).

2.3.4.4 Terneza

La terneza determina el valor comercial de la carne (Chambers y Bowers, 1993); Boleman *et al.* (1995) confirmaron que el consumidor paga por la terneza. Otros autores señalan que la terneza y el color de la carne son los parámetros principales que determinan las preferencias del consumidor (Pearson, 1966). Dos fracciones proteicas determinan la terneza, por una parte están las proteínas del tejido conjuntivo y por otra las miofibrilares (Marsh, 1977). Las proteínas del tejido conjuntivo están constituidas por el colágeno, la elastina y la reticulina y constituyen un elemento negativo que limita la terneza. El colágeno es el principal componente del tejido conjuntivo, determina la dureza de base ya

que cuanto mayor es su cantidad, más dura es la carne (Hill, 1966). La dureza de la carne cocinada se atribuye, fundamentalmente, al tejido conectivo y a las proteínas contráctiles (Marsh, 1977; Miller, 1994). También influyen en este parámetro el número y el tamaño de los paquetes de fibras contenidas en el músculo. En animales grandes, como el ganado vacuno, estos paquetes son mayores que en animales más pequeños como el cordero o el cerdo (Carballo y López de Torre, 1991).

La segunda fracción proteica implicada en la terneza, son las proteínas miofibrilares cuyas transformaciones postmortem son responsables de las principales variaciones de esta cualidad, existiendo una estrecha relación entre esta y el grado de concentración de las miofibrillas (los músculos relajados son más tiernos que los contraídos). Herring *et al.* (1967) demostraron que la dureza de la carne está relacionada con la contracción de las fibras musculares, hecho que se refleja observando la longitud del sarcómero. El método más ampliamente utilizado para medir la terneza es la determinación de esfuerzo de cizallamiento o de corte con equipo Warner-Bratzler (Cross *et al.*, 1986), basado en la metodología propuesta por Bratzler (1949). El ensayo de Warner-Bratzler es una prueba empírica para evaluar la terneza en carne cruda o cocinadas; en este ensayo intervienen fuerzas de tensión, corte y compresión (Bourne, 1982). La prueba se puede realizar tanto con equipo Warner-Bratzler, o con una adaptación de un accesorio Warner-Bratzler a un texturómetro (Braña *et al.*, 2011).

2.3.4.5 Marmoleo

El marmoleo denota la cantidad de grasa intramuscular (grasa dentro del músculo). El contenido en grasa de la carne ha sido altamente relacionado con la calidad, porque afecta tanto el sabor como a la jugosidad y a la dureza de la carne (Goutenfoga y Valin, 1976). Otra contribución de los lípidos intramusculares a la calidad de la carne es la estabilidad frente a la oxidación, influyendo de gran manera en la formación de los sabores desagradables o también llamados “Warmed-over Flavor” o “WOF” (Pearson *et al.*, 1977). Los lípidos musculares también influyen en la jugosidad y, por lo tanto, en la terneza de la carne (Pearson, 1966), así como en el color, puesto que el metabolismo más aeróbico de los

músculos rojos u “oscuros” comparado con los músculos blancos o “luminosos” se asocia no sólo con mayores concentraciones de mioglobina, sino también con mayores proporciones de lípidos (Allen y Foegeding, 1981). Esta fracción lipídica, desde el punto de vista nutritivo, también contribuye como una fuente de energía, provee nutrientes esenciales (ácidos grasos linoleico, C18:2 y linolénico, C18:3, así como vitaminas A, D, E y K) como también facilitan la absorción de las vitaminas liposolubles (Beare-Rogers, 1988).

El grado de marmoleo se puede determinar por medio de los grados de calidad según la USDA (United States Department of Agriculture), la cual consiste en una serie de tablas que dan un grado de marmoleo según la cantidad de grasa intramuscular en la parte central del costillar, entre la décima segunda y décima tercera costillas de una canal refrigerada.

2.3.4.6 Perfil de ácidos grasos

Los ácidos grasos difieren entre sí en el número de átomos de carbono constituyentes de la cadena y en el número y posición de sus dobles enlaces (L'Estrange y Mulvihill, 1975). Los ácidos grasos más abundantes en la grasa de origen animal presentan un número par de átomos de carbono y de longitud comprendida entre 14 y 22 átomos de carbono, siendo los más abundantes los de 16 y 18 átomos de carbono. Los ácidos grasos saturados mayoritarios en la grasa de origen animal son los ácidos láurico (C12:0), mirístico (C14:0), palmítico (C16:0), esteárico (C18:0) y araquídico (C20:0). Los ácidos grasos monoinsaturados más importantes cuantitativamente son los ácidos palmitoleico (C16:1) y oleico (C18:1) y de los poliinsaturados, los ácidos linoléico (C18:2), linolénico (C18:3) y araquidónico (C20:4). Los ácidos grasos con un número impar de átomos de carbono mayoritarios en la grasa animal son el pentadecanoico (C15:0) y el heptadecanoico (C17:0) (Frenkel *et al.*, 1973). En general, los ácidos grasos saturados y monoinsaturados son los mayoritarios en la carne de los animales domésticos, siendo el ácido oleico el mayoritario en la carne de cordero (aproximadamente el 40% del total) (Lough *et al.*, 1992; Solomon *et al.*, 1992).

Un exceso de grasa de origen animal se relaciona habitualmente con efectos negativos para

la salud humana (enfermedades cardiovasculares, obesidad, cáncer, entre otros.) (Cobos *et al.*, 1993). La ingestión de ácidos grasos de naturaleza saturada está relacionada con el incremento de los niveles de colesterol sérico en sangre (Castelli *et al.*, 1977). Sin embargo, los ácidos grasos saturados de menos de 12 átomos de carbono no tienen efecto sobre los niveles de dicho colesterol, mientras que los ácidos grasos de naturaleza saturada de 14 o 16 átomos de carbono resultan ser hipercolesterolémicos (Smith, 1991).

La presencia de ácidos grasos insaturados en la grasa de los animales favorece por una parte la reducción de incidencia de enfermedades coronarias (Shackelford *et al.*, 1990; Ziprin *et al.*, 1990). Los ácidos grasos deseables son aquellos que tienen efecto neutro o hipocolesterolémico sobre la salud humana, e incluyen en este grupo a los ácidos grasos de naturaleza insaturada y al ácido esteárico (C18:0) (Huerta *et al.*, 1993). Los ácidos grasos mono y poliinsaturados se consideran ácidos grasos deseables para la salud humana ya que están relacionados con bajos niveles de colesterol en sangre (Rose, 1990). Los ácidos grasos saturados incrementan la presencia de las LDL (lipoproteínas de baja densidad) en el suero asociadas a la aparición de enfermedades coronarias. Los ácidos grasos poliinsaturados reducen los niveles de LDL mientras que los ácidos grasos monoinsaturados reducen los niveles de LDL sin afectar a los de HDL (lipoproteínas de alta densidad) no asociadas con la aparición de enfermedades cardiovasculares (Smith, 1993).

Para poder determinar el perfil de ácidos grasos, es necesario primero extraer los lípidos de la muestra de carne. La metodología utilizada por Folch *et al.* (1957), permite determinar los lípidos totales mediante una extracción sólido-líquido con el uso de solvente, y el residuo se utilizará para la determinación de ácidos grasos por cromatografía de gases. Los residuos serán sometidos a un proceso de metilación por la metodología sugerida por Braña *et al.* (2011), y posteriormente será cuantificado por medio de cromatografía de gases.

2.4 β -Agonistas Adrenérgicos

El crecimiento animal puede ser manipulado mediante el uso de técnicas de manejo que incrementan la acreción muscular, disminuyendo la acumulación de grasa (Avendaño *et al.*, 2011). Dentro de estas técnicas podemos citar el uso de los β -Agonistas Adrenérgicos

(β AA). Los β AA son agentes químicos que actúan a nivel de los receptores adrenérgicos, cuyo efecto biológico se traduce en la reducción del tejido adiposo, mediante una disminución de la síntesis de lípidos; como consecuencia, hay más nutrientes energéticos disponibles para sintetizar tejido muscular (Yen *et al.*, 1989; Mersmann, 1998). Es decir, producen una redirección del metabolismo energético celular a favor de la síntesis proteica (Reeds y Mersmann, 1991), siempre y cuando haya suficientes aminoácidos disponibles. Esto se traduce en un incremento en la productividad en bovinos, porcinos y aves (Herbert *et al.*, 1985; Mersmann, 1998). En teoría, la utilización de estas sustancias presenta una serie de ventajas relacionadas no sólo con la mejora de la productividad, sino también con la calidad, pues la carne de animales tratados con β AA tiene mayor tejido magro (Domínguez *et al.*, 2009).

En 1988 la Unión Europea, prohibió el uso de estos anabólicos; posteriormente, en 1991 se extendió la prohibición a los Estados Unidos y Canadá (Mitchell y Dunnavan, 1998; Bocca *et al.*, 2003). En México, se han usado algunos, como el Clorhidrato de Zilpaterol en bovinos y ovinos (Plascencia *et al.*, 2008; Castellanos *et al.*, 2006; Salinas *et al.*, 2006), y el clorhidrato de clenbuterol en bovinos (Geesink *et al.*, 1993; Sillence *et al.*, 1993). Sin embargo, el uso indebido de clenbuterol ha causado riesgos a la salud pública; por lo tanto, en México la prohibición para el clenbuterol se produjo en 1999 (NOM-061-ZOO-1999). En cambio, el empleo del Clorhidrato de Zilpaterol en su presentación comercial, está autorizado en México (Norma Oficial Mexicana- NOM-061-ZOO-1999; NOM-EM-015-ZOO-2002). En Estados Unidos de América fue aprobado su uso por la US Food and Drug Administration (FDA) en Agosto 2006 (FDA, New Animal Drug Application 141-258), en una dosis de 8.3 mg/kg durante los últimos 20 a 40 días del periodo de finalización seguido de 3 días de retiro. Recientemente en el 2009 fue aprobado su uso en Canadá. Sudáfrica es otro país que permite el empleo de este promotor desde 1997 (Delmore *et al.*, 2010).

2.5 Mecanismos de acción del Clorhidrato de Zilpaterol

El Clorhidrato de Zilpaterol (CZ) aumenta marcadamente el metabolismo degradativo de los lípidos en el adipocito, por lo tanto, impide y reduce la deposición de grasa (Mersmann,

1998; 2002; Van Hoof *et al.*, 2005; Yen *et al.*, 1989), aumenta la síntesis de proteína y disminuye de la degradación de la misma; además, estimula la secreción de insulina y aumenta la perfusión sanguínea hacia el músculo (Yen *et al.*, 1989; Mersmann, 1998).

El CZ se une a los receptores β , formando un complejo agonista-receptor que activa a la proteína G, la cual activa a la enzima adenil ciclasa, que se localiza en la membrana celular, esta enzima cataliza la formación de adenosin monofosfato cíclico (AMPc) a partir un adenosin trifosfato (ATP). El AMPc es un importante mensajero intracelular o segundo mensajero, el cual se une a la subunidad reguladora de la proteína quinasa A o proteínakinas A (PKA), esta última fosforiliza dos tipos de proteínas intracelulares; una de estas proteínas es la lipasa sensible a hormonas (LSH), y la otra proteínas que es activada es la perilipina. La LSH es la enzima limitante para la hidrólisis de los triglicéridos almacenados en los adipocitos, hacia ácidos grasos y glicerol. La perilipina se encuentra rodeando las gotas lipídicas y al igual que la LSH se activa con la fosforilación. La LSH se une a las perilipina e hidroliza a los triglicéridos a monoglicéridos. La enzima monoglicérido hidrolasa (MAGh) hidrolisa el monoglicérido en ácidos grasos y glicerol (Mersmann, 1998).

El acetil coenzima A (CoA) carboxilasa, es inactivada con la fosforilación, la cuál es la enzima limitante para la síntesis de ácidos grasos de cadena larga (Smith, 1998; Mersmann, 1998). En ovejas, la respuesta al uso prolongado de los β AA no es clara; Oksbjerg *et al.* (1996) indicaron que los efectos de los β AA en el tejido adiposo son menores que en el músculo.

El CZ tiene un efecto similar en el músculo, solo que el AMPc se une a la proteína activadora de genes, la cual estimula al ácido ribonucleico mensajero (ARNm), enzima responsable de la transcripción del ácido desoxirribonucleico (ADN). Debido al aumento de la perfusión sanguínea hacia el músculo, así como una mayor disponibilidad de energía y aminoácidos, en consecuencia aumenta la síntesis y retención de proteína que favorece la hipertrofia muscular, principalmente de los músculos del cuarto trasero del animal (Li *et al.*, 2000; Ekpe *et al.*, 2000; Castellanos *et al.*, 2006). En el músculo, además de la hipertrofia, ocurren cambios en el tipo de fibra muscular, también hay cambios en la

proporción de ARN de transcripción para proteínas musculares como la miosina y actina (Miller *et al.*, 1988).

Numerosos estudios reportaron que el CZ tiene efectos favorecedores sobre el comportamiento productivo y características de la canal, aumentando el peso vivo (Rathmann *et al.*, 2012; Avendaño *et al.*, 2006) y de la canal (Rathmann *et al.*, 2012; Avendaño *et al.*, 2006; Castellanos *et al.*, 2006), También se ha observado que mejora la ganancia diaria de peso (Rathmann *et al.*, 2012; Avendaño *et al.*, 2006; Castellanos *et al.*, 2006; Plascencia *et al.*, 2008), y la conversión alimenticia (Plascencia *et al.*, 2008), el rendimiento en canal (Rathmann *et al.*, 2012; Avendaño *et al.*, 2006; Castellanos *et al.*, 2006; Plascencia *et al.*, 2008) y el área del *longissimus thoracis* (Rathmann *et al.*, 2011; Beckett *et al.*, 2009; Avendaño *et al.*, 2006; Castellanos *et al.*, 2006). Además, se reduce la grasa de cobertura (Lawrence *et al.*, 2011; Rathmann *et al.*, 2012; Castellanos *et al.*, 2006).

2.6 Características del zinc como micro elemento y su importancia en la función orgánica

El zinc es un elemento químico esencial de número atómico 30 y símbolo Zn situado en el grupo 12 de la tabla periódica de los elementos. Se encuentra en la totalidad de las células, pero existe con mayor abundancia en el músculo esquelético y hueso, los que contienen el 90% del zinc total del organismo. En el músculo, encéfalo, pulmones y corazón las concentraciones son relativamente estables y no responden a las variaciones del contenido del mineral en la dieta. En otros tejidos como hueso, testículos, pelo y sangre, la concentración tiende a reflejar la ingesta dietética del mismo (Cousins, 1999). La ubicua distribución del zinc en las células, y el hecho de que es el oligoelemento intracelular más abundante, indica que sus funciones son muy importantes (Torres y Bahr, 2004). El zinc es un elemento traza esencial requerido para la acción de más de 200 metaloenzimas (Smith y Akinbamizo, 2000), como la superóxido dismutasa con cobre y zinc, anhidrasa carbónica, alcohol deshidrogenasa, carboxipeptidasa, fosfatasa alcalina y ARN polimerasa (Vierboom *et al.*, 2003; Spears, 1989), presenta características antioxidantes, contrarrestando la oxidación, al menos, mediante dos mecanismos: por la unión al grupo sulfhidrilo de las

proteínas y por la ocupación del sitio de unión del hierro y cobre en los lípidos, proteínas y ADN (Bray y Bettger, 1990; Zago y Oteiza, 2001). El zinc es un limpiador de los radicales libres de oxígeno, protegiendo a las células contra el daño oxidativo y la oxidación de lípidos inhibiendo la fosfolipasa (Eggert *et al.*, 2002); también impide la apoptosis inhibiendo las proteasas implicadas en la muerte celular programada o suprimiendo las endonucleasas dependientes de calcio y magnesio, que causan la apoptosis por fragmentación del DNA (Perry *et al.*, 1997; Chai *et al.*, 1999; Truong *et al.*, 2000; Chimienti *et al.*, 2003). Debido a que el Zn está involucrado en el metabolismo de carbohidratos, ácidos nucleicos, lípidos y proteínas, es esencial en la diferenciación y replicación celular (Vierboom *et al.*, 2003). Su deficiencia induce un retardo en el crecimiento y disfunción del sistema inmune del animal (Vierboom *et al.*, 2003).

Se sabe que el Zn está involucrado en el metabolismo adiposo, resistencia a la insulina y en el aumento de la obesidad. La adición *in vitro* de Zn mejora la acción de la insulina para convertir glucosa en lípidos dentro de los adipocitos de ratas y ratones (Shisheva *et al.*, 1992; Chen *et al.*, 1996.). Tang y Shay (2001) informaron que el Zn podría inducir un aumento en el transporte de glucosa en las células, probablemente actuando a través de la vía de señalización de insulina (Chen *et al.*, 1998). El Zn estimula la diferenciación de los preadipocitos de bovino a través de la inhibición del óxido nítrico (NO), un factor importante paracrino que suprime la adipogénesis (Hino *et al.*, 2001).

Se ha reportado que el Zn tiene efecto sobre la ganancia diaria de peso de bovinos en finalización; Spears y Kegley (2002) reportaron un incremento en la ganancia diaria, rendimiento en canal y marmoleo con respecto al control durante 84 días de prueba, con niveles aproximados de 25 mg/kg MS. Beeson *et al.* (1977) realizaron una serie de experimentos utilizando aproximadamente 20 mg/kg MS, encontrando diferencia en uno de los siete experimentos. Spears (1989) señaló que solo se incrementa durante los primeros 56 días de 126 de estudio, con una adición de 24 mg/kg MS. El porcentaje de grasa RCP se incrementa cuando se suplementa Metionina-Zinc a una dosis de 360 mg/día por animal (Nunnery *et al.*, 2000). La Metionina-Zn mejora el crecimiento y características de la canal de ganado de engorda (Brethour, 1984; Spears, 1989). Los novillos alimentados con

metionina-Zn tienden a tener más grasa externa que novillos alimentados con la dieta control (Greene *et al.*, 1988). La concentración de zinc en las dietas de finalización no influyó en el rendimiento en el corral de engorda y tuvo un impacto mínimo en la calidad de la canal en el acabado de los novillos de carne (Malcolm-Callis *et al.*, 2000).

2.7 Propiedades químicas del cromo y su función en el metabolismo de los nutrientes

El cromo es un elemento natural que se encuentra en rocas, animales, plantas y suelo; en los alimentos lo podemos encontrar en la carne, cereales, leche, huevos y verduras; es el elemento número 21 en cuanto a abundancia sobre la corteza terrestre, su contenido promedio en el suelo es de alrededor de 100 mg kg⁻¹ (Jeejeebhoy, 1999; Alvarado *et al.*, 2002). Es un elemento químico con el símbolo Cr, número atómico 24, peso atómico 51.996; es un mineral traza esencial, biológicamente activo de acuerdo a su estado de valencia; con fines nutricionales se emplea en su forma trivalente (Cr-III), casi todas las fuentes de cromo en la naturaleza se encuentran en este estado (NRC, 1997), que es la forma biológicamente activa (Armendariz *et al.*, 2007).

Se cree que los sitios primarios para la absorción del Cr están en el intestino delgado (Valdez, 2005). Una vez absorbido circula como Cr-III libre o es transportado por la transferrina y otras proteínas plasmáticas, o en forma de complejos como la cromodulina, de esta manera llega a los tejidos (Ducros, 1992; Vincent, 2000), se distribuye ampliamente en el cuerpo, encontrándose en mayor cantidad en riñón, músculo e hígado (Cefalu y Hu, 2004) y su vía de excreción es principalmente urinaria (Ducros, 1992). Los requerimientos de Cr se incrementan durante un estado de estrés, ejercicio agotador, durante enfermedades infecciosas, debido al incremento de la pérdida de Cr en orina (Underwood y Suttle, 1999). El cromo puede ser considerado como un modificador metabólico (Domínguez-Vara *et al.*, 2009b), debido a que regula el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas. Su acción está asociada a la insulina ya que la potencializa (Mertz, 1993).

El Cr funciona como parte de un oligopéptido intracelular de bajo peso molecular denominado cromodulina; el oligopéptido en su forma inactiva recibe el nombre de apocromodilina, está compuesto por cuatro aminoácidos (glicina, cisteína, ácido glutámico

y ácido aspártico); al enlazar cuatro iones de Cr recibe el nombre de holocromodulina o cromodulina (Vincent, 2000; Cefalu y Hu, 2004); la cromodulina funciona como parte de un sistema único de autoamplificación de la señal de la insulina (Vincent, 2004). La acción primaria del cromo como complejo cromo-cromodulina es mediante un sistema de autoamplificación de la señal de la insulina por la activación de la región tirosinacinas en la subunidad beta del receptor de insulina (Davis y Vincent, 1997). El proceso comienza cuando la insulina se une a los receptores en la membrana celular, ocasiona un cambio en la conformación de los receptores dando como resultado una autofosforilación de los residuos de tirosina en el lado interno de los receptores, lo cual ocasiona la transformación de los receptores en una tirosina cinasa activa y transmite la señal de la insulina al interior de la célula. En respuesta a la insulina, el cromo desde la sangre, entra a las células sensibles a la insulina, en donde la apocromodulina se carga con cuatro iones de cromo, formando holocromodulina; la holocromodulina se une al receptor, presumiblemente para ayudar a mantener su conformación activa, amplificando la actividad cinasa, permitiendo el paso de glucosa al interior de la célula mediante la movilización de receptores Glut-4 hacia la membrana. Cuando los niveles de insulina en la sangre descienden, facilita la relajación de la conformación de los receptores, y la holocromodulina sale de las células hacia la sangre y es excretada por la orina (Vincent y Bennett, 2007).

Dado que el Cr funciona como cofactor para la acción de la insulina, resulta interesante explorar su efecto en el desempeño productivo, características de la canal y de la carne de rumiantes; sin embargo, los resultados son controversiales al evaluarse diferentes fuentes y niveles de cromo. Pollard *et al.* (1999) suplementaron levadura enriquecida con cromo (Lev-Cr) a nivel de 0.2 mg kg⁻¹ a bovinos y reportaron un incremento en la ganancia de peso (GDP) y área del ojo de la chuleta (AOC); Moonsie-Shageer y Mowat (1993) suplementaron a bovinos 0.2 y 1.0 ppm de Lev-Cr y encontraron un incremento en la GDP sin modificar el AOC. Otra fuente de cromo que se ha empleado es la metionina de cromo (Met-Cr) en novillos, a un nivel de 0.4 y 0.7 mg kg⁻¹, y también mejoró la GDP y el peso final (Barajas *et al.*, 1999); Barajas y Almeida (1999) reportaron que la inclusión de 1.0 ppm de Cr (Met-Cr) en bovinos incrementó 20% la GDP. Domínguez *et al.* (2001)

adicionaron 0.25 o 0.35 mg kg⁻¹ de Cr con 0.3 mg kg⁻¹ de Se a ovinos en engorda intensiva, y encontraron un incremento en la GDP y peso final, así como mayor consumo de materia seca (CMS). Sin embargo, otros autores no han reportado efecto del Cr en el desempeño productivo, características de la canal o de la carne. Moreno-Camarena *et al.* (2015), evaluaron la respuesta productiva, características de la canal y calidad de la carne de ovinos en engorda intensiva, adicionando Cr orgánico en forma de levadura enriquecida con cromo a niveles de 0.2 y 0.4 mg Cr kg⁻¹ MS; el cromo no afectó la respuesta productiva ni características de la canal y calidad de la carne de los ovinos en ninguno de los dos niveles.

III. JUSTIFICACIÓN

La carne aporta valiosos nutrientes con beneficios para la salud; contiene importantes niveles de proteína, vitaminas y minerales esenciales para el crecimiento y el desarrollo del ser humano (FAO, 2014). En México, el consumo de carne de bovinos y ovinos se pronostica que se incrementará en los próximos años; por lo tanto, es importante mejorar la productividad de estas especies con el fin de ofertar mayor producción de carne a la población. Con el sistema de finalización de bovinos y ovinos en corral se buscan alternativas para promover un crecimiento rápido y eficiente, así como mejora en las características de la canal y calidad de la carne; para ello, se han empleado diferentes sustancias como antibióticos, probióticos, enzimas, antimicrobianos, modificadores del sistema inmunitario, modificadores metabólicos o agentes anabólicos. El clorhidrato de zilpaterol (CZ) es un aditivo que se utiliza ampliamente en la engorda intensiva de bovinos y en menor medida en ovinos, cuyo efecto biológico se traduce en la reducción del tejido adiposo, mediante una disminución de la síntesis de lípidos; como consecuencia, hay más nutrientes energéticos disponibles para sintetizar tejido muscular. Esto se traduce en mejor conversión alimenticia y rendimiento en canal en bovinos y ovinos. Sin embargo, algunos estudios han encontrado efectos no deseados sobre la calidad de la canal y la carne, como disminución en el grado de marmoleo y terneza de la carne. El Zn es un oligoelemento esencial, está relacionado con el metabolismo de los hidratos de carbono, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos; participa en la cascada de señalización de la insulina, favorece la deposición de grasa y marmoleo en la carne de bovinos de engorda, y mejora la respuesta productiva de estos. Otro mineral considerado como esencial para rumiantes es el cromo, el cual forma parte de la cromodulina, que potencializa la actividad de la insulina que afecta el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas, con capacidad para mejorar la ganancia de peso, peso de la canal y área del ojo de la costilla en corderos.

Existen varios estudios de los efectos del CZ en bovinos y ovinos, pero se han realizado pocos trabajos sobre la suplementación del CZ en combinación con el Cr y Zn, por lo que se desconoce la respuesta de su combinación en la engorda intensiva de bovinos y ovinos.

IV. HIPÓTESIS

La suplementación de CZ y Metionina-Zinc a bovinos en engorda intensiva puede incrementar la respuesta productiva, depósito de grasa intramuscular y terneza de la carne, con mejores características de la canal y calidad de la carne.

La suplementación de CZ y YCr en la dieta de corderos en engorda intensiva puede mejorar su respuesta productiva, características de la canal y calidad de la carne.

V. OBJETIVOS EXPERIMENTO 1

Objetivos generales

Evaluar la respuesta productiva, características de la canal y propiedades físico-químicas de la carne de toretes en engorda en corral suplementados con clorhidrato de zilpaterol y Metionina-Zinc en la dieta.

Objetivos específicos

- a) Medir la ganancia de peso, consumo de materia seca, conversión alimenticia y peso final de toretes en engorda intensiva suplementados con clorhidrato de zilpaterol y Metionina-Zinc.
- b) Estimar las características de la canal (rendimiento, grasa dorsal, marmoleo, área del ojo de la chuleta, grasa en riñón, pelvis y corazón).
- c) Analizar las propiedades físico-químicas de la carne (materia seca, proteína cruda, extracto etéreo...., pH, temperatura, capacidad de retención de agua, fuerza de corte y perfil de ácidos grasos)

OBJETIVOS EXPERIMENTO 2

Objetivo general

Evaluar la respuesta productiva, características de la canal y propiedades físico-químicas de la carne de corderos en engorda intensiva suplementados con clorhidrato de zilpaterol y levadura enriquecida con Cr en la dieta.

Objetivos específicos

- a) Medir la ganancia de peso, consumo de materia seca, conversión alimenticia y peso final de corderos en engorda intensiva suplementados con clorhidrato de zilpaterol y levadura enriquecida con Cr en la dieta.
- b) Estimar las características de la canal (rendimiento, grasa dorsal, medidas zoométricas, área del ojo de la chuleta, grasa perirrenal, conformación muscular, grado de engrasamiento).
- c)
- d) Analizar las características físico-químicos de la carne (composición química, pH, capacidad de retención de agua, fuerza de corte, perfil de ácidos grasos)

VI. MATERIALES Y METODOS

La investigación fue realizada con la aprobación de la Academia y Comité de Bioética de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, siguiendo la actual regulación de la Ley de Biodiversidad y Protección Animal del Estado de México, México.

6.1 Experimento 1

Localización

Experimento con bovinos en engorda en corral. El experimento, en su fase de respuesta productiva, se llevó a cabo de Diciembre de 2012 a Febrero de 2013 en las instalaciones de la Unidad Experimental para Bovinos en Engorda Intensiva de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, localizada en Trópico Seco (24° 51' de latitud Norte y 107° 26' de longitud Oeste, a 57 m sobre el nivel medio del mar, con una temperatura media anual de 24.8 °C y una precipitación media anual de 689 mm) dentro de las instalaciones de “Ganadera los Migueles, S.A. de C.V. en Culiacán Sinaloa, México (INEGI, 2009).

Los análisis químicos y de calidad de la carne se realizaron en el laboratorio de Bromatología y el de Ciencia y Tecnología de la Carne del Departamento de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, en Toluca, Estado de México, y en el Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal (C.E.P.I.P.S.A.) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Animales y alojamiento

Trecientos veinte toretes (50% raza Brahman), fueron comprados en la ciudad de Mocorito, Estado de Sinaloa, al Noroeste de México; los animales fueron transportados 150 km a la unidad experimental; después de arribar, se alojaron en cinco corrales y fueron alimentados

con heno de alfalfa *ad libitum* y una dieta de recepción; después de cinco días los animales recibieron los manejos regulares de la engorda.

Se seleccionaron al azar según su peso vivo (PV), 60 toretes con un peso medio de 327.85 ± 16.17 kg, con edad próxima a 13 meses; el criterio utilizado fue que contaran con una carga genética (basada en la expresión fenotípica); la raza predominante fue Brahman, todos los animales seleccionados contenían aproximadamente 50% sangre Brahman, y el 50% restante fueron cruza de Pardo Suizo con algo de Simmental y Charolais.

Los animales seleccionados fueron identificados con arete numerado, se pesaron y vacunaron para prevenir infección por *Mannheimia haemolytica* (One Shot; Pfizer Ltd.) y con Ultrabac-Somnubac (Pfizer) para prevenir enfermedades por *Clostridia* e *Histophylus somni*. Se implantaron con Component TES con Tylan (ELANCO Animal Health); se desparasitaron con albendazol y triclabendazol (Albendaphorte PLUS; Lab. Salud y Bienestar) y vitaminaron (Vitafluid, Lab Virbac). Los toretes fueron separados en grupos de 5 animales y alojados en 12 corraletas, con piso de tierra (6 x 12 m), equipadas con 2.4 m de comedero lineal de concreto y 0.55 m de bebedero automático.

Alimentación

Los animales recibieron una dieta basal (DB) (Cuadro1), la cual fue ofrecida una vez al día (15:00 h). El sobrante del alimento se pesó una hora antes de suministrar el alimento diariamente.

El CZ fue ofrecido 35 días antes de la fecha programada para el sacrificio (día 88), en una dosis de 0.15 mg/kg de PV/día por animal (Zilmax® Merck), el cual fue suspendido 72 h antes del sacrificio. El Zinc-Metionina (ZM) fue dado como Zinpro 100® (Zinpro Corporation; Eden Prairie, MN), en una dosis equivalente a 80 mg de Zn kg⁻¹ de MS durante toda la prueba. Las dosis suplementarias por corral de CZ y ZM fueron pesadas diariamente y dispersadas en 1 kg de maíz molido como vehículo. Para asegurar que la dosis completa del tratamiento fuera consumida por los cinco animales de cada corral, el kg

de vehículo con el tratamiento se esparció por toda la superficie del alimento servido en el comedero y se mezcló manualmente con el tercio superior del mismo, usando la técnica de “top dress”.

Cuadro 1. Ingredientes usados en la dieta basal (DB), y su composición química (base seca).

Ingredientes	(g kg ⁻¹ MS)
Rastrojo de maíz	110.9
Maiz molido	716.2
Harinolina	55.5
Melaza de caña	67.2
Sebo	22.2
Premezcla vitamínica y mineral ¹	28.0
Total	1000.0
Composición analizada, Base Seca ²	
ENm (MJ kg ⁻¹ MS)	8.49
ENg (MJ kg ⁻¹ MS)	5.86
PC	133.00
FDN	15.60
Ca	8.50
P	3.60
Zn (mg kg ⁻¹ MS)	73.28

¹Premix: micro minerales (mg/kg) I = 20; Se = 8; Co = 4; Cu = 160; Zn = 2,000; Mn = 1200; Fe = 800; macro minerales (%) S = 0.18 %; P = 0.80%; Ca = 21.28%; Na = 4.72 %; Cl = 7.28%; Vitamina A = 64,000 IU kg⁻¹; Vitamina E = 20,000 IU kg⁻¹; Vitamina D = 300 IU kg⁻¹; PC 112.8% (NNP a partir de urea; 2.8 x 1.128 = 3.16% PC de la dieta basal y 1 g kg⁻¹ de monensina sódica como Rumensin 200® (Elanco Animal Health).

²Valores calculados de acuerdo a los requerimientos de nutrientes para ganado vacuno (NRC, 1996).

Este procedimiento se llevó a cabo inmediatamente después de que la DB fue ofrecida (15:00 h). Durante el experimento, los animales fueron alimentados *ad libitum*, procurando

que dejaran un remante de 5% del alimento ofrecido el día anterior, el cual fue removido y pesado 1 h antes de que se sirviera el alimento del día.

Cada 7 días se tomaron muestras de la dieta y del rechazo, y fueron analizadas para MS (65°C en un horno por 24 h), lo cual fue utilizado para calcular el consumo de materia seca (CMS). Las muestras de alimento fueron analizadas por Kjendahl N x 6.25 (método 976.05, Association of Official Analytical Chemists; AOAC, 2007), y la fibra detergente neutro (FDN; Van Soest *et al.*, 1991) se midió con la técnica modificada para Ankom²⁰⁰ (ANKOM Technology Corporation, Fairport, N.Y.).

Los bovinos fueron pesados el día 1 y el 88. Al peso inicial se le restó el 4% del PV para estimar el llenado del tubo digestivo (NRC, 1996). El peso final (PF) fue obtenido inmediatamente después de que el animal fue introducido a la sala de sacrificio (día 88). La GDP se determinó dividiendo la ganancia de peso que tuvo el animal entre el tiempo que duró la engorda.

Características de la canal

Al terminar el periodo de engorda, los toretes fueron llevados en camión transportador especializado a la planta procesadora TIF-99 (FAPSA y Asociados, S.A. de C.V. México), donde fueron sacrificados siguiendo las normas establecidas. Las canales fueron pesadas inmediatamente al terminar el sacrificio; el rendimiento fue calculado como la relación entre el peso final y peso de la canal caliente. Después de 24 h en refrigeración a 4 °C, se hizo un corte transversal en el *longissimus thoracis* (LM) de la media canal izquierda, entre la 12ª y 13ª costillas, y se dio un tiempo de 15 minutos para permitir la solidificación de la grasa interna. El color fue medido con un colorímetro (Minolta Chroma meter CR-200, usando el espacio de color CIELAB), el pH y temperatura fueron medidos con un potenciómetro equipado con un electrodo de penetración (HANNA model HI99163), para el espesor de grasa dorsal (mm) se utilizó un vernier digital (Absolute Digimatic 500, Mitutoyo Corporation: Japón), el área del *longissimus thoracis* fue medido con plantillas USDA (USDA, 2011), el grado de marmoleo fue determinado visualmente utilizando fotografías de referencias USDA (USDA, 2006), basadas en una escala de 100 puntos (100

= desprovista; 200 = parcialmente desprovisto; 300 = traza; 400 = ligero; 500 = pequeño; 600 = modesto; 700= moderado; 800 = ligeramente abundante; 900 = moderadamente abundante; 1000 = abundante), la grasa alrededor del riñón, pelvis y corazón fue estimada como porcentaje del peso de la canal (USDA, 1997).

Calidad de la carne

Para los análisis de calidad de la carne, se utilizaron muestras de 24 canales (8 canales por bloque y dos canales por tratamiento en cada bloque). Así, cada canal fue considerada como la unidad experimental; para el estudio de calidad de la carne se contó con seis repeticiones por tratamiento y doce repeticiones por factor.

Se realizó un corte primario de la sección de costillas (músculo magro y grasa) de la 10^a a la 14^a costilla de la parte izquierda de cada canal. Una muestra de músculo (50 g) fue tomado del LM, y la capacidad para la retención de agua fue determinada por compresión entre dos placas (Honikel, 1998). La muestras fueron cortadas con un espesor de 2.5 cm y envasadas al vacío y congeladas (-20 °C) para los subsecuentes análisis.

El contenido de MS, ceniza, proteína y grasa fueron determinados según la AOAC (2007). La fuerza de corte fue determinada con la cuchilla Warner-Bratzler, y la perdida por cocción fue estimada por método gravimétrico (American Meat Science Association (AMSA, 1995).

Perfil de ácidos grasos

La extracción de grasa se realizó modificando el proceso convencional propuesto por Bligh y Dyer (1959); para ello, se utilizó una mezcla de cloroformo/metanol (2:1) para suspender 10 g de carne (utilizando una relación de cloroformo/metanol:carne de 10:1). La suspensión fue sometida a irradiación ultrasónica por 60 minutos utilizando un procesador ultrasónico de alta eficiencia (UP200S, Hielscher Ultrasonics), con potencia de salida nominal de 200 W y cuyas vibraciones mecánicas se generan por medio de excitación electrónica a una frecuencia de 24 kHz. Para transmitir la potencia acústica al medio se utilizó un sonotrodo (S14, Hielscher Ultrasonics) variando la amplitud (relacionada directamente con la

densidad y potencia acústica). Posteriormente, se ajustó la proporción cloroformo/metanol/agua (2:1:0.8), la solución se mezcló y se filtró al vacío. La fase líquida obtenida fue sometida a un ajuste final en la proporción cloroformo/metanol/agua (2:2:1.8) y transferida a un embudo de separación para recuperar la fase no acuosa después de 24 horas.

Se retiró la fase inferior (grasa-cloroformo) que se formó. Se extrajo el exceso de solvente (cloroformo) en un evaporador rotatorio al vacío (RE300, Yamato) a una temperatura de 45 °C. Posteriormente, se agregó KOH y metanol (300 µl y 10 ml) y se llevó al ultrasonido por 60 segundos. Se evaporó el metanol utilizando el evaporador rotatorio, a una temperatura de 50 C°. Se le agregó hexano 10 ml y se filtró en filtros Whatman de 0.22 µm pasándose a viales para cromatografía.

Para el análisis cualitativo de la composición de los FAME (Fatty Acid Methyl Esters o Ésteres metílicos de ácidos grasos) se utilizó un estándar de referencia de 37 componentes marca Supelco, se utilizó un equipo de cromatografía de gases Agilent 6890N con espectrómetro de masas Agilent 5973, con columna Omega Wax 250 y helio como gas acarreador, e inyector automático serie 7683. Las condiciones de operación fueron: volumen de inyección 1 µL; flujo 1 mL min⁻¹; temperatura de columna 50 a 270°C (10 min) con una tasa de calentamiento de 5°C min⁻¹.

Diseño experimental y análisis estadístico

Con base en su peso inicial, los animales fueron agrupados en tres bloques (pesados 348.75 ± 18.15 kg; medianos 322.24 ± 3.85 kg; y ligeros 311.55 ± 3.56 kg PV). Cada bloque contó con 4 corrales y hubo cinco bovinos en cada corral; el corral fue considerado la unidad experimental. Dentro de cada bloque, los tratamientos fueron asignados al azar de la siguiente manera: 1) Dieta basal (DB; Testigo), 2) DB + CZ, 3) DB + Zinc-Metionina, y 4) DB + CZ + Zinc-Metionina. Los datos de la prueba productiva, características de la canal y calidad de la carne fueron analizados estadísticamente como un diseño en bloques completos al azar con un arreglo factorial 2x2 de tratamientos (CZ: 0 y 0.15 mg kg⁻¹ PV; ZM: 0 y 80 mg kg⁻¹ MS) usando PROC MIXED (SAS, 2006) con un modelo que incluía

bloque (aleatorio), CZ (arreglo), ZM (arreglo) y CZ x ZM interacción (arreglo). La opción SLICE de SAS (2006) fue usada cuando una interacción de dos-vías fue encontrada a un alfa de $P \leq 0.05$.

6.2 Experimento 2

Este experimento se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México en Toluca, México; y en el Centro de Enseñanza Práctica e Investigación en Producción y Salud Animal (C.E.P.I.P.S.A.) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México, en Topilejo, y en la Facultad de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

Animales, alojamiento y alimentación

Para el segundo experimento se utilizaron veintiocho corderos cruzados con predominancia de la raza Rambouillet, con un peso vivo medio de 27.85 ± 2.91 kg, la duración de la prueba fue de 74 días. Los animales tuvieron siete días de adaptación durante el cual fueron tratados contra parásitos del tubo digestivo con ivermectina (Ivermectina; Sangar) y closantel (Fasciontel; Tornel), y vacunados contra *Pasterella multocida*, *Mannhemia haemolytica* y *Clostridium* (Multibacterina-7; MSD Animal Health), los corderos fueron alojados en corrales individuales de 1.5 x 1.2 m, equipados con bebederos automáticos y comederos; los animales fueron alimentado *ad libitum* con una dieta basal (DB) (Cuadro 7), la dieta se ofreció dos veces al día a las 08:00 y 16:00 h.

Los corderos fueron pesados al día 1 y después cada 15 días, la ganancia diaria de peso (GDP) fue calculada dividiendo el cambio de peso entre los días del periodo de engorda. El alimento ofrecido y rechazado se pesó todos los días, se tomó una muestra del alimento ofrecido y rechazado por semana, y se midió la materia seca en un horno a 60 °C por 24 h (AOAC, 2007); con esta información se calculó el consumo de materia seca. Las muestras secas se mantuvieron en frascos de vidrio hasta ser analizadas para proteína cruda

(Kjendall, Kjeldahl, N x 6.25), extracto etéreo, FDN; y la materia orgánica se determinó en muestras secas de acuerdo con los métodos publicados (AMSA, 1995).

Características de la canal

Una vez completado el periodo de engorda, los borregos fueron transportados hasta la planta procesadora, en el municipio de Capulhuac, Estado de México, aproximadamente a 52 km donde fueron sacrificados; el peso de la canal caliente se registró inmediatamente terminado el faenado, y se calculó el rendimiento en canal caliente. Después de un periodo de enfriamiento a 4 °C por 24 h, se obtuvo el peso de la canal fría; se calculó el rendimiento en canal caliente y pérdida por enfriamiento. Se realizó un corte en el *longissimus thoracis* en la canal izquierda, entre la 12ª y 13ª costilla; el área del *longissimus thoracis* fue medida con una platilla USDA (USDA, 2011), el espesor de la grasa dorsal (mm) se midió con un vernier digital (Absolute Digimatic 500, Mitutoyo Corporation; Japan), y el pH se midió con un potenciómetro equipado con un electrodo de penetración (HANNA modelo HI 99163). La grasa perirrenal se estimó como un porcentaje de la canal, de acuerdo con el código de la siguiente manera: Grado de cobertura del riñón: 1, descubierto; 2, gran ventana; 3, pequeña ventana; 4, totalmente cubierto. Para calcular el grado de engrasamiento de la canal el criterio utilizado fue el siguiente: 1, muy magra; 2, magra; 3, poco graso; 4, graso; 5, muy graso. Para calcular la conformación muscular de la canal se utilizó el siguiente código: 1, pobre; 2, normal; 3, buena; 4, muy buena; 5, excelente; para obtener las variables antes mencionadas se utilizaron como base referencias fotográficas y siguiendo la metodología descrita por Colomer-Rocher *et al.* (1988). Para determinar las medidas zoométricas de la canal (longitud de la canal, longitud de las piernas, perímetro de la pierna, ancho de la grupa y perímetro de la grupa), se utilizó una cintra métrica y reglas graduadas.

Cuadro 2. Ingredientes usados y composición química final de la dieta basal (DB).

Ingrediente	(g 100 g ⁻¹ MS)
Paja de maíz	15.0
Maíz molido	57.0
Soya	14.0
Canola	5.0
Salvado	5.0
Premezcla mineral y vitaminas ¹	2.5
Bicarbonato de sodio	1.5
Composición analizada, Base Seca	
Proteína Cruda ²	13.9
Energía digestible, MJ kg ⁻¹ ³	14.184
Energía metabolizable, MJ kg ⁻¹ ³	11.715
Energía neta para mantenimiento, MJ kg ⁻¹ ³	7.832
Energía neta para ganancia, MJ kg ⁻¹ ³	5.205

¹Ca, 4500 g; Zn, 1.5 g; Cu, 20 g; Fe, 140 g; K, 90 mg; Co, 500 g; Mg, 36 g; I, 500 mg; Se 90 mg; Na, 125 g; V_A, 3000 IU kg⁻¹; V_{D3}, 750 IU kg⁻¹; V_E, 25 IU kg⁻¹.

² Determinado en laboratorio.

³ Calculado a partir de la composición de los ingredientes de la dieta (NRC, 2007).

Calidad de la carne

Se tomaron cuatro muestras por animal de la 13^a a la 10^a costilla, las cuales fueron empaquetadas al alto vacío y congeladas a -20 °C hasta su análisis. El contenido de materia seca, ceniza, proteína y grasa fueron determinadas por duplicado (AOAC, 2007). Se evaluó la fuerza de corte usando la cuchilla Warner-Bratzler (SALTR®, G-R. Elec. Mfg. Co. Collins Lane, MA), y la pérdida por cocción se estimó siguiendo la metodología propuesta por AMSA (1995).

Perfil de ácidos grasos

Se realizó de forma similar al análisis del experimento uno.

Diseño experimental y análisis estadístico

Antes de iniciar el experimento los corderos fueron pesados individualmente y de acuerdo con un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2 de tratamiento fueron asignados al azar siete borregos por tratamiento de la siguiente manera. 1) Dieta basal (DB; Testigo), 2) DB más clorhidrato de zilpaterol (CZ; 0.2 mg kg⁻¹ PV), 3) DB más levadura enriquecida con Cr (LCR; 0.3 mg kg⁻¹ MS), y 4) DB más CZ y LCR (CZ 0.2 mg kg⁻¹ PV + LCR 0.3 mg kg⁻¹ MS). Los resultados fueron analizados usando el PROC MIXED (SAS, 2006) cuando una interacción fue encontrada ($P \leq 0.05$), las medias de los tratamientos fueron comparadas usando la prueba de Tukey (Steel *et al.*, 1997). El PV inicial de los corderos fue utilizado con covariable.

El CZ fue ofrecido por 33 días antes de la fecha estimada de sacrificio y se retiró tres días antes del sacrificio; el CZ fue dado como Zilmax® (Merck Animal Health Millsboro, DE), contenía 4.8% del β_2 -agonista, y fue suplementado en una dosis equivalente a 0.20 mg kg⁻¹ PV. El cromo (Cr) se ofreció como premezcla de levadura enriquecida con cromo BioChrome® (Co-Factor III Cr³⁺) (Alltech, Inc. Nicholasville, KY, USA), en una dosis equivalente a 0.3 mg de Cr kg⁻¹ MS. La dosis correspondiente a cada tratamiento fue servida por la mañana encima de la DB (top dress).

VII. RESULTADOS GENERALES

7.1 Carta de artículo aceptado

Canadian Journal of Animal Science - Decision on Manuscript ID CJAS-2014-175.R2

manuel.juarez@agr.gc.ca

Para: igy92@hotmail.com, iadominguezv@uaemex.mx CC: Kees.Plaizier@ad.umanitoba.ca

16-Jul-2015

Manuscript ID CJAS-2014-175.R2 - "Supplementation of zilpaterol hydrochloride and zinc methionine upon the productive response, carcass characteristics and meat quality in intensively fattening beef cattle"

Dear Dr. Domínguez-Vara:

Upon reading the corrected version of your manuscript and your point-by-point response to the reviewers' comments, it is apparent that you have addressed all the issues raised by the reviewers. I am happy to inform you that your paper is now acceptable for publication in the Canadian Journal of Animal Science.

I would like to take this opportunity to inform you that page-cover charges are less for members of the Canadian Society of Animal Science. Should you wish to join CSAS you can do so by filling an application form available on the internet at <http://www.csas.net/index.php?r=SBCms/home.html> under the membership section.

The Editorial Office will contact you to let you know the issue in which the manuscript will be published and to obtain any other information that may be needed.

Thank you for your fine contribution. On behalf of the Editors of the Canadian Journal of Animal Science, we look forward to your continued contributions to the Journal.

Sincerely,

Dr. M. Juarez
Associate Editor, Canadian Journal of Animal Science
manuel.juarez@agr.gc.ca

****If you have been asked to make additional changes to your manuscript, please send a final copy (text/tables must be in Word or WP format) to the Editorial Office by email (journals@aic.ca).**

7.1.1 Artículo aceptado

Y:/Agricultural Institute of Canada/CJAS/Articles/CJAS-2014-175/CJAS-2014-175.3d[x]

Thursday, 1st October 2015 10:59:3

ARTICLE IN PRESS

Effects of zilpaterol hydrochloride and zinc methionine on growth performance and carcass characteristics of beef bulls

Miguel A. Rodríguez-Gaxiola¹, Ignacio A. Domínguez-Vara^{1,4}, Rubén Barajas-Cruz²,
María A. Mariezcurrema-Berasain¹, José L. Bórquez-Gastelum¹, and
Billy J. Cervantes-Pacheco³

¹Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Nutrición Animal, Campus Universitario "El Cerrillo", Toluca, Estado de México, CP. 50090; ²Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Gral. Ángel Flores Pte. S/N Col. Centro, 8000 Culiacán, Sinaloa, México; and ³Ganadera Los Migueles, S.A. de C.V. Culiacán, Sinaloa, México. Received 16 November 2014, accepted 16 July 2015. Published on the web 10 August 2015.

Rodríguez-Gaxiola, M. A., Domínguez-Vara, I. A., Barajas-Cruz, R., Mariezcurrema-Berasain, M. A., Bórquez-Gastelum, J. L. and Cervantes-Pacheco, B. J. 2015. Effects of zilpaterol hydrochloride and zinc methionine on growth performance and carcass characteristics of beef bulls. *Can. J. Anim. Sci.* 95: xxx-xxx. Sixty beef bulls with a body weight (BW) of 314.7 ± 16.2 kg were used to evaluate the effects of zilpaterol hydrochloride (ZH) and zinc methionine (ZM) on growth performance and carcass characteristics. The experimental design was a randomized complete block, with a factorial 2×2 arrangement of treatments (ZH: 0 and 0.15 mg kg BW⁻¹; ZM: 0 and 80 mg kg⁻¹ dry matter). The ZH increased ($P < 0.05$) the final BW, average daily gain, feed conversion, carcass yield and longissimus dorsi area. Bulls fed ZH plus ZM had less ($P < 0.01$) backfat thickness and intramuscular fat (IMF) compared with those fed ZH or ZM alone. The ZH increased ($P < 0.02$) the meat crude protein content and cooking loss. It is therefore concluded that ZH increases growth performance, carcass yield, longissimus dorsi area, and meat crude protein. The interaction of ZM and ZH did not present additional advantages. The reason for the reduction in backfat thickness and IMF by ZH plus ZM is unclear, and implies that our knowledge of β -agonistic adrenergic substances and their interactions with minerals is incomplete.

Key words: Beef bulls, zilpaterol hydrochloride, zinc methionine

Rodríguez-Gaxiola, M. A., Domínguez-Vara, I. A., Barajas-Cruz, R., Mariezcurrema-Berasain, M. A., Bórquez-Gastelum, J. L. et Cervantes-Pacheco, B. J. 2015. Les effets du chlorhydrate de zilpatérol et de la méthionine de zinc sur les performances de croissance et caractéristiques de carcasse des taureaux de boucherie. *Can. J. Anim. Sci.* 95: xxx-xxx. Soixante taureaux de boucherie de poids corporel (BW – « body weight ») $314,7 \pm 16,2$ kg ont été utilisés pour évaluer les effets du chlorhydrate de zilpatérol (ZH – « zilpaterol hydrochloride ») et du méthionine de zinc (ZM – « zinc methionine ») sur les performances de croissance et les caractéristiques de carcasse. Le design expérimental était un bloc aléatoire complet, avec un arrangement factoriel de 2×2 traitements (ZH : 0 et 0,15 mg kg BW⁻¹ ; ZM : 0 et 80 mg kg⁻¹ matières sèches – DM – « dry matter »). Le ZH a augmenté ($P < 0,05$) le BW final, le gain moyen quotidien, l'indice de consommation, le rendement de carcasse et l'aire du muscle longissimus dorsi. Les taureaux nourris de ZH et de ZM avaient une plus faible ($P < 0,01$) épaisseur de gras dorsal et de gras intramusculaire (IMF – « intramuscular fat ») par rapport aux taureaux nourris de ZH seulement ou ZM seulement. Le ZH a augmenté ($P < 0,02$) la teneur en protéines brutes de la viande et les pertes à la cuisson. Par conséquent, on peut conclure que le ZH augmente la performance de croissance, le rendement de la carcasse, l'aire du muscle longissimus dorsi et le taux de protéines brutes de la viande. L'interaction de ZM et de ZH ne présente pas d'avantages supplémentaires. La réduction de épaisseur de gras dorsal et du IMF par ZM et ZH ensemble demeure incomprise et souligne que nos connaissances des substances β -agonistes adrénérgiques et leurs interactions avec les minéraux sont encore incomplètes.

Mots clés: Taureaux de boucherie, chlorhydrate de zilpatérol, méthionine de zinc

Zilpaterol hydrochloride (ZH) is an adrenergic β -agonist that in some countries, such as Mexico, the United States, South Africa and Canada, is used as a feed additive to increase the carcass dressing of beef cattle (Delmore et al. 2010). Zilpaterol hydrochloride induces lipolysis and redirects energy towards protein synthesis, which

leads to muscle hypertrophy (Helferich et al. 1990; Mersmann 1998), although some studies have indicated that ZH reduces meat tenderness (Garmyn et al. 2010; Bohrer et al. 2014). Since one of the attributes that has an

Abbreviations: BW, body weight; DM, dry matter; DMI, dry matter intake; HCW, hot carcass weight; IMF, intramuscular meat fat; KPH, fat in kidney, pelvis and heart; ZH, zilpaterol hydrochloride; ZM, zinc methionine

⁴Corresponding author (e-mail: igy92@hotmail.com).

Can. J. Anim. Sci. (2015) 95: 1–7 doi:10.4141/CJAS-2014-175

1

Author: Please check edits carefully and make any necessary changes.

ARTICLE IN PRESS

2 CANADIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE

impact on the satisfaction of beef consumers is tenderness and because this can be enhanced by an increased intramuscular fat (IMF) content (Brooks et al. 2010), it is important to look for alternatives that allow an increase IMF in beef cattle fed ZH. Zinc is an essential trace element that is related to the metabolism of carbohydrates, proteins, lipids and nucleic acids (Smith and Akinbamizo 2000; Vierboom et al. 2003). Zinc has been related to several mechanisms, such as being a lipogenic compound (Malcom-Callis et al. 2000; Oh and Choi 2004), stimulating lipogenesis and inhibiting lipolysis (Coulston and Dandona 1980; May and Contoreggi 1982) through insulin signaling (May and Contoreggi 1982; Saltiel and Kahn 2001; Eom et al. 2001; Park et al. 2003). Adding Zn to diets favors the deposition of fat and the degree of marbling in meat of feedlot cattle (Greene et al. 1988; Spears and Kegley 2002). Adding organic Zn produces better results than inorganic sources (Malcom-Callis et al. 2000; Spears and Kegley 2002; Nunnery et al. 2007). The National Research Council (NRC 1996) recommends 30 mg Zn kg⁻¹ dry matter (DM) for fattening cattle. In practice, nutritionists from United States and Brazil use from 49 to 93 mg Zn kg⁻¹ DM (Vasconcelos and Galyean 2007; Millen et al. 2009). Nunnery et al. (2007) found that the best productive response in fattening steers was obtained with 75 mg Zn kg⁻¹ DM. Therefore, our hypothesis is that ZH plus zinc methionine (ZM) may increase the growth performance, IMF, meat tenderness and carcass characteristics of beef bulls. The objective of this study was to evaluate the effects of zilpaterol hydrochloride and zinc methionine on the growth performance and carcass characteristics of beef bulls.

MATERIALS AND METHODS

This research project was approved by the Bioethic and Animal Welfare Committee of Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia of the Universidad Autónoma del Estado de México, and followed principles established by the Canadian Council on Animal Care (1993). The feedlot trial and carcass evaluation were carried out in the feedlot facilities of the Facultad de Veterinaria y Ciencia Animal, Universidad Autónoma de Sinaloa in Culiacan, México. Meat evaluations and feed analysis were carried out in the Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México in Toluca, México.

Animals and Treatments

Sixty 13-mo-old crossbreed bulls, 50% Brahman and 50% European cattle, with a body weight (BW) of 314.7 ± 16.2 kg were selected. Bulls were vaccinated (One Shot of Ultrabac-Somnubac; Pfizer Ltd), implanted (Component TE-S implant with Tylan, Elanco Animal Health) and dewormed (Albendophorte PLUS, Lab Salud y Bienestar Animal S.A. de C.V. México). Based on the initial BW, bulls were grouped into three blocks

(heavy 349.8 ± 18.2 kg, medium 322.2 ± 3.9 kg, and light 311.6 ± 3.6 kg BW). Each block had four pens with five bulls in each. Pen (6 × 12m) was considered the experimental unit (*n* = 12). Pens were equipped with a bunk feeder and an automatic drinking trough. Bulls were fed once a day (1500) with a basal diet (Table 1).

Within each block, the treatments were randomly assigned as follow: (1) control, (2) ZH, (3) ZM, and (4) ZH+ZM. Bulls were fed ZH (Zilmax[®], Merck Animal Health, Summit, NJ) at 0.15 mg kg⁻¹ BW from day 35 to day 88, and ZM (Zinpro 100[®], Zinpro Corporation; Eden Prairie, MN) at 80 mg kg⁻¹ DM during the entire trial. Doses of ZH and ZM were calculated daily and mixed with 1 kg of ground corn, which was hand-mixed with the top third of the basal diet contained in the feed bunk, using the "top dress" technique, immediately after diet was delivered. Bulls were fed once daily (1500) and enough feed was offered to provide 5% feed refusal. Diet offered and diet refused were measured daily. Diet was sampled weekly from the feed mixer wagon (Tormex 1200, Torreón, Mexico) and composited by month. Diet and refusals were analyzed for DM (65°C oven 24 h) and this was used for DM intake (DMI) calculations. Feed samples were analyzed for Kjeldahl N × 6.25 [method 976.05, Association of Official Analytical Chemists (AOAC) 2007] and neutral detergent fiber [Van Soest et al. (1991) modified for Ankom²⁰⁰ fiber analyzer, Ankom Technology, Fairport, NY].

Bulls were weighted at day 1 and day 88. For initial BW (day 1), 4% was subtracted from their weight as fill of digestive tract (NRC 1996). Final BW (day 88) was obtained immediately after insensibility was induced in the slaughterhouse.

Table 1. Dietary ingredients used and final chemical composition of basal diet

Ingredient composition (g kg ⁻¹ DM)	
Corn stover	110.9
Ground corn grain	716.2
Cotton seed meal	55.5
Cane molasses	67.2
Tallow	22.2
Vitamins and minerals premix ^a	28.0
Nutrient composition (g kg ⁻¹ DM)	
CP (g kg ⁻¹ DM)	133.0
NDF (g kg ⁻¹ DM)	15.6
ENg (MJ kg ⁻¹ DM) ^b	5.86
Zn (mg kg ⁻¹ DM) ^b	73.28

^aPremix: microminerals (mg kg⁻¹) I, 20; Se, 8; Co, 4; Cu, 160; Zn, 2000; Mn, 1200; Fe, 800; macrominerals (%) S, 0.18; P, 0.80; Ca, 21.28; Na, 4.72; Cl, 7.28. Vitamin A, 64 000 IU kg⁻¹; vitamin E, 20 000 IU kg⁻¹; vitamin D, 300 IU kg⁻¹; CP, 112.8% (NMP from urea; 2.8 × 1.128 = 3.16% CP to basal diet and 1 g kg⁻¹ of sodium monensin from Rumensin 200[®] (Elanco Animal Health).

^bValues according to nutrient requirements for beef cattle (National Research Council 1996).

ARTICLE IN PRESS

RODRÍGUEZ-GAXIOLA ET AL. — ZILPATEROL HYDROCHLORIDE AND ZINC METHIONINE 3

Carcass Characteristics

Once the feedlot period ended, bulls were transported by truck (27 km) to the processing plant TIF-99 (FAPSA y Asociados, S.A. de C.V. México), and slaughtered following established standards. Carcasses were weighted immediately after slaughter; hot carcass weight (HCW) was obtained and carcass dressing was calculated as the final BW to HCW ratio. After 24 h chilling at 4°C, a cross cut was performed in the longissimus dorsi of the left side of the carcass, between the 12th and 13th ribs, and left for 15 min to allow solidification of the internal fat. The meat color was measured with a colorimeter (Minolta Chromameter CR-200, using the CIELAB color space), pH and temperature were measured with a potentiometer fitted with a penetration electrode (HANNA model HI 99163), backfat thickness (mm) was measured with a digital vernier (Absolute Digimatic 500, Mitutoyo Corporation; Japan), the longissimus dorsi area was measured with a United States Department of Agriculture template (USDA 2011), degree of marbling of the meat was determined visually (reference photographs; USDA 2006) based on a 10-point scale (100 = devoid; 200 = practically devoid; 300 = trace; 400 = slight; 500 = small; 600 = modest; 700 = moderate; 800 = slightly abundant; 900 = moderately abundant; and 1000 = abundant), and fat around the kidney, pelvis and heart was estimated as a percentage of the carcass weight (USDA 1997).

Meat Quality Trait

Twenty-four carcasses were used for the meat quality analysis (eight carcasses per block and two carcasses per treatment in each block). **As each carcass was considered the experimental unit, the study of meat quality had six repetitions by treatment and 12 replicates for factor.**

A primal rib section based on lean muscle and fat from ribs 10 to 14 was removed from the left side of each carcass. Muscle samples (50 g) were taken from the longissimus dorsi, and the capacity for water retention was determined by compression between two plates (Honikel 1998). **The rib section was weighed, with four 2.5-cm steaks obtained from the rib section vacuum packed and frozen (–20°C) for subsequent analysis.** The DM content, ash, protein and fat were determined

according to AOAC (2007). The shear force was determined with a Warner–Bratzler blade and the loss due to cooking was estimated by gravimetric methods (American Meat Science Association 1995).

Statistical Analysis

Growth performance, carcass characteristics and meat quality data were analyzed statistically as a randomized complete block design with a 2 × 2 factorial arrangement of treatments (ZH: 0 and 0.15 mg kg^{–1} BW; ZM: 0 and 80 mg kg^{–1} DM) using PROC MIXED (SAS Institute Inc. 2006) with a model that included block (random), ZH (fixed), ZM (fixed) and ZH × ZM interaction (fixed). The SLICE option (SAS Institute Inc. 2006) was used when a two-way interaction was found at $P \leq 0.05$.

RESULTS AND DISCUSSION**Growth Performance**

The final BW and average daily gain of bulls fed ZH were, respectively, 4.8 and 17.6% higher ($P = 0.05$) than bulls on the control treatment or fed the ZM diet.

Treatments did not affect DMI ($P > 0.05$); thus, feed conversion was increased ($P < 0.01$) 14.8% (Table 2). Growth performance, DMI and feed conversion were not affected ($P > 0.05$) by ZM, and there was no interaction ($P > 0.05$) between ZH and ZM treatments. The increased weight gain found with the use of ZH in cattle and sheep (Montgomery et al. 2009; Mondragón et al. 2010; McEvers et al. 2014) could be due to an increase in muscle protein synthesis and a decrease in muscle protein turnover (Helferich et al. 1990; Johnson et al. 2014). The anabolic activity of ZH is mediated by an enhancement in cAMP activity (Mersmann 1998), and this can cause an increase in mRNA that codifies for myosin heavy chain-IIX and IIB in the bovine muscle cell (Baxa et al. 2010; Hemmings et al. 2014). In agreement with our results, previous studies with cattle and sheep have shown beneficial effects of ZH on feed conversion (Avendaño-Reyes et al. 2006; McEvers et al. 2014; Bohrer et al. 2014) as a result of increase in weight gain, with no effect on DMI (Mondragón et al. 2010; Lawrence et al. 2011; Parr et al. 2011).

Table 2. Effect of zilpaterol hydrochloride and zinc methionine on the growth performance of beef bulls

Item	– ZH ^a		+ ZH ^a		SEM ^b	Effect ^a		
	– ZM	+ ZM	– ZM	+ ZM		ZH	ZM	ZH × ZM
Initial body weight (kg)	314.4	314.6	314.9	314.8	13.40	–	–	–
Final body weight (kg)	470.4	497.0	465.2	483.2	9.89	0.05	NS	NS
Dry matter intake (kg d ^{–1})	10.8	10.6	11.0	10.7	0.38	NS	NS	NS
Average daily weight (kg d ^{–1})	1.7	2.0	1.7	1.9	0.11	0.02	NS	NS
Feed conversion (kg)	6.35	5.30	6.47	5.63	0.25	0.01	NS	NS

^a – ZH, zilpaterol hydrochloride at 0 mg kg^{–1} BW; + ZH, zilpaterol hydrochloride at 0.15 mg kg^{–1} BW; – ZM, zinc methionine at 0 mg kg^{–1} DM; + ZM, zinc methionine at 80 mg kg^{–1} DM.

^bSEM, standard error of the mean.

^cNS, not significant at $P > 0.05$.

Author:
OK?

ARTICLE IN PRESS

4 CANADIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE

Table 3. Effect of zilpaterol hydrochloride and zinc methionine on carcass characteristics of beef bulls

Item	- ZH ^a		+ ZH ^a		SEM ^b	Effect ^c		
	- ZM	+ ZM	- ZM	+ ZM		ZH	ZM	ZH × ZM
Hot carcass weight (kg)	283.5	305.5	278.3	297.8	2.39	0.01	NS	NS
Hot carcass dressing (%)	60.2	61.4	59.8	61.6	0.97	0.05	NS	NS
Longissimus dorsi area (cm ²)	70.5	76.7	69.7	67.9	1.02	0.01	NS	NS
Kidney, pelvis and heart fat (%)	1.7	2.0	2.4	2.2	0.06	0.01	NS	NS
Marbling ^d	460.0	453.3	440.0	453.3	8.60	NS	NS	NS
pH at 24 h	6.3	6.0	5.9	5.9	0.02	0.01	0.01	0.02
Temperature at 24 h (°C)	2.8	2.1	2.4	2.6	0.10	0.02	0.01	NS
Meat color								
<i>L</i> [*]	22.0	20.7	21.2	22.6	1.00	NS	NS	NS
<i>a</i> [*]	2.4	2.7	3.5	2.3	0.45	NS	NS	NS
<i>b</i> [*]	16.8	12.7	13.6	10.4	0.86	0.02	0.05	NS
Backfat thickness (mm)	5.6	7.5	8.4	6.2	0.441	NS	NS	0.01
Intramuscular meat fat (g kg ⁻¹ BH)	46.0	49.0	49.0	34.0	0.241	NS	NS	0.01

^a - ZH, zilpaterol hydrochloride at 0 mg kg⁻¹ BW; + ZH, zilpaterol hydrochloride at 0.15 mg kg⁻¹ BW; - ZM, zinc methionine at 0 mg kg⁻¹ DM; + ZM, zinc methionine at 80 mg kg⁻¹ DM.

^b SEM, standard error of the mean.

^c NS, not significant at $P > 0.05$.

^d Lacking = 300; light = 400; small = 500; modest = 600.

Carcass Characteristics

Hot carcass weight and dressing increased 7.4% ($P < 0.01$) and 2.5% ($P < 0.05$), respectively, with ZH compared with treatments without ZH (Table 3). This is in agreement with previous studies, which were within the range 4.0 to 5.7% for HCW and 1.8 to 2.6% for carcass dressing (Lawrence et al. 2011; Parr et al. 2011; McEvers et al. 2014). Several studies have reported increases in hot carcass dressing in steers fed β -adrenergic agonists (Schroeder et al. 2003; Avendaño-Reyes et al. 2006; Boler et al. 2012; Bohrer et al. 2014). Although some studies have reported an effect of β -adrenergic agonists on carcass dressing (Winterholler et al. 2007; Scramlin et al. 2010), **increases of at least 1.5% are expected in beef cattle** (Schroeder et al. 2003; Avendaño-Reyes et al. 2006). Bulls fed ZH had a 13.4% greater longissimus dorsi area compared with bulls not fed ZH; this may be due to the inhibition of protein turnover and promotion of the synthesis of myofibrillar protein, which causes muscle hypertrophy (Ricks et al. 1984; Johnson et al. 2014).

An increase in longissimus dorsi area has been observed in many studies when ZH is fed to cattle (Montgomery et al. 2009; Lawrence et al. 2011; McEvers et al. 2014). Feeding ZH to beef cattle usually decreases fat content, both fat around the kidney, pelvis and heart and marbling fat (Johnson et al. 2014), but this was not observed in our study.

Meat pH was not affected ($P > 0.20$) by ZH or ZM. This agrees with other studies with beef steers (Avendaño-Reyes et al. 2006; Bohrer et al. 2014). Meat temperature was reduced ($P = 0.02$) by feeding ZH. The degree of fattening might be related to this effect, since adipose tissue provides protection from cold temperatures (Murray 1989); carcasses with less fat cover cool faster. Although no effect ($P = 0.75$) of ZH was found on backfat thickness, its distribution was not evaluated in this study.

The brightness and intensity of red color in the meat (color spaces L^* and a^*) were not affected ($P > 0.20$) by ZH or ZM, but the intensity of yellow (color space b^*)

Table 4. Effect of zilpaterol hydrochloride and zinc methionine on longissimus dorsi characteristics of beef bulls

Item	- ZH ^a		+ ZH ^a		SEM ^b	Effect ^c		
	- ZM	+ ZM	- ZM	+ ZM		ZH	ZM	ZH × ZM
Dry matter (g kg ⁻¹)	267.8	274.8	260.8	260.9	3.62	NS	NS	NS
Ash (g kg ⁻¹)	13.9	13.8	14.6	14.0	0.04	NS	NS	NS
Protein (g kg ⁻¹)	221.6	236.5	215.8	227.3	3.43	0.01	NS	NS
Capacity for water retention (%)	92.6	92.7	92.7	92.8	0.60	NS	NS	NS
Cooking loss (%)	27.3	31.4	25.3	28.5	1.01	0.02	NS	NS
Shear force (kg cm ⁻²)	9.2	10.0	9.3	7.7	0.67	NS	NS	NS

^a - ZH, zilpaterol hydrochloride at 0 mg kg⁻¹ BW; + ZH, zilpaterol hydrochloride at 0.15 mg kg⁻¹ BW; - ZM, zinc methionine at 0 mg kg⁻¹ DM; + ZM, zinc methionine at 80 mg kg⁻¹ DM.

^b SEM, standard error of the mean.

^c NS, not significant at $P > 0.05$.

ARTICLE IN PRESS

6 CANADIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE

- Greene, L. W., Lunt, D. K., Byers, F. M., Chirase, N. K., Richmond, C. E., Knutson, R. E. and Schelling, G. T. 1988. Performance and carcass quality of steers supplemented with zinc oxide or zinc methionine. *J. Anim. Sci.* **66**: 1818–1823.
- Helferich, W. G., Jump, D. B., Anderson, D. B., Skjaerlum, D. M., Merkel, R. A. and Bergen, W. G. 1990. Skeletal muscle β -actin is increased pretranslational in pigs fed the phenothalamine ractopamine. *Endocrinology* **126**: 3096–3100.
- Hemmings, K. M., Daniel, Z. C. T. R., Buttery, T. J., Parr, T. and Brameld, J. M. 2014. Differential effects of short-term β agonist and growth hormone treatments on expression of myosin heavy chain IIB and associated metabolic genes in sheep muscle. *Animal* **9**: 285–294.
- Hilton, G. G., Montgomery, J. L., Krehbiel, C. R., Yates, D. A., Hutcheson, J. P., Nichols, W. T., Streeter, M. N., Blanton, J. R., Jr. and Miller, M. F. 2009. Effects of feeding zilpaterol hydrochloride with and without monensin and tylosin on carcass cutability and meat palatability of beef steers. *J. Anim. Sci.* **87**: 1394–1406.
- Holmer, S. F., Fernández-Dueñas, D. M., Scramlin, S. M., Souza, C. M., Boler, D. D., McKeith, F. K., Killefer, J., Delmore, R. J., Beckett, J. L., Lawrence, T. E., VanOverbeke, D. L., Hilton, G. G., Dikeman, M. E., Brooks, J. C., Zinn, R. A., Streeter, M. N., Hutcheson, J. P., Nichols, W. T., Allen, D. M. and Yates, D. A. 2009. The effect of zilpaterol hydrochloride on meat quality of calf-fed Holstein steers. *J. Anim. Sci.* **87**: 3730–3738.
- Honikel, K. O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* **49**: 447–457.
- Johnson, J. B., Smith, B. S. and Chung, Y. K. 2014. Historical overview of the effect of β -adrenergic agonists on beef cattle production. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* **27**: 757–766.
- Lawrence, T. E., Gasch, T. E., Hutcheson, C. A. and Hodgson, J. P. 2011. Zilpaterol improves feeding performance and fabrication yield of concentrate-finished cows. *J. Anim. Sci.* **89**: 2170–2175.
- MacDougall, D. B. 1977. Colour in meat. In G. G. Birch, J. G. Brennan, and K. Parker, eds. *Sensory properties of foods*. Applied Science Publishers, London, UK. 59 pp.
- Malcolm-Callis, K. J., Duff, J. C., Gunter, S. A., Kegley, E. B. and Vermeire, D. A. 2000. Effects of supplemental zinc concentration and source on performance, carcass characteristics, and serum values in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.* **78**: 2801–2808.
- May, J. M. and Contoreggi, C. S. 1982. The mechanism of the insulin-like effects of ionic zinc. *J. Biol. Chem.* **257**: 4362–4368.
- McEvers, T. J., Dorin, L., Berg, J. L., Royan, G., Hutcheson, J., Appleyard, G. D. and Lawrence, T. E. 2013. Effect of leptin genotype and zilpaterol hydrochloride supplementation on the growth rate and carcass characteristics of finishing steers. *Can. J. Anim. Sci.* **93**: 199–204.
- McEvers, T. J., Walter, L. C., DeFoor, P. J., Swingle, R. S., Hutcheson, J. P. and Lawrence, T. E. 2014. The effect of supplementing zilpaterol hydrochloride on feeding performance and carcass characteristics of steers sorted by leptin genotype. *J. Anim. Sci.* **92**: 332–338.
- Mersmann, H. J. 1998. Overview of the effects of beta-adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action. *J. Anim. Sci.* **76**: 160–172.
- Millen, D. D., Pacheco, R. D., Arrigoni, M. D. B., Gaylean, M. L. and Vasconcelos, J. T. 2009. A snapshot of management practices and nutritional recommendations used by feedlot nutritionist in Brazil. *J. Anim. Sci.* **87**: 3427–3439.
- Mondragón, J., Domínguez-Vara, I. A., Pinos-Rodríguez, J. M., González, M., Bórquez, J. L., Domínguez, A. and Mejía, M. L. 2010. Effects of feed supplementation of zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass traits of finishing lambs. *Acta Agric. Scan. Anim. Sci.* **60**: 47–52.
- Montgomery, J. L., Krehbiel, C. R., Cranston, J. J., Yates, D. A., Hutcheson, J. P., Nichols, W. T., Streeter, M. N., Bechtol, D. T., Johnson, E., TerHune, T. and Montgomery, T. H. 2009. Dietary zilpaterol hydrochloride. I. Feedlot performance and carcass traits of steers and heifers. *J. Anim. Sci.* **87**: 1374–1383.
- Murray, A. C. 1989. Factors affecting beef color at time of grading. *Can. J. Anim. Sci.* **69**: 347–355.
- National Research Council. 1996. Nutrient requirements of beef cattle. 7th ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Nunnery, G. A., Vasconcelos, J. T., Parsons, C. H., Salyer, G. B., Defoor, P. J., Valdez, F. R. and Galyean, M. L. 2007. Effects of source of supplemental zinc on performance and humoral immunity in beef heifers. *J. Anim. Sci.* **85**: 2304–2313.
- Oh, Y. S. and Choi, C. B. 2004. Effects of zinc on lipogenesis of bovine intramuscular adipocytes. *Asian Austr. J. Anim. Sci.* **17**: 1378–1382.
- Oscar, T. P. 1995. Lipid mobilization from chicken fat cells. Pages 93–112 in S. B. Smith and D. R. Smith, eds. *Biology of fat in meat animals: Current advances*. American Society of Animal Science, Champaign, IL.
- Park, K. S., Lee, N. G., Lee, K. H., Seo, J. T. and Choi, K. Y. 2003. The ERK pathway involves positive and negative regulations of HT-29 colorectal cancer cell growth by extracellular zinc. *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.* **285**: 1181–1188.
- Parr, S. L., Chung, K. Y., Galyean, M. L., Hutcheson, J. P., DiLorenzo, N., Hales, K., May, M. L., Quinn, M., Smith, D. and Johnson, B. 2011. Performance of finishing beef steers in response to anabolic implant and zilpaterol hydrochloride supplementation. *J. Anim. Sci.* **89**: 560–570.
- Ricks, C. A., Dalrymple, R. H., Baker, P. K. and Ingle, D. L. 1984. Use of a β -agonist to alter fat and muscle deposition in steers. *J. Anim. Sci.* **59**: 1247–1255.
- Saltiel, A. R. and Kahn, C. R. 2001. Insulin signaling and the regulation of glucose and lipid metabolism. *Nature (Lond.)* **414**: 799–806.
- SAS Institute Inc. 2006. SAS user's guide: Statistics. Version 9.1.3. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Scramlin, S. M., Platter, W. J., Gomez, R. A., Choat, W. T. F., McKeith, K. and Killefer, J. 2010. Comparative effects of ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride on growth performance, carcass traits, and *longissimus* tenderness of finishing steers. *J. Anim. Sci.* **88**: 1823–1829.
- Schroeder, A. L., Polser, D. M., Laudert, S. B. and Vogel, G. J. 2003. The effect of Optaflexx on growth performance and carcass traits of steers. Optaflexx Exchange No. 1. Elanco Anim. Health, Greenfield, IN.
- Shook, J. N., VanOverbeke, D. L., Kinman, L. A., Krehbiel, C. R., Holland, B. P., Streeter, M. N., Yates, D. A. and Hilton, G. G. 2009. Effects of zilpaterol hydrochloride and zilpaterol hydrochloride withdrawal time on beef carcass cutability, composition and tenderness. *J. Anim. Sci.* **87**: 3677–3685.
- Smith, O. B. and Akinbamizo, O. O. 2000. Micronutrients and reproduction in farm animals. *Anim. Reprod.* **60**–61: 549–560.
- Spears, J. W. and Kegley, E. B. 2002. Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance,

ARTICLE IN PRESS

4 CANADIAN JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE

Table 3. Effect of zilpaterol hydrochloride and zinc methionine on carcass characteristics of beef bulls

Item	- ZH ^a		+ ZH ^a		SEM ^b	Effect ^c		
	- ZM	+ ZM	- ZM	+ ZM		ZH	ZM	ZH × ZM
Hot carcass weight (kg)	283.5	305.5	278.3	297.8	2.39	0.01	NS	NS
Hot carcass dressing (%)	60.2	61.4	59.8	61.6	0.97	0.05	NS	NS
Longissimus dorsi area (cm ²)	70.5	76.7	69.7	67.9	1.02	0.01	NS	NS
Kidney, pelvis and heart fat (%)	1.7	2.0	2.4	2.2	0.06	0.01	NS	NS
Marbling ^d	460.0	453.3	440.0	453.3	8.60	NS	NS	NS
pH at 24 h	6.3	6.0	5.9	5.9	0.02	0.01	0.01	0.02
Temperature at 24 h (°C)	2.8	2.1	2.4	2.6	0.10	0.02	0.01	NS
Meat color								
<i>L</i> [*]	22.0	20.7	21.2	22.6	1.00	NS	NS	NS
<i>a</i> [*]	2.4	2.7	3.5	2.3	0.45	NS	NS	NS
<i>b</i> [*]	16.8	12.7	13.6	10.4	0.86	0.02	0.05	NS
Backfat thickness (mm)	5.6	7.5	8.4	6.2	0.441	NS	NS	0.01
Intramuscular meat fat (g kg ⁻¹ BH)	46.0	49.0	49.0	34.0	0.241	NS	NS	0.01

^a - ZH, zilpaterol hydrochloride at 0 mg kg⁻¹ BW; + ZH, zilpaterol hydrochloride at 0.15 mg kg⁻¹ BW; - ZM, zinc methionine at 0 mg kg⁻¹ DM; + ZM, zinc methionine at 80 mg kg⁻¹ DM.

^b SEM, standard error of the mean.

^c NS, not significant at $P > 0.05$.

^d Lacking = 300; light = 400; small = 500; modest = 600.

Carcass Characteristics

Hot carcass weight and dressing increased 7.4% ($P < 0.01$) and 2.5% ($P < 0.05$), respectively, with ZH compared with treatments without ZH (Table 3). This is in agreement with previous studies, which were within the range 4.0 to 5.7% for HCW and 1.8 to 2.6% for carcass dressing (Lawrence et al. 2011; Parr et al. 2011; McEvers et al. 2014). Several studies have reported increases in hot carcass dressing in steers fed β -adrenergic agonists (Schroeder et al. 2003; Avendaño-Reyes et al. 2006; Boler et al. 2012; Bohrer et al. 2014). Although some studies have reported an effect of β -adrenergic agonists on carcass dressing (Winterholler et al. 2007; Scramlin et al. 2010), **increases of at least 1.5% are expected in beef cattle** (Schroeder et al. 2003; Avendaño-Reyes et al. 2006). Bulls fed ZH had a 13.4% greater longissimus dorsi area compared with bulls not fed ZH; this may be due to the inhibition of protein turnover and promotion of the synthesis of myofibrillar protein, which causes muscle hypertrophy (Ricks et al. 1984; Johnson et al. 2014).

An increase in longissimus dorsi area has been observed in many studies when ZH is fed to cattle (Montgomery et al. 2009; Lawrence et al. 2011; McEvers et al. 2014). Feeding ZH to beef cattle usually decreases fat content, both fat around the kidney, pelvis and heart and marbling fat (Johnson et al. 2014), but this was not observed in our study.

Meat pH was not affected ($P > 0.20$) by ZH or ZM. This agrees with other studies with beef steers (Avendaño-Reyes et al. 2006; Bohrer et al. 2014). Meat temperature was reduced ($P = 0.02$) by feeding ZH. The degree of fattening might be related to this effect, since adipose tissue provides protection from cold temperatures (Murray 1989); carcasses with less fat cover cool faster. Although no effect ($P = 0.75$) of ZH was found on backfat thickness, its distribution was not evaluated in this study.

The brightness and intensity of red color in the meat (color spaces L^* and a^*) were not affected ($P > 0.20$) by ZH or ZM, but the intensity of yellow (color space b^*)

Table 4. Effect of zilpaterol hydrochloride and zinc methionine on longissimus dorsi characteristics of beef bulls

Item	- ZH ^a		+ ZH ^a		SEM ^b	Effect ^c		
	- ZM	+ ZM	- ZM	+ ZM		ZH	ZM	ZH × ZM
Dry matter (g kg ⁻¹)	267.8	274.8	260.8	260.9	3.62	NS	NS	NS
Ash (g kg ⁻¹)	13.9	13.8	14.6	14.0	0.04	NS	NS	NS
Protein (g kg ⁻¹)	221.6	236.5	215.8	227.3	3.43	0.01	NS	NS
Capacity for water retention (%)	92.6	92.7	92.7	92.8	0.60	NS	NS	NS
Cooking loss (%)	27.3	31.4	25.3	28.5	1.01	0.02	NS	NS
Shear force (kg cm ⁻²)	9.2	10.0	9.3	7.7	0.67	NS	NS	NS

^a - ZH, zilpaterol hydrochloride at 0 mg kg⁻¹ BW; + ZH, zilpaterol hydrochloride at 0.15 mg kg⁻¹ BW; - ZM, zinc methionine at 0 mg kg⁻¹ DM; + ZM, zinc methionine at 80 mg kg⁻¹ DM.

^b SEM, standard error of the mean.

^c NS, not significant at $P > 0.05$.

ARTICLE IN PRESS

RODRÍGUEZ-GAXIOLA ET AL. — ZILPATEROL HYDROCHLORIDE AND ZINC METHIONINE 7

- carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *J. Anim. Sci.* **80**: 2747–2752.
- Steel, R. G. D., Torrie, J. H. and Dickey, D. A. 1997.** Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 3rd ed. McGraw-Hill series in probability and statistics. McGraw-Hill, New York, NY. 600 pp.
- Tang, X. and Shay, N. F. 2001.** Zinc has an insulin-like effect on glucose transport mediated by phosphoinositol-3-kinase and akt in 3T3-L1 fibroblasts and adipocytes. *J. Nutr.* **131**: 1414–1420.
- United States Department of Agriculture. 2011.** Method for grid assessment of beef carcass rib eye area. [Online] Available: <http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/getfile?dDocName=STELPRDC5090712> [2014 Mar. 18].
- United States Department of Agriculture. 2006.** Instrument grading systems for beef carcasses. [Online] Available: <http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/getfile?dDocName=STELDEV3097857> [2014 Mar. 18].
- United States Department of Agriculture. 1997.** United States standards for grades of carcass beef. Agric. Marketing Service, USDA, Washington, DC.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B. and Lewis, B. A. 1991.** Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* **74**: 3583–3597.
- Vardatsikos, G., Nihar, N. P. and Ashok, K. S. 2013.** Insulin-mimetic and anti-diabetic effects of zinc. *J. Inorg. Biochem.* **120**: 8–17.
- Vasconcelos, J. T. and Galyean, M. L. 2007.** Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionist: The 2007 Texas Tech University survey. *J. Anim. Sci.* **85**: 2772–2781.
- Vierboom, M., Engle, T. E. and Kimberling, C. V. 2003.** Effects of gestational status on apparent absorption and retention of copper and zinc in mature Angus cows and Suffolk ewes. *Asian Austr. J. Anim. Sci.* **16**: 515–518.
- Winterholler, S. J., Parson, G. L., Reinhardt, C. D., Hutcheson, J. P., Nichols, W. T., Yates, D. A., Swingle, R. S. and Johnson, B. J. 2007.** Response to ractopamine-hydrogen chloride is similar in yearling steers across days on feed. *J. Anim. Sci.* **85**: 413–419.

Author: Steel et al. 1997 have not been cited.

7.2 Carta de recepción de artículo

Journal of Integrative Agriculture (formerly Agricultural Sciences in China)

Preview (JIA-2015-1197)

From: zhangyimin@caas.cn

To: igy92@hotmail.com

CC:

Subject: Journal of Integrative Agriculture (formerly Agricultural Sciences in China)
- Manuscript ID JIA-2015-1197

Body: 25-Oct-2015

Dear Dr. Domínguez-Vara:

Your manuscript entitled "Interaction of zilpaterol hydrochloride and enriched-Cr yeast on performance, carcass characteristics, and longissimus thoracis muscle composition of finishing lambs" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in the Journal of Integrative Agriculture (formerly Agricultural Sciences in China).

Your manuscript ID is JIA-2015-1197.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when calling the office for questions. If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to ScholarOne Manuscripts at <https://mc03.manuscriptcentral.com/asic> and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging in to <https://mc03.manuscriptcentral.com/asic>.

Thank you for submitting your manuscript to Journal of Integrative Agriculture (formerly Agricultural Sciences in China).

Sincerely,
Journal of Integrative Agriculture (formerly Agricultural Sciences in China)
Editorial Office

Date Sent: 25-Oct-2015

7.2.1 Artículo enviado

Journal of Integrative Agriculture (formerly Agricultural Sciences in China)

1 Interaction of zilpaterol hydrochloride and enriched-Cr yeast on performance, carcass
2 characteristics, and *longissimus thoracis* muscle composition of finishing lambs

3

4 Abstract

5 The objective was to evaluate the effect of zilpaterol hydrochloride (ZH) with enriched-
6 Chromium (Cr) yeast (YCr) in the diet on growth performance, carcass characteristics, and
7 *longissimus thoracis* muscle composition of finishing lambs. Twenty eight Rambouillet lambs
8 data were analyzed as a completely randomized design with a 2 x 2 factorial arrangement of
9 treatments, with seven repetitions per treatment (27.85 ± 2.91 kg LW). Lambs were weighed
10 and assigned to four treatments as follows: Basal diet 1) Control group: 85% concentrate diet
11 (13.9% CP and 7.83 MJ NEm kg^{-1} DM), formulated with corn grain and soybean meal; 2)
12 Control added with 0.2 mg of ZH kg^{-1} BW during last 28 d in the feedlot (ZH); 3) Control
13 plus 0.3 mg of Cr kg^{-1} DM (YCr); and 4) Control plus ZH and YCr (ZHYCr). ZH was added
14 as Zilmax® (Merck Animal Health), and Cr was supplied as enriched-Cr yeast BioChrome®
15 (Alltech). Gain/feed ratio was increased ($P = 0.02$) 11% by ZH supplementation. Hindquarters
16 width and perimeter were increased by ZH ($P < 0.01$). Meat-fat was decreased ($P = 0.03$) and
17 shear force increased ($P < 0.01$) by ZH fed. Linoileic acid in loin fat was increased ($P < 0.01$)
18 by ZH. It is concluded, that ZH supplementation contributes to improve feed efficiency and
19 carcass weight, and to decrease the meat fat content, but increases it toughness. YCr tended to
20 increase carcass back fat thickness without benefit in remainder carcass characteristics or
21 meat quality. The ZH x YCr interaction affected ($P < 0.05$) myristic and palmitoleic acids
22 content in meat fat.

23 **Key words:** Chromium, Fatty Acids, Growth, Lambs, Meat, Zilpaterol Hydrochloride.

24 Introduction

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/16712927>

25 The zilpaterol hydrochloride is an agonist β -adrenergic agent approved for its use in USA,
 26 Mexico and South Africa (Delmore *et al.* 2010). In beef cattle, ZH improves N-retention and
 27 increases lipolysis, redirecting energy to muscle protein synthesis (Mersmann 1998),
 28 improving body weight, feed efficiency, carcass weight and *longissimus dorsi* area, both in
 29 feedlot cattle as well as in finishing lambs (Avendaño-Reyes *et al.* 2006; Estrada-Angulo *et al.*
 30 2008; Vahedi *et al.* 2014). Chromium is an essential micro-mineral for ruminants (NRC
 31 1996) that could be considered as a metabolic modifier (Domínguez-Vara *et al.* 2009). This
 32 micro mineral potencies insulin activity affecting carbohydrates, lipids and proteins
 33 metabolism (Mertz 1993), and increase the performance of cattle (Barajas and Almeida 1999)
 34 and lambs (Domínguez-Vara *et al.* 2009). There is no available literature in relationship to ZH
 35 supplementation coupled with organic chromium addition on performance of finishing lambs,
 36 so that, this research was conducted with the aims to determine the influence of zilpaterol
 37 hydrochloride and enriched-Cr yeast supplementation on feedlot performance, carcass
 38 characteristics, and *longissimus thoracis* muscle composition of finishing lambs.

RESULTS AND DISCUSSION

Growth performance

41 The effect of ZH and YCr supplementation on feedlot performance of finishing lambs is
 42 shown in Table 1. Zilpaterol hydrochloride supplementation tended to increase ($P=0.10$) final
 43 weight and daily gain (9%; $P=0.07$). There was a tendency ($P=0.10$) shown by ZH to
 44 improve final LW and ADG across all feedlot phase. Zilpaterol hydrochloride
 45 supplementation improved feed intake:daily gain ratio ($P=0.05$) and feed efficiency ($P=0.02$)
 46 in feedlot lambs. Results of final LW and LW gain are indicators of the powerful activity of
 47 this β -agonist, taking into account that β -agonist was fed only 30-d in a 74-d of experiment
 48 period; however, it was able to induce a tendency to increase ($P=0.10$) 1.4 kg the final
 49 weight, and 26 g more of body mass every day. The increment in body mass of ruminants fed

ZH has been explained as a result of the increment in muscle protein synthesis and a decrease of muscle protein turnover, inducing a muscle hypertrophy in response to fed this β -agonist (Mondragon *et al.* 2010; Johnson *et al.* 2014; McEvers *et al.* 2014). The anabolic activity of ZH is mediated by an enhancement in the cAMP activity (Mersmann 1998); which derivate in an increment of mRNA that codifies for myosin heavy chain-IIX and IIB in the bovine muscle cell (Baxa *et al.* 2010; Hemmings *et al.* 2014).

Dry matter intake was not affected by treatments ($P = 0.98$) however feed efficiency was increased 10.7% ($P = 0.02$). Increased feed efficiency in lambs supplemented with ZH has been well documented by other studies (Estrada-Angulo *et al.* 2008; Vahedi *et al.* 2014), which may be attributable to strong anabolic activity of ZH (Mersmann 1998; Baxa *et al.* 2010; Hemmings *et al.* 2014), through a higher retained N in muscle of lambs fed ZH. Cr-yeast fed had no effect ($P > 0.25$) on studied variables, and interaction ZH x YCr was not observed ($P > 0.35$).

[Insert Table 1 here]

Carcass characteristics

The effects of ZH and Cr-yeast supplementation on carcass characteristics in finishing lambs are shown in Table 2. There were found tendencies of hot ($P = 0.10$) and chilled ($P = 0.07$) carcass weight to be increased by ZH supplementation. These findings on carcass weight have been observed in many studies in ruminants fed ZH (Mondragón *et al.* 2010; Avendaño-Reyes *et al.* 2011) as a result of higher CP accretion in animals that consumed this β -agonist (Leheska *et al.* 2009; Montgomery *et al.* 2009; Johnson *et al.* 2014).

The use of ZH in feedlots sheep increased ($P = 0.01$) the muscle conformation, hindquarters width and hindquarters perimeter. Increment in muscle conformation has been reported previously (Macías-Cruz *et al.* 2010; Avendaño-Reyes *et al.* 2011). The ZH is a substance that shows high affinity for β_2 -adrenergic receptors in the cell membrane (Johnson *et al.*,

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/16712927>

1
2
3 75 2014); the abundance of β 2-receptors in several muscle of ruminants (Ekpe *et al.* 2000),
4
5 76 explains that its stimulation triggers increments in the synthesis of myofibrillar protein and
6
7 77 inhibits protein turnover, which cause skeletal muscle hypertrophy discussed previously
8
9 78 (Ricks *et al.* 1984; Johnson *et al.* 2014).
10
11 79 ZH had no effect ($P=0.91$) on hot carcass chilled dressing ($P=0.68$) and LDA of sheep (P
12
13 $=0.47$). In most studies, supplementation with ZH increases the carcass dressing and LDA
14
15 80 (Macias-Cruz *et al.* 2010; Avendaño-Reyes *et al.* 2011); in steers (Avendaño-Reyes *et al.*
16
17 81 2006; Montgomery *et al.* 2009) and in other studies in lambs, this same has been found
18
19 82 (Aguilar-Soto *et al.* 2008; Robles-Estrada *et al.* 2009).
20
21 83 The YCr tended to increase ($P=0.10$) 21% the 12th rib back fat thickness, and increase (P
22
23 84 $=0.08$) 7% the fatness degree; the higher carcass fat deposited could be associated with the
24
25 85 effect of chromium that involve an increment in cellular sensibility to insulin, as part of a low
26
27 86 molecular weight of chromium binding protein (chromodulin), which is linked to the action of
28
29 87 the insulin receptor (Mertz 1993; Vincent 2004); the insulin has a strong anabolic effect,
30
31 88 improves glucose uptake in muscle, adipose tissue, and liver (Mertz 1993), and increases fat
32
33 89 synthesis (McNamara and Valdez 2005). There was no effect ($P=0.73$) of treatments on
34
35 90 perirenal fat and interaction ZH x YCr was not observed ($P=0.20$) in any carcass
36
37 91 characteristics.
38
39 92
40
41 93 [Insert Table 2 here]
42
43
44
45 94 **Meat quality trait**
46
47 95 The influence of ZH and YCr supplementation on *longissimus thoracis* muscle of finishing
48
49 96 lambs is showed in Table 3. Meat dry matter, ash and protein were not affected by treatments
50
51 97 ($P>0.14$). ZH supplementation decreased ($P=0.03$) 27.7% the proportion of meat fat; this
52
53 98 data are agree with the recognized activity of ZH that induces a lipolysis in all mammalian
54
55 99 species (Helferich *et al.* 1990; Mersmann 1998; Leheska *et al.* 2009). The meat from lambs
56
57
58
59
60

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/16712927>

that received ZH showed a higher ($P=0.01$) shear force compared with meat from lambs that were not supplemented with ZH. Increment in shear force of meat from ruminants fed ZH has been previously observed (Garmyn *et al.* 2010; Choi *et al.* 2013; Bohrer *et al.* 2014), possibly due to the increment in protein content of muscle fiber Leheska *et al.* 2009; Johnson *et al.* 2014) coupled with a lower fat muscle content (Mersmann 1998; Brooks *et al.* 2010).

[Insert Table 3 here]

Fatty acid composition

The influence of ZH and YCr supplementation on fatty acid composition of *longissimus thoracis* muscle of finishing lambs is shown in Table 4. Treatments ZH or Cr-yeast had no effect ($P > 0.22$) on total content of saturated, unsaturated and unsaturated/saturated fatty acids ratio; these results agree with that observed in finishing steers fed ZH (Choi *et al.* 2013; Van Bibber-Kreuger *et al.* 2015); however, Davila-Ramos and Robles-Estrada (2014) fed lambs with ZH during 40 days and observed a reduction on saturated fatty acids and an increment on unsaturated fatty acids in *longissimus thoracis* muscle; differences of those results respect to our study could be due to genotype of lambs (Pelibuey/Katahdin vs Rambouillet), composition of diet used and with longer receiving time of ZH. Regardless of the lack of effect on total saturated/unsaturated fatty acids ratio, the proportion of several individual fatty acids was modified. The ZH supplementation tended ($P=0.09$) to decrease palmitic acid and decreased ($P=0.05$) oleic acid as proportion of intramuscular fat; ZH increased linoleic acid ($P=0.01$) and araquidic acid ($P=0.05$) and tended ($P=0.08$) to increase vaccenic acid. The increment of linoleic acid (1.52%) implies that meat from ZH supplemented lambs contains proportionally 36.6% more linoleic acid than lambs without fed ZH; this fact becomes of interest due the role that linoleic acid plays in human health and nutrition where it is inversely associated with the presence of calcified atherosclerotic plaque in the coronary arteries (Djoussé *et al.* 2005). Comparing an intake of a single 250 g loin

1
2
3 125 portion from a lamb that was fed ZH supplies 27.7% less fat than from a regular not ZH
4
5 126 supplemented lamb; also, provides 1.6 g of linoleic acid equivalent to 9.3% and 13% of the
6
7 127 daily suggested intake for man and woman from 19 to 51 years old (USDA and HHS 2010).
8
9 128 Regardless of meat fat reduction, has been consistently reported a positive response to ZH
10
11 129 supplementation (Mersmann 1998; Johnson *et al.* 2014); nevertheless, there is few
12
13 130 information about its impact on meat fatty acid composition (Davila-Ramos and Robles-
14
15 131 Estrada 2014); feeding 0.20 mg of ZH kg⁻¹ BW during 40 days to lambs, they found a
16
17 132 tendency to increase 5.2% linoleic acid in intramuscular fat; however, Choi *et al.* (2013) did
18
19 133 not observed any impact on intramuscular fat linoleic acid concentration as a consequence of
20
21 134 fed 1.6 g ZH d⁻¹ to finishing steers. Van Bibber-Kreuger *et al.* (2015) fed finishing steers
22
23 135 during 21 days with 8.33 mg ZH kg⁻¹ DM and did not find any impact of ZH supplementation
24
25 136 on linoleic or conjugated linoleic acids both in plasma and subcutaneous fat.
26
27 137 The YCr supplementation increased myristic ($P=0.05$) and palmitic acids content ($P=0.02$),
28
29 138 and tended ($P=0.06$) to increase cyclopropanoic acid content in intramuscular fat. Vaccenic
30
31 139 acid was decreased ($P=0.04$) as a consequence of Cr-yeast supplementation. The vaccenic
32
33 140 acid is the main isomer of C18 fatty acids trans, present in the fat of the meat (Wolff 1995),
34
35 141 and the importance of their accumulation lies in direct action anti carcinogenic and by the
36
37 142 synthesis of CLA (Corl *et al.* 1998), which makes its presence in muscle fat, beneficial in this
38
39 143 case, greater when zilpaterol hydrochloride was supplemented to lambs.
40
41 144 An interaction effect ($P=0.03$) of ZH x YCr was observed up on myristic acid content, where
42
43 145 loin from lambs fed ZH had the lowest value, while highest values were appreciated in lambs
44
45 146 fed with Cr-yeast and ZH supplementation; this effect also was observed in palmitoleic acid
46
47 147 content with ZH x YCr interaction ($P=0.04$). Stearic acid content was affected by ZH x YCr
48
49 148 interaction; meat fat from lambs without fed Cr or Zn the lowest values were observed, but in
50
51 149 lambs fed ZH was found the highest value. This result is opposite to that observed by Davila-
52
53
54
55
56
57
58
59
60

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/16712927>

Ramos and Robles-Estrada (2014) who found a decrease in stearic acid content when lambs were fed with 0.20 mg of ZH kg^{-1} BW during 40 days. In steers have not been observed changes on stearic acid proportion in *longissimus thoracis* intramuscular fat, subcutaneous fat or plasma fat as a response to ZH supplementation (Choi *et al.* 2013; Van Bibber-Kreuger *et al.* 2015).

[Insert Table 4 here]

Conclusions

Zilpaterol hydrochloride supplementation contributes to improve feed intake:daily gain ratio and feed efficiency, to increase carcass weight and decrease the fat content of meat too, but increases it toughness. Cr-yeast tended to increase carcass back fat thickness without benefit in remainder carcass or meat characteristics. The ZH with YCr interaction only affected to meristic and palmitoleic acids content, and tended to change palmitic and stearic acids content in meat fat.

Materials and methods

Experimental sheep and feedlot management

Lambs were managed according to the guidelines and all procedures were reviewed and approved by an Academic Committee of the Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science of the Autonomous University of the State of Mexico, and complied with Mexican government animal welfare regulations.

Twenty eight male Rambouillet cross lamb (27.85 ± 2.91 LW kg) were used in a 74 days feedlot experiment. Seven days before starting the experiment, animals were individually weighed, treated against parasites with ivermectine (Ivermectina; Sanger) closantel (Fasciontel; Tornel), and vaccinated against *Pasterella multocida*, *Mannhemia haemolytica* y *Clostridium* (Multibacterina-7; MSD Animal Health). Lambs were individually placed in pens (1.2 x 2.5m) equipped with automatic drinker and feeder; they were fed *ad libitum* with the

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/16712927>

1
2
3 175 basal diet presented in Table 5; diet was offered twice a day (0800 and 1600 h). At the
4
5 176 beginning of the experiment, lambs were individually weighed and 7 of them were assigned
6
7 177 by BW to each of four treatments as follows: 1) basal diet (Control); 2) Control plus 0.2 mg
8
9 178 ZH kg⁻¹ PV d⁻¹ (ZH); 3) Control plus 0.3 mg enriched-Cr yeast kg⁻¹ DM (YCr); and 4)
10
11 179 Control plus ZH and YCr (ZH-YCr). ZH was offered since 28 d to 3 d before of estimated
12
13 180 slaughter date. ZH was delivery as Zilmax® Premix (Merck Animal Health Millsboro, DE)
14
15 181 that contains 4.8% of the β_2 -agonist, and was fed in equivalent dose of 0.20 mg kg⁻¹ BW.
16
17 182 Chromium was offered as enriched-Cr yeast premix Bio-Chrome® (Co-Factor III Cr³⁺)
18
19 183 (Alltech, Inc. Nicholasville, KY, USA), in a dose equivalent to 0.3 mg Cr kg⁻¹ DM.
20
21 184 Corresponding doses for each treatment were supplied as top dressing in the morning feed.
22
23 185 Lambs were weighed in day 1 (initial LW) and day 74 (final LW); daily gain was calculated
24
25 186 dividing body weight change between days of finishing period. Feed offered and orts were
26
27 187 recorded daily, feed and orts samples were taken weekly; the samples were dried at 65 °C for
28
29 188 24 h to determine their chemical composition. Dry matter, crude protein (Kjeldahl method N
30
31 189 x 6.25), ether extract and organic matter were determined by Official Methods (AOAC,
32
33 190 2007). The neutral detergent fiber (NDF) was analyzed according to Van Soest *et al.* (1991)
34
35 191 with modified ANKOM 200 fiber analyzer apparatus (ANKOM Technology Corporation,
36
37 192 Fairport, N.Y. USA).
38
39
40
41
42
43 193 [Insert Table 5 here]
44
45 194 *Carcass characteristics*
46
47 195 Once completed feedlot period, lambs were truck transported (2.5 h) to processing plant; and
48
49 196 then lambs were slaughtered, hot carcass weight was recorded, and hot carcass dressing
50
51 197 calculated. After a 24 h chilling period at 4 °C, carcass weight was registered; carcass
52
53 198 dressing and drip loss were calculated. A cross cut was obtained from the *longissimus*
54
55
56
57
58
59
60

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/16712927>

199 *thoracis* of the left side of carcass, between 12th and 13th ribs; the *longissimus thoracis* area
 200 was measured by the method of Rust *et al.* (1970), back fat thickness (mm) was measured
 201 with a digital vernier (Absolute Digimatic 500, Mitutoyo Corporation; Japan), and pH with a
 202 potentiometer fitted with a penetration electrode (HANNA model HI 99163) (Colomer-
 203 Rocher *et al.* 1988).

204 Perirenal fat was estimated as percentage of carcass, according with an empirical scale
 205 (degree of kidney fat cover): 1 (uncovered); 2 (with a large window); 3 (with small window);
 206 4 (totally covered). For fatness degree calculation, the criterion used was: 1 (very lean); 2
 207 (lean); 3 (rather fatty); 4 (fatty); 5 (very fatty). Carcass muscle conformation was calculated
 208 using a code, according with the procedures described by Colomer-Rocher *et al.* (1988): 100
 209 (poor); 200 (normal); 300 (good); 400 (very good); 500 (excellent). The morfometric of
 210 carcass evaluation was done based on carcass length, leg length, leg perimeter, hindquarters
 211 width, and hindquarters perimeter using a hard and flexible graduated rules (Ruiz de
 212 Huidobro *et al.* 2005).

213 ***Meat quality***

214 Four steak samples from 10th to 13th ribs were taken from left side of carcass, vacuum
 215 packaged, and kept frozen (- 20 °C) until be used for analyses. Dry matter, ashes, crude
 216 protein and fat were determinate by duplicate (AOAC 2007). Shear force was measured using
 217 the Warner-Bratzler blade (SALT R®, G-R Elec. Mfg. Co. Collins Lane, MA), and cooking
 218 losses were determined using methodology proposed by Beltrán and Roncalés (2000).

219 ***Fatty acid profile***

220 Fat extraction was performed by the method proposed by Bligh and Dyer (1959), using a 2:1
 221 chloroform-methanol solution, where 10g of ground meat was suspended using a 10:1
 222 solvent/meat relationship. The suspension was exposed to ultrasonic-irradiation waves during

223 60 min using a high efficiency ultrasonic processor (UP200S, Hielscher Ultrasonics), with
 224 200 W of output power and frequency of 24 kHz; the acoustic potency was transferred to
 225 surround using a sonotrode (S14, Hielscher Ultrasonics). After solution was adjusted to a
 226 2:1:0.8 chloroform: methanol:water proportion mixed and vacuum filtered, the liquid phase
 227 was readjusted to a 2:2:1.8 chloroform: methanol:water proportion and was transferred to a
 228 separation funnel, and after resting 24h, the non-aqueous phase was recovered. The fat-
 229 chloroform phase was recovered, and the chloroform in excess was removed using a vacuum
 230 rotator evaporator machine (RE300, Yamato) at 45 °C; then, 300 µl of KOH and 10 mL of
 231 methanol were added and ultrasonic applied by 60 seconds. Methanol was evaporated at 50
 232 °C, 10 mL of hexane added and filtered with Whatman paper with pore size of 0.22 µm and
 233 stored in chromatographic-vials. Fatty acids were determinate by gas chromatography, using
 234 an Agilent 6890N chromatograph fitted with a mass specter-photometer detector (Agilent
 235 5973), Helium was the carrier gas in an Omega Wax 250 column; volume injected 1 µL; flux
 236 1 mL min⁻¹; column temperature from 50 to 270 °C (10 min) with 5°C min⁻¹ of heating rate; as
 237 a reference, a 37 components standard was used (Supelco).

238 *Statistical analysis*

239 Growth performance, carcass characteristics and meat quality data were statistically analyzed
 240 using the PROC MIXED (SAS 2006); and means of treatments were compared using Tukey-
 241 test.

242 *Acknowledgments*

243 This proyect was financed by the Universidad Autónoma del Estado de México, and Consejo
 244 Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), México.

245 *References*

246 Aguilar-Soto J I, Ramírez R G, Arechiga C F, Mendez-Llorente F, Lopez-Carlos M A, Silva-
 247 Ramos J M, Rincón-Delgado R M, and Duran-Roldan F M. 2008. Zilpaterol

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/16712927>

- 248 hydrochloride on performance and sperm quality of lambs fed wet brewers grain.
249 Journal of Appliance Animal Research, **34**, 17-21.
- 250 American Meat Science Association. Savoy (AMSA). 1995. Research Guidelines for cookery,
251 sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. IL, USA.
- 252 Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2007. Official Methods of Analysis
253 Association of Official Analytical Chemists. 18th ed. AOAC. Arlington, VA, USA.
- 254 Avendaño-Reyes L V, Torres-Rodríguez F J, Meraz-Murillo C, Pérez-Linares F, Figueroa S,
255 and Robinson P H. 2006. Effects of two β -adrenergic agonists on finishing performance,
256 carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. Journal of Animal Science,
257 **84**, 3259-3265.
- 258 Avendaño-Reyes L, Macías-Cruz U, Álvarez-Valenzuela F D, Águila-Tepato E, Torrentera-
259 Olivera N G, and Soto-Navarro S A. 2011. Effects of zilpaterol hydrochloride on
260 growth performance, carcass characteristics, and wholesale cut yield of hair-breed ewe
261 lambs consuming feedlot diets under moderate environmental conditions. Journal of
262 Animal Science, **89**, 4188-4194.
- 263 Barajas R, and Almeida L. 1999. Effect of vitamin E and chromium-methionine
264 supplementation on growth performance response of calves recently arrives to feedlot.
265 Journal of Animal Science, **77**, (Suppl.1) 269.
- 266 Baxa T J, Hucheson J P, Miller M F, Brooks J C, Nichols W T, Streeter M N, Yates D A, and
267 Johnson B J. 2010. Additive effects of a steroidal implant and zilpaterol hydrochloride
268 on feedlot performance, carcass characteristics, and skeletal muscle messenger
269 ribonucleic acid abundance in finishing steers. Journal of Animal Science, **88**, 330-337.
- 270 Beltrán J A, and Roncalés P. 2000. Determinación de textura. En: Cañeque, V. & Sañudo, C.
271 Metodología para el estudio de calidad de canal y carne en rumiantes. Instituto
272 Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid. p., 168-174.
- 273 Bligh E G, and Dyer W J. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification.
274 Canadian Journal of Biochemical and Physiology, **37**, 911-917.
- 275 Bohrer B M, Edenburn B M, Boler D D, Dilger A C, and Felix T L. 2014. Effect of feeding
276 ractopamine hydrochloride (Optaflexx) with or without supplemental zinc and
277 chromium propionate on growth performance, carcass characteristic, and meat quality

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/16712927>

- 1
2
3 278 of finishing steers. Journal of Animal Science, **92**, 3988-3996.
4
5 279 Brooks J C, Mehaffey J M, Collins J A, Rogers H R, Legako J, Johnson J, Lawrence T, Allen
6
7 280 D, Streeter M N, Nichols W T, Hutcheson J P, Yates D A, and Miller M F. 2010.
8
9 281 Moisture enhancement and blade tenderization effects on the shear force and
10
11 282 palatability of strip loin steaks from beef cattle fed zilpaterol hydrochloride. Journal of
12
13 283 Animal Science, **88**, 1809-1816.
14
15
16 284 Choi C B, Jung K K, Chung, K Y, Yang B S, Chin K B, Suh SW, Oh D H, Jeon M S, Baek K.
17
18 285 H, Lee S.O, Kim S I, Lee Y H, Yates D A, Hutcheson J P, and Johnson B J. 2013.
19
20 286 Administration of zilpaterol hydrochloride alters feedlot performance, carcass
21
22 287 characteristics, muscle, and fat profiling in finishing Hanwoo steers. Livestock
23
24 288 Science, **157**, 435-441.
25
26
27 289 Colomer-Rocher F, Delfa R, and Sierra I. 1988. Método normalizado para el estudio de los
28
29 290 caracteres cualitativos y cuantitativos de las canales ovinas producidas en el área
30
31 291 mediterránea, según los sistemas de producción. Programa AGRIMED-CIHEAM.
32
33 292 *INIA*, **17**, 19-41.
34
35
36 293 Corl B A, Chouinard P Y, Bauman D E, Dwyer D A, Griinari J M, and Nurmela K V. 1998.
37
38 294 Conjugated linoleic in milk fat of dairy cows originates in part by endogenous
39
40 295 synthesis from trans-11 octadecanoic acid. Journal of Dairy Science, **81**, 233.
41
42
43 296 Dávila-Ramos H, and Robles-Estrada J C. 2014. Zilpaterol hydrochloride modify the fatty
44
45 297 acids profile of intramuscular fat of feedlot lambs. Journal of Animal Science, E-
46
47 298 Suppl. 2. vol. **92**/Journal of Dairy Science, E-Suppl. 1. Vol. **97**. 1929.
48
49 299 Dikeman M E. 2007. Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. Meat
50
51 300 Science, **77**, 121-135.
52
53 301 Djoussé L, Arnett D K, Carr J J, Eckfeldt J H, Hopkins P N, Province M A, and Ellison R C.
54
55 302 2005. Dietary linolenic acid is inversely associated with calcified atherosclerotic plaque
56
57
58
59
60

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/16712927>

- 303 in the coronary arteries: the national heart, lung, and blood institute family heart study.
304 *Circulation*, **111**, 2921-2926.
- 305 Domínguez-Vara I A, González-Muñoz S S, Pinos-Rodríguez J M, Bórquez-Gastelum J L,
306 Bárcena-Gama R, Mendoza-Martínez G, Zapata L E, and Landois-Palencia L L. 2009.
307 Effects of feeding selenium-yeast and chromium-yeast to finishing lambs on growth,
308 carcass characteristics, and blood hormones and metabolites. *Animal Feed Science and*
309 *Technology*, **152**, 42-49.
- 310 Ekpe E D, Moibi J A, and Christopherson R J. 2000. Beta-adrenergic receptors in skeletal
311 muscles of ruminants: effects of temperatures and feed intake. *Canadian Journal of*
312 *Animal Science*, **80**, 79-86.
- 313 Estrada-Angulo A, Barreras-Serrano A, Contreras G, Obregon J F, Robles-Estrada JC,
314 Plascencia A, and Zinn R A. 2008. Influence of level of zilpaterol chlorhydrate
315 supplementation on growth performance and carcass characteristics of feedlot lambs.
316 *Small Ruminant Research*, **80**, 107-110.
- 317 Garmyn A J, Knobel S M, Spivey K S, Hightower L F, Brooks J C, Johnson B J, Parr S L,
318 Rathmann R J, Starkey J D, Yates D A, Hodgen J M, Hutcheson J P, and Miller M F.
319 2011. Warner-Bratzler and slice shear force measurements of 3 beef muscles in
320 response to various aging periods after trenbolone acetate and estradiol implants and
321 zilpaterol hydrochloride supplementation of finishing beef steers. *Journal of Animal*
322 *Science*, **89**, 3783-3791.
- 323 Helferich W G, Jump D B, Anderson D B, Skjaerlum D M, Merkel R A, and Bergen W G.
324 1990. Skeletal muscle β -actin is increased pretranslational in pigs fed the
325 phenotholamine ractopamine. *Endocrinology*, **126**, 3096-3100.
- 326 Hemmings K M, Daniel Z, Buttery T J, Parr T, and Brameld J. M. 2014. Differential effects
327 of short-term β agonist and growth hormone treatments on expression of myosin heavy
328 chain IIB and associated metabolic genes in sheep muscle. *Animal*, **9**, 285-294.
- 329 Johnson J B, Smith B S, and Chung Y K. 2014. Historical Overview of the effect of β -
330 adrenergic agonists on beef cattle production. *Asian Australasian Journal of Animal*
331 *Science*, **27**, 757-766.

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/16712927>

- 1
- 2
- 3 332 Leheska J M, Montgomery J L, Krehbiel C R, Yates D A, Hutcheson J P, Nichols W T,
- 4 333 Streeter M, Blanton J R, and Miller M F. 2009. Dietary zilpaterol hydrochloride. II.
- 5 334 Carcass composition and meat palatability of beef cattle. *Journal of Animal Science*, **87**,
- 6 335 1384-1393.
- 7
- 8 336 Macías-Cruz U, Álvarez-Valenzuela F D, Torrentera-Olivera N G, Velázquez-Morales J B,
- 9 337 Correa-Calderón A, and Avendaño-Reyes L. 2010. Effect of zilpaterol hydrochloride on
- 10 338 feedlot performance and carcass characteristics of ewe lambs during heat-stress
- 11 339 conditions. *Animal Production Science*, **50**, 983-989.
- 12
- 13 340 McEvers T J, Dorin L, Berg J L, Royan G, Hutcheson J, Appleyard G D, and Lawrence T E.
- 14 341 2013. Effect of leptin genotype and zilpaterol hydrochloride supplementation on the
- 15 342 growth rate and carcass characteristics of finishing steers. *Canadian Journal of Animal*
- 16 343 *Science*, **93**, 199-204.
- 17
- 18 344 McEvers T J, Walter L C, DeFoor P J, Swingle R S, Hutcheson J P, and Lawrence T E. 2014.
- 19 345 The effect of supplementing zilpaterol hydrochloride on feeding performance and
- 20 346 carcass characteristics of steers sorted by leptin genotype. *Journal of Animal Science*,
- 21 347 **92**, 332-338.
- 22
- 23 348 McNamara J P, and Valdez F. 2005. Adipose tissue metabolism and production responses to
- 24 349 calcium propionate and chromium propionate. *Journal of Dairy Science*, **88**, 2498-2507.
- 25
- 26 350 Mersmann H J. 1998. Overview of the effects of beta-adrenergic receptor agonists on animal
- 27 351 growth including mechanisms of action. *Journal of Animal Science*, **76**, 160-172.
- 28
- 29 352 Mertz W. 1993. Chromium in human nutrition: A review. *Journal of Nutrition*, **123**, 626-633.
- 30
- 31 353 Mondragón J, Domínguez-Vara I A, Pinos-Rodríguez J M, González M, Bórquez J L,
- 32 354 Domínguez A, and Mejía M L. 2010. Effects of feed supplementation of zilpaterol
- 33 355 hydrochloride on growth performance and carcass traits of finishing lambs. *Acta*
- 34 356 *Agricola Scandinavica Animal Science*, **60**, 47-52.
- 35
- 36 357 Montgomery J L, Krehbiel C R, Cranston J J, Yates D A, Hutcheson J P, Nichols W T,
- 37 358 Streeter M N, Bechtol D T, Johnson E, TerHune T, and Montgomery T H. 2009.
- 38 359 Dietary zilpaterol hydrochloride. I. Feedlot performance and carcass traits of steers and
- 39 360 heifers. *Journal of Animal Science*, **87**, 1374-1383.
- 40
- 41 361 National Research Council. NRC. 2007. Nutrient requirements of Small Ruminants: Sheep,
- 42 362 goats, cervids, and new world camelids. *Animal Nutrition Series*. National Research
- 43
- 44
- 45
- 46
- 47
- 48
- 49
- 50
- 51
- 52
- 53
- 54
- 55
- 56
- 57
- 58
- 59
- 60

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/16712927>

- 363 Council. National Academy Press U.S.A., 362 p.
- 364 Parr S L, Chung K Y, Galyean M L, Hutcheson J P, DiLorenzo N, Hales K, May M L, Quinn
365 M., Smith D, and Johnson B. 2011. Performance of finishing beef steers in response to
366 anabolic implant and zilpaterol hydrochloride supplementation. *Journal of Animal
367 Science*, **89**, 560-570.
- 368 Ricks C A, Dalrymple R H, Baker P K, and Ingle D L. 1984. Use of a β -agonist to alter fat
369 and muscle deposition in steers. *Journal of Animal Science*, **59**, 1247-1255.
- 370 Robles-Estrada J C, Barreras-Serrano A, Contreras G, Estrada-Angulo A, Obregón J F,
371 Plascencia A, and Ríos F G. 2009. Effect of two β -adrenergic agonists on finishing
372 performance and carcass characteristics in lambs fed all-concentrate diets. *Journal of
373 Appliance of Animal Research*, **36**, 33-36.
- 374 Ruiz de Huidobro F, Miguel E, Cañeque V, Velasco S. 2005. Conformación, engrasamiento y
375 sistemas de clasificación de la canal ovina. En: Cañeque V, Sañudo C. Eds.
376 *Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal
377 vivo, canal, carne y grasa) en rumiantes*. INIA, Serie Ganadera 3 Madrid, España.
- 378 Rust R E, Olson D G, Kratzer D D, Schuler R O, Vetter R L. 1970. M. *Longissimus* area of
379 lamb carcasses -A comparison of four measurement techniques and the evaluation of
380 operator differences. *Journal of Animal Science*, **30**, 36-39.
- 381 Sonksen P, and Sonksen J. 2000. Insulin: understanding its action in health and disease.
382 *British Journal of Anesthesiology*, **85**, 69-79.
- 383 U. S. Department of Agriculture and U.S. Department of Health and Human Services. 2010.
384 Dietary Guidelines for Americans, 2010. 7th Edition, Washington, DC:U.S. Government
385 Printing Office, December 2010.
- 386 Vahedi V, Towhidi A, Zare-Shahneh A, Sadeghi M, Zamani F, and Dunshea F R. 2014.
387 Effects of β -agonist zilpaterol hydrochloride feeding and supplementation period on
388 growth and carcass characteristics of Lori-Bakhtiari lambs. *Small Ruminant Research*,
389 **119**, 65-71.
- 390 Van Bibber-Krueger C L, Miller K A, Parsons G L, Thompson L K, and Drouillard J S. 2015.
391 Effects of zilpaterol hydrochloride on growth performance, blood metabolites, and fatty

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/16712927>

- 1
2
3 392 acid profiles and adipose tissue in finishing steers. Journal of Animal Science, **93**, 2419-
4 393 2427.
5
6 394 Vincent J B. 2004. Recent advances in the nutritional biochemistry of trivalent chromium.
7 395 Proceeding Nutrition Society, **63**, 41-47.
8
9 396 Wolff R L. 1995. Content and distribution of trans C18:1 acids in ruminant milk and meat
10 397 fats. Their importance in European diets and their effect on human milk. Journal of the
11 398 American Oil Chemistry Society, **72**, 259-272.
12
13
14
15
16 399
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

<http://www.sciencedirect.com/science/journal/16712927>

Table 1. Effect of zilpaterol hydrochloride and enriched-Cr yeast supplementation on feedlot performance of finishing lambs.

Item	ZH mg kg ⁻¹ LW		Cr mg kg ⁻¹ DM		SEM ¹	Effects		
	0.0	0.20	0.0	0.30		ZH	YCr	ZHxYCr
Lambs, heads, n=	14	14	14	14				
Days in trial	74	74	74	74				
Days with ZH	0	28	-	-				
Initial weight, kg	23.28	23.34	23.32	23.67	0.827	0.96	0.99	0.96
Final weight, kg	44.05	45.46	44.84	44.68	0.586	0.10	0.85	0.93
Daily gain, kg d ⁻¹	0.280	0.306	0.294	0.291	0.010	0.07	0.83	0.79
DMI, kg day ⁻¹	1.34	1.32	1.32	1.34	0.027	0.66	0.65	0.98
DMI:Daily gain ratio, kg	4.78	4.31	4.49	4.60	0.197	0.05	0.25	0.35
Feed efficiency, %	21.3	23.6	22.7	22.1	0.006	0.02	0.58	0.88

¹Standard error of the mean

Table 2. Effect of zilpaterol hydrochloride and enriched-Cr yeast supplementation on carcass characteristics of finishing lambs.

Item	ZH mg kg ⁻¹ LW		Cr mg kg ⁻¹ DM		SEM ¹	Effects		
	0.0	0.20	0.0	0.3		ZH	YCr	ZhxCr
Carcass, n=	14	14	14	14				
Hot carcass wt. ² , kg	20.25	20.9	20.67	20.48	0.271	0.10	0.62	0.89
Chilled carcass wt. ² , kg	19.44	20.18	19.86	19.77	0.274	0.07	0.82	0.98
Hot carcass dressing ² , %	46.03	45.97	46.14	45.86	0.346	0.91	0.57	0.90
Chilled dressing ² , %	44.19	44.39	44.32	44.26	0.325	0.68	0.92	0.90
Drip loss, ² %	3.98	3.45	3.95	3.47	0.203	0.08	0.10	0.38
<i>Longissimus dorsi</i> area ² , cm ²	24.64	25.36	24.86	25.14	0.680	0.47	0.77	0.88
Back fat thickness ² , mm	1.96	1.73	1.67	2.02	0.147	0.27	0.10	0.26
Perirenal fat, ³ %	3.21	3.29	3.21	3.29	0.143	0.73	0.73	0.30
Fatness degree ⁴	3.07	3.14	3.00	3.21	0.083	0.55	0.08	0.55
Muscle conformation ⁵	2.00	2.64	2.36	2.29	0.372	0.01	0.69	0.69
Carcass length	63.74	64.48	64.14	64.08	0.713	0.47	0.95	0.28
Leg length, cm	36.36	35.39	35.79	35.96	0.584	0.25	0.83	0.76
Leg perimeter, cm	37.73	39.02	37.72	39.03	0.815	0.28	0.27	0.21
Hindquarters width, cm	19.49	20.81	20.10	20.20	0.336	0.01	0.82	0.47
Hindquarters perimeter, cm	59.64	61.75	60.75	60.64	0.457	0.01	0.87	0.70
<i>Longissimus thoracis</i> pH								
45 min	6.47	6.46	6.40	6.53	0.057	0.95	0.12	0.36
24 h	5.70	5.73	5.62	5.80	0.076	0.73	0.11	0.88

¹Standard error of the mean²Results adjusted by covariance analyses using initial weight as the co-variable associated ($P < 0.05$)³Degree kidney fat cover: 1, uncovered; 2, with a large window; 3 with small window; 4, totally covered⁴Code: 1, very lean; 2, lean; 3, rather fatty; 4, fatty; 5, very fatty⁵Code: 1.0, poor; 2.0, normal; 3.0, good; 4.0, very good; 5.0, excellent

Table 3. Effect of zilpaterol hydrochloride and enriched-Cr yeast supplementation on *longissimus thoracis* muscle chemical composition of finishing lambs.

Item	ZH mg kg ⁻¹ LW		Cr mg kg ⁻¹ DM		SEM ¹	Effects		
	0.0	0.20	0.0	0.3		ZH	Ycr	ZhxYCr
<i>Longissimus dorsi</i> , n=	14	14	14	14				
Dry matter, g kg ⁻¹	258.5	256.1	257.3	257.2	2.356	0.47	0.98	0.44
Ash, g kg ⁻¹	11.8	10.7	11.8	11.8	0.494	0.14	0.16	0.44
Protein, g kg ⁻¹	181.7	181.3	184.6	178.5	3.404	0.93	0.22	0.68
Fat, g kg ⁻¹	39.1	28.3	36.31	31.12	3.289	0.03	0.28	0.42
Cooking losses, %	28.0	25.87	25.81	28.09	21.879	0.49	0.47	0.11
Shear force, kg/cm ²	2.78	5.78	4.06	3.95	0.181	0.01	0.68	0.11

¹Standard error of the mean

Table 4. Effect of zilpaterol hydrochloride and enriched-Cr yeast supplementation on fatty acid composition of *longissimus thoracis* muscle fat of finishing lambs (% intramuscular meat fat).

Items	ZH mg kg ⁻¹ LW		Cr mg kg ⁻¹ DM			Effects		
	0.0	0.20	0.0	0.3	SEM ¹	ZH	Ycr	ZhxYCr
<i>Longissimus thoracis</i> , n=	14	14	14	14				
Myristic	1.194 ^b	1.119 ^b	1.068 ^c	1.245 ^a	0.084	0.38	0.05	0.03
Pentadecanoic	0.117	0.121	0.123	0.115	0.016	0.84	0.64	0.41
Palmitic	22.553	21.526	21.331	22.748	0.584	0.09	0.02	0.07
Palmitoleic	1.738 ^a	1.618 ^b	1.608 ^b	1.748 ^a	0.115	0.31	0.23	0.04
Margaric	0.655	0.655	0.688	0.623	0.055	0.99	0.25	0.78
Ciclopropanoic	0.633	0.572	0.674	0.530	0.074	0.42	0.06	0.44
Stearic	13.201	14.058	13.731	13.528	0.521	0.11	0.70	0.07
Oleic	52.240	50.195	51.330	51.105	0.996	0.05	0.82	0.81
Vaccenic	1.446	1.641	1.663	1.424	0.108	0.08	0.04	0.43
Linoleic	4.058	5.581	5.135	4.504	0.381	0.01	0.11	0.29
Araquidic	2.164	2.922	2.660	2.425	0.370	0.05	0.53	0.16
Saturated fatty acids	39.89	40.39	39.59	40.69	0.912	0.56	0.22	0.80
Unsaturated fatty acids	60.12	59.61	60.41	59.31	0.912	0.56	0.22	0.80
Unsaturated/saturated ratio	1.52	1.48	1.53	1.47	0.500	0.50	0.22	0.75

¹Standard Error of the Mean

Table 5. Basal diet composition and chemical analysis.

Ingredient	(g kg ⁻¹ DM)
Corn stover	150.0
Ground corn	570.0
Soybean meal	140.0
Canola meal	50.0
Wheat bran	50.0
Mineral and vitamin premix ¹	25.0
Sodium bicarbonate	15.0
Chemical analysis	
DM ²	889.1
NDF ²	321.0
Ca ²	5.5
P ²	2.6
Crude protein ²	139.0
Metabolizable energy, MJ kg ⁻¹ DM ³	11.715
Net energy for maintenance, MJ kg ⁻¹ DM ³	7.832
Net energy for gain, MJ kg ⁻¹ DM ³	5.205

¹Ca, 4500 g; Zn, 1.5 g; Cu, 20 g; Fe, 140 g; K, 90 mg; Co, 500 g; Mg, 36 g; I, 500 mg; Se 90 mg; Na, 125 g; Vit.A, 3000 IU kg⁻¹; Vit. D₃, 750 IU kg⁻¹; Vit. E, 25 IU kg⁻¹

²Determined in the laboratory

³Calculated from diet ingredients composition (NRC, 2007)

7.3 Resumen en memorias

L Reunión Nacional de Innovación Acuícola y Pesquera



SUPLEMENTACIÓN DE CLORHIDRATO DE ZILPATEROL Y ZINC METIONINA EN LA RESPUESTA PRODUCTIVA, CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y CALIDAD DE LA CARNE DE BOVINOS EN ENGORDA INTENSIVA

SUPPLEMENTATION OF ZILPATEROL HYDROCHLORIDE AND ZINC METIONINA ON FEEDLOT PERFORMANCE, CARCASS CHARACTERISTICS AND MEAT QUALITY OF BEEF STEERS

Rodríguez GMA¹, Barajas CR², Mariezcurrema BMA¹, Domínguez VIA^{1*}

igy92@hotmail.com

191

Con el objetivo de evaluar el efecto del clorhidrato de zilpaterol (CZ) y zinc metionina (ZM) solo o combinado en la respuesta productiva, las características de la canal y la calidad de la carne de bovinos en engorda intensiva, se llevó a cabo un experimento con 60 bovinos machos enteros, con un peso vivo promedio de 327.85 ± 19.44 kg, y edad aproximada de 13 meses. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con arreglo factorial 2x2 de tratamientos CZ 0 y 0.15 mg/kg de PV/día; ZM 0 y 80 ppm. Hubo efecto de la interacción CZ y ZM, en el espesor de la grasa dorsal (EGD) y en el contenido de grasa intramuscular en la carne (GC), esta se redujo 25% en promedio ($P < 0.01$). El CZ mejoró el PV final, la GDP, la CA, el peso de la canal caliente (PCC), el rendimiento en canal (RC) y el área del *longissimus dorsi* (ALD) ($P < 0.05$); En toda la engorda el PF aumentó 4.8% y la GDP 15.5% con el CZ, pero si consideramos solo el tiempo en que se dio el CZ (33 d) los bovinos con CZ aumentaron su GDP 39.4 %. Similarmente, la CA mejoró 14.62 y 28.71 % en la engorda total y en los 33 d finales con el CZ. El PCC, el RC y el ALD aumentaron ($P < 0.05$) 7.4, 2.5 y 13.4 % por efecto del CZ. La CA fue menor en los bovinos con ZM ($P < 0.01$). El CZ aumentó el contenido de proteína de la carne, y también la merma por cocción ($P < 0.02$), el contenido de MS en la carne disminuyó con el uso de ZM ($P < 0.01$). El CZ mejoró la respuesta productiva, e influyó en las características de la canal y calidad de la carne; en contraste, la adición ZM a 80 ppm, no beneficio en los bovinos en engorda intensiva; sin embargo, el uso combinado de ambos puede ser una alternativa para disminuir el EGD de la canal y el contenido GC.

Financiado: UAEM 3417/2013CHT.

¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus Universitario El Cerrillo, Toluca, Estado de México; ² Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad Autónoma de Sinaloa

Raising awareness about harmfulness of high saturated fatty acid content of milk fat caused to increase the study to improve milk fat quality. The dromedary (*Camelus dromedarius*) is an important domestic animal in eastern Iran. In spite of importance of this specie, few studies have been reported on camel milk. The objective of the present study is comparison of the effects of different rearing systems on fat content and fatty acids profile of milk fat in camel. Eighteen lactating camels were assigned in 2 treatment groups include very extensive (VE, n = 9) and extensive (E, n = 9) rearing system. In the EV group, camels depended merely on pasture, but in the E group camels received 750g/animal barley after daily grazing. Animals watered twice daily and received 250 g/animal salt weekly. Animals were milked twice a day. Milk samples (250 mL from each camel) collected in the morning and analyzed for milk constituents. Thin-layer chromatography used for separation of triacylglycerol and fatty acids profile measured by gas chromatography method. Data are presented as means $\pm$ SEM. The fat content was 33.2 ± 9.2 g/L and 32.5 ± 11.6 g/L for VE and E group respectively. The amounts of short-chain (C4–C8) and medium-chain (C10–C13) fatty acids were higher in E group compared with VE group ($P < 0.05$), whereas the C14 like C16:0 and C16:1n-7 were higher in VE group ($P < 0.01$). Although C18:0 had no significant difference between groups, C18:1n-9 and C18:2n-6 in E and C18:3n-3 in VE were higher ($P < 0.05$). Moreover 20:0, 20:5n-3, 22:3n-3, and 22:6n-3 of VE was higher ($P < 0.05$). Milk fat of VE was less saturated ($P < 0.05$). Except free cholesterol and phospholipids that were lower and higher respectively in VE ($P < 0.05$), no significant difference observed between groups for cholesteryl esters, free fatty acids, triacylglycerols, diacylglycerols, and monoacylglycerols. The results demonstrated that the VE rearing system increases total polyunsaturated fatty acids and decreases free cholesterol compared with E group rearing system. In conclusion, the VE rearing system could produce healthier milk fat in camels.

Key Words: camel, milk, fat

W470 Influence of zilpaterol hydrochloride and enriched-Cr yeast supplementation on feedlot performance lambs. Miguel A. Rodríguez^{1,2}, Ignacio A. Domínguez-Vara¹, Ernesto Morales-Almaráz¹, and Rubén Barajas^{*2}, ¹Universidad Autónoma del Estado de México, FMVZ, Toluca, Estado de México, México, ²FMVZ-Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México.

Twenty-eight Rambouillet cross lambs (27.85 ± 2.91 kg) were used in a 74-d feedlot experiment to evaluate the influence of zilpaterol hydrochloride (Zilmax, Merck Animal Health) and enriched-Cr yeast (BioChrome, Alltech) supplementation on feedlot performance of lambs. Sheep were weighed and individually allotted in 1.2×2.5 m concrete floor pens. They were randomly assigned to 4 treatments as follows: 1) A 85% concentrate diet, contained 15.5% CP and 1.87 Mcal NEm/kg, and formulated from corn grain and soybean meal (Control); 2) Control added with 0.2 mg of zilpaterol hydrochloride/kg BW during last 28 d in the feedlot (ZH); 3) Control plus 0.3 mg of Cr/kg DM (YCr); and 4) Control plus ZH and YCr (ZHCr). Results were analyzed as a completely randomized design with a 2×2 factorial arrangement. Pen was the experimental unit; data were analyzed with initial weight as a covariate in the model. Final body weight tended ($P = 0.10$) to be increased by ZH supplementation (45.4 vs. 44.1 kg). Average daily gain tended ($P = 0.07$) to be higher for lambs in ZH treatment (0.306 vs. 0.280 kg/d). Dry matter intake was not affected by treatment ($P > 0.20$). Gain/feed ratio was increased ($P = 0.02$) by 11% (0.236 vs. 0.213 kg/kg) with ZH supplementation. Yeast-Cr supplementation did not modify any variable analyzed ($P > 0.20$). No interaction of ZH $\times$ Yeast-Cr was observed ($P > 0.20$). It is concluded, that zilpaterol hydrochloride supplementation

promoted feedlot performance of lambs, whereas chromium supplementation from enriched-Cr yeast did not shown benefits to feedlot lambs both alone or in combination with zilpaterol hydrochloride.

Key Words: chromium, lamb, zilpaterol

W471 Influence of zilpaterol hydrochloride and enriched-Cr yeast supplementation on carcass characteristics and meat composition of feedlot lambs. Miguel A. Rodríguez^{1,2}, Ignacio A. Domínguez-Vara¹, María A. Mariezcurrena-Berasain¹, Juan E. Sánchez-Torres¹, and Rubén Barajas^{*2}, ¹Universidad Autónoma del Estado de México, FMVZ, Toluca, Estado de México, México, ²FMVZ-Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México.

Twenty-eight Rambouillet cross lambs (27.85 ± 2.91 kg) were used in a 74-d feedlot experiment to evaluate the influence of zilpaterol hydrochloride (Zilmax, Merck Animal Health) and enriched-Cr yeast (BioChrome, Alltech) supplementation on carcass characteristics and meat composition of feedlot lambs. Lambs were weighed and individually allotted. They were randomly assigned to 4 treatments as follows: 1) A 85% concentrate corn-SBM diet, contained 15.5% CP and 1.87 Mcal NEm/kg, (Control); 2) Control with 0.2 mg of zilpaterol hydrochloride/kg BW during last 28 d in the feedlot (ZH); 3) Control with 0.3 mg of Cr/kg DM (YCr); and 4) Control with ZH and YCr (ZHCr). Lambs were harvested, hot carcass weight measured and carcass dressing obtained. After 24 h chilling, *longissimus dorsi* muscle was cross sectioned at the 12th rib, and then back fat thickness and rib eye area were recorded. *Longissimus dorsi* samples were taken and meat chemical composition determined. Results were analyzed as a completely randomized design in a 2×2 factorial arrangement. Hot carcass weight tended to be greater ($P = 0.10$) in ZH (20.9 vs. 20.3 kg). Hot carcass dressing ($46 \pm 0.35\%$) was not different across treatments ($P > 0.20$). Back fat thickness was not affected by ZH ($P > 0.20$), but Cr tended ($P = 0.10$) to increase back fat thickness (2.02 vs. 1.67 mm). Rib eye area (25 ± 0.68) was similar across treatments ($P > 0.20$). Meat dry matter, ash, and CP content were not altered by treatments ($P > 0.10$). ZH decreased ($P = 0.03$) fat content (28.3 vs. 39.14 g/kg). Shear force of the meat from lambs fed ZH treatments was greater ($P < 0.01$) than in meat lambs not fed ZH (5.8 vs. 2.8 kg/cm²). Cooking losses were similar across treatments ($P > 0.10$). In conclusion, zilpaterol hydrochloride supplementation contributed to greater carcass weight and reduced fat content of meat, but shear force was greater. Yeast-Cr tended to increase back fat thickness without benefit in other carcass or meat characteristics.

Key Words: chromium, lamb, zilpaterol

W472 The nutritional value of confectionary sunflower hulls as forage source for finishing lambs. Rae-Leigh A. Pederzoli^{*} and Gregory B. Penner, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.

The objective of this study was to determine whether sunflower hulls (SFH) could be used as a partial replacement for barley silage in diets for finishing lambs. Eighteen Canadian Arcott wether lambs were randomly assigned to 1 of 3 treatments: 0SFH (60% barley grain, 30% barley silage and 10% lamb mineral pellet), 7.5SFH (60% barley grain, 22.5% barley silage and 10% lamb mineral pellet) and 15SFH (60% barley grain, 15% barley silage and 10% lamb mineral pellet). The lambs were weighed on 2 consecutive days at the start and end of the 25-d feeding period. Total fecal collection was performed from d 21 to 24, and behavior was monitored on d 25. Samples of feed and refusals were analyzed to evalu-

7.4 Resultados experimento 1

Los resultados de la respuesta productiva se muestran en el Cuadro 3. El CZ mejoró en 4.8%. La GDP del día 1 al 88 aumentó ($P < 0.02$) 15.51% por efecto del CZ. Sin embargo, la GDP del día 57 al 88 (periodo de adición de CZ), la GDP aumentó ($P < 0.01$) 39.4%. La conversión alimenticia (CA) del día 1 al 88 mejoró ($P < 0.01$) por el CZ un 14.62% y un 28.71% del día 57 al 88. La ZM tuvo efecto adverso en la CA del día 57 al 88, siendo menos eficiente ($P < 0.01$) en un 17.1%.

Cuadro 3. Efecto del CZ y ZM sobre la respuesta productiva de toretes en engorda intensiva.

Variable	CZ (mg ⁻¹ kg PV d ⁻¹)		ZM (mg kg ⁻¹)		EEM ¹	Probabilidad		
	0	0.15	0	80		CZ	ZM	CZ+ZM
PI 1 d (kg) ³	314.69	314.72	314.53	314.88	13.40	NS	0.10	0.41
P 56 d (kg) ³	425.76	431.3	428.7	428.35	2.726	0.22	0.93	0.59
PF 88 d (kg) ^{2,3}	467.87	490.14	483.74	474.27	9.84	0.05	0.21	0.55
GDP 1-56 d (kg d ⁻¹) ³	1.99	2.1	2.04	2.04	0.054	0.18	0.95	0.59
GDP 57-88 d (kg d ⁻¹) ³	1.32	1.84	1.72	1.44	0.126	0.01	0.06	0.63
GDP 1-88 d (kg d ⁻¹) ^{2,3}	1.74	2.01	1.93	1.82	0.067	0.02	0.24	0.58
CMS 1-56 d (kg d ⁻¹) ³	11.08	10.83	10.74	11.17	0.148	0.30	0.09	0.38
CMS 57-88 d (kg d ⁻¹) ²	10.61	10.41	10.71	10.31	0.493	0.72	0.47	0.39
CMS 1-88 d (kg d ⁻¹) ²	10.94	10.71	10.75	10.9	0.22	0.47	0.63	0.91
CA 1-56 d (kg)	5.59	5.19	5.28	5.49	0.171	0.06	0.25	0.28
CA 57-88 d (kg) ²	8.15	5.81	6.43	7.53	0.314	0.01	0.01	0.17
CA 1-88 d (kg) ²	6.29	5.37	5.63	6.03	0.14	0.01	0.06	0.68

¹ Error estándar de la media. NOTA Sugiero colocar en forma horizontal los cuadros para darles el tamaño normal. O se puede utilizar abreviaciones en los cuadros para reducir espacio.

² El promedio de la engorda fue de 88 días y la duración en engorda de los bloques (los bloques iniciaron la engorda al mismo tiempo, pero no terminaron igual) fue el siguiente: Bloque 1 = 77 días; bloque 2 = 90 días; y bloque 3 = 97 días.

³ P= Peso; PI= Peso Inicial; PF= Peso final; GDP= Ganancia Diaria de Peso; CMS= Consumo de Materia Seca; CA= Conversión Alimenticia.

En el Cuadro 4 se muestran los resultados de las características de la canal. El peso de la canal caliente (PCC), rendimiento en canal caliente (RCC) y área del *longissimus thoracis* (LM) aumentaron ($P < 0.05$) un 7.38, 2.49 y 13.38% por efecto del CZ. La temperatura a las 24 h y la intensidad de amarillo (espacio de color b^*) fueron reducidos ($P < 0.02$) un 25.28 y 24.06%, cuando se adicionó CZ a la dieta.

Cuadro 4. Efecto del CZ y ZM en las características de la canal en bovinos en engorda.

	CZ (mg kg PV ⁻¹ d ⁻¹)		ZM (mg kg ⁻¹)		EEM ¹	Probabilidad		
	0.0	0.15	0.0	80		CZ	ZM	CZ*ZM
PCC (kg)	280.9	301.7	294.6	288.1	2.392	0.01	0.22	0.80
RCC (%)	60.1	61.6	60.9	60.8	0.974	0.05	0.83	0.61
ALD (cm ²)	66.7	75.7	71.1	71.3	1.025	0.01	0.91	0.15
RPC (%) ²	2.07	2.05	2.05	2.07	0.065	0.90	0.90	0.40
Marboleo ³	450.0	453.3	456.7	446.7	8.607	0.85	0.58	0.37
pH 24 h	6.0	6.1	6.0	6.1	0.023	0.45	0.30	0.46
T 24 h (°C)	2.7	1.9	2.3	2.4	0.104	0.02	0.73	0.47
Colorimetría								
L*	21.6	21.7	21.4	21.9	1.003	0.96	0.72	0.37
a*	2.9	2.9	2.5	3.4	0.450	0.99	0.24	0.72
b*	15.2	11.6	14.8	11.9	0.867	0.02	0.06	0.76

¹Error estándar de la media. NOTA: EN VEZ DE NS COLOCAR EL VALOR DE LA SIGNIFICANCIA

²PCC = Peso de la Canal Caliente; RCC = Rendimiento en Canal Caliente; ALD = Área del *longissimus thoracis*; RPC = Grasa en riñón, pelvis y corazón; T = Temperatura.

³Código: Traza = 300; Ligero = 400; Pequeño = 500; Modesto = 600.

En el Cuadro 5 se presenta el efecto del CZ y ZM sobre el EGD y GIM; se observa que se comportan diferentes como mezcla que cuando se dan por separados. Al darse juntos tienden a disminuir el EGD y la cantidad de GIM.

Cuadro 5. Efecto de CZ y ZM sobre el espesor de grasa dorsal (EGD) y contenido de grasa intramuscular (GIM) en carne de bovinos en engorda intensiva.

Variable	CZ 0 (mg kg PV ⁻¹)		CZ 0.15 (mg kg PV ⁻¹)		EEM ¹	Probabilidad		
	ZM 0.0	ZM 80	ZM 0.0	ZM 80		CZ	ZM	CZ*ZM
	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)				
EGD ² (mm)	5.6 ^b	8.4 ^a	7.5 ^{ab}	6.1 ^{ab}	0.441	0.71	0.22	0.01
GMI ² (g kg ⁻¹ BH)	46.0 ^{ab}	49.0 ^a	49.0 ^a	34.0 ^b	0.241	0.10	0.08	0.01

¹Error estándar de la media.

²EGD = Espesor de Grasa Dorsal; GIM= Grasa Intramuscular;

^{a,b}Valores con literales distintas en el mismo renglón son diferentes ($P < 0.05$).

En el Cuadro 6 se presentan las características de la carne. No se encontró efecto en el porcentaje de ceniza, capacidad de retención de agua y terneza ($P > 0.05$). El porcentaje de MS presento tendencia a disminuir ($P < 0.06$) cuando se adiciono ZM a la dieta, la carne de los animales que recibieron ZM la MS fue 3.87% menor que los animales sin ZM. El porcentaje proteína se incrementó ($P < 0.01$) 5.99% y la perdida por cocción un 13.96%, en la carne de los animales que recibieron CZ.

Cuadro 6. Efecto del CZ y ZM sobre las características químicas y calidad de la carne de bovinos en engorda intensiva.

Variable	CZ (mg kg ⁻¹ PV)		ZM (mg kg ⁻¹)		EEM ¹	Probabilidad		
	0.0	0.15	0.0	80		CZ	ZM	CZ*ZM
MS (g kg ⁻¹)	264.3	267.9	271.3	260.9	3.62	0.50	0.06	0.51
C (g kg ⁻¹)	14.0	14.0	14.0	14.0	0.04	0.60	0.53	0.68
P (g kg ⁻¹)	218.7	231.9	229.0	221.5	3.43	0.01	0.14	0.73
CRA (%)	92.7	92.8	92.7	92.7	0.6	0.93	0.94	0.99
PPC (%)	26.3	29.9	29.3	26.9	1.01	0.02	0.11	0.78
FC (kg cm ²⁻¹)	9.2	8.9	9.6	8.5	0.67	0.68	0.27	0.25

¹Error estándar de la media.

²MS = Materia Seca; C = Ceniza; P = Proteína; CRA = Capacidad de Retención de Agua; PPC = Perdida por Cocción; FC = Fuerza de Corte.

En el Cuadro 7 se presenta el perfil de ácidos grasos de la carne de toretes en engorda intensiva. No se encontró efecto ($P > 0.05$) de ninguno de los tratamientos sobre el contenido de ácidos grasos de la carne.

Cuadro 7. Efecto del CZ y ZM en el perfil de ácidos grasos de carne húmeda de toretes en engorda intensiva.

Variable	CZ (mg kg ⁻¹ PV)		ZM (mg kg ⁻¹)		EEM ¹	Probabilidad		
	0.0	0.15	0.0	80		CZ	ZM	CZ*ZM
Animales	8	8	8	8				
Mirístico	1.86	1.66	1.69	1.84	0.208	0.34	0.47	0.45
n-pentadenoico	0.15	0.13	0.13	0.14	0.033	0.53	0.60	0.90
Palmitico	24.36	24.55	24.10	24.80	0.719	0.80	0.35	0.63
Palmitoleico	2.27	2.53	2.46	2.34	0.306	0.40	0.70	0.12
Margarico	0.55	0.49	0.49	0.55	0.101	0.61	0.52	0.74
Ciclopropanoico	0.43	0.45	0.47	0.41	0.096	0.81	0.51	0.16
Estearico	15.57	14.87	14.53	15.91	1.231	0.58	0.29	0.28
Oleico	44.99	44.88	45.95	43.92	2.033	0.96	0.34	0.50
Cis-11-Octadenoico	1.362	1.43	1.53	1.25	0.178	0.69	0.14	0.16
Linoleico	8.453	9.15	8.77	8.82	1.737	0.69	0.98	0.70
AGS ²	42.49	41.61	40.86	43.24	1.521	0.14	0.58	0.32
AGI ²	57.51	58.39	59.14	56.76	1.521	0.14	0.58	0.32
Relación AGI/AGS ²	1.36	1.42	1.46	1.32	0.083	0.12	0.53	0.34

¹Error estándar de la media.

²AGS = Ácidos Grasos saturados; AGI = Ácidos Grasos Insaturados.

7.5 Resultados experimento 2

Los resultados de la respuesta productiva se muestran el Cuadro 8. La eficiencia alimenticia se incrementó en un 10.7% ($P = 0.02$) en los ovinos que recibieron CZ. El CZ tiende a incrementar ($P = 0.10$) el peso final y la ganancia diaria de peso ($P = 0.07$). El consumo de materia seca no fue modificado por el CZ ($P > 0.05$). El Cr no modificó ($P > 0.05$) ninguna las variables antes mencionadas.

Cuadro 8. Influencia de la suplementación de clorhidrato de zilpaterol y levadura enriquecida-Cr sobre la respuesta productiva de ovinos en engorda intensiva.

Variable	CZ (mg kg ⁻¹ PV)		LCR (mg kg ⁻¹ MS)		EEM ¹	Probabilidad		
	0	0.20	0	0.3		CZ	LCR	CZ+LCR
Ovinos, n	14	14	14	14				
Días de estudio	74	74	74	74				
Días con CZ	0	28	-	-				
PI (kg) ²	23.28	23.34	23.32	23.67	0.827	0.96	0.99	0.96
PF (kg) ²	44.05	45.46	44.84	44.68	0.586	0.10	0.85	0.93
GDP (kg) ²	0.280	0.306	0.294	0.291	0.010	0.07	0.83	0.79
CMS (kg) ²	1.34	1.32	1.32	1.34	0.027	0.66	0.65	0.98
EA (kg) ²	0.213	0.236	0.227	0.221	0.006	0.02	0.58	0.88

¹ Error estándar de la media

²PI = Peso Inicial; PF = Peso final; GDP = Ganancia Diaria de Peso; CMS = Consumo de Materia Seca; EA = Eficiencia Alimenticia.

Los resultados de las características de la canal se muestran el Cuadro 9. El peso de la canal caliente ($P = 0.10$) y fría ($P = 0.07$) tendieron a incrementar por la suplementación de CZ. Las canales que recibieron CZ y LCR tendieron ($P = 0.08$; $P = 0.10$) a reducir la pérdida por enfriamiento. La LCR tendió ($P = 0.10$) a incrementar el espesor de grasa dorsal y el grado de engrasamiento ($P = 0.08$). La adición de CZ incrementó ($P < 0.01$) la conformación muscular, ancho y perímetro de la grupa. El rendimiento en canal, el área del

longissimus thoracis, grasa perirrenal, longitud de la canal, longitud de la pierna, perímetro de la pierna, y pH del *longissimus thoracis* no fueron afectados ($P > 0.05$) por los tratamientos.

Cuadro 9. Influencia de la suplementación de clorhidrato de zilpaterol y levadura enriquecida-Cr sobre las características de la canal en ovinos en engorda intensiva.

Variable	CZ (mg kg ⁻¹ PV)		LCR (mg kg ⁻¹ MS)		EEM ¹	Probabilidad		
	0	0.20	0	0.3		CZ	LCR	CZ+LCR
Canales, n	14	14	14	14				
PCC (kg) ^{2,6}	20.25	20.9	20.67	20.48	0.271	0.10	0.62	0.89
PCF (kg) ^{2,6}	19.44	20.18	19.86	19.77	0.274	0.07	0.82	0.98
RCC (%) ^{2,6}	46.03	45.97	46.14	45.86	0.346	0.91	0.57	0.90
RCF (%) ^{2,6}	44.19	44.39	44.32	44.26	0.325	0.68	0.92	0.90
PPE (%) ^{2,6}	3.98	3.45	3.95	3.47	0.203	0.08	0.10	0.38
ÁLT (cm ²) ^{2,6}	24.64	25.36	24.86	25.14	0.680	0.47	0.77	0.88
EGD (mm) _{2,6}	1.96	1.73	1.67	2.02	0.147	0.27	0.10	0.26
GP (%) ^{3,6}	3.21	3.29	3.21	3.29	0.143	0.73	0.73	0.30
GE ^{4,6}	3.07	3.14	3.00	3.21	0.083	0.55	0.08	0.55
CM ^{5,6}	200	264	236	229	12.372	0.01	0.69	0.69
LC (cm) ⁶	63.74	64.48	64.14	64.08	0.713	0.47	0.95	0.28
LP (cm) ⁶	36.36	35.39	35.79	35.96	0.584	0.25	0.83	0.76
PP (cm) ⁶	37.73	39.02	37.72	39.03	0.815	0.28	0.27	0.21
AG (cm) ⁶	19.49	20.81	20.10	20.20	0.336	0.01	0.82	0.47
PG (cm) ⁶	59.64	61.75	60.75	60.64	0.457	0.01	0.87	0.70
<i>pH longissimus</i>								
45min	6.47	6.46	6.40	6.53	0.057	0.95	0.12	0.36
24h	5.70	5.73	5.62	5.80	0.076	0.73	0.11	0.88

¹ Error estándar de la media

² Resultados ajustados por análisis de covarianza utilizando el peso inicial como co-variables asociado ($P < 0.05$)

³ Grado de cobertura de riñón: 1, descubierto; 2, gran ventana; 3 pequeña ventana; 4, totalmente cubierta.

⁴ Código: 1, muy magra; 2, magra; 3, poco graso; 4, graso; 5, muy graso.

⁵ Código: 100, pobre; 200, normal; 300, buena; 400, muy buena; 500, excelente.

⁶PCC = Peso de la Canal Caliente; PCF = Peso de la Canal Fría; RCC = Rendimiento en Canal Caliente; RCF = Rendimiento en Canal Fría; PPE = Pérdida por enfriamiento; ALT = Área del *longissimus thoracis*; EGD = Espesor de Grasa Dorsal; GP = Grasa Perirrenal; GE = Grado de Engrasamiento; CM = Conformación muscular; LC = Longitud de la Canal; LP = Longitud de la Pierna; PP = Perímetro de la Pierna; AG = Ancho de la Grupa; PG = Perímetro de Grupa.

Los resultados de las características del *longissimus thoracis* se muestran el Cuadro 10. La materia seca, ceniza, proteína y pérdida por cocción no fueron afectados por los tratamientos ($P > 0.05$). La suplementación del CZ disminuyó ($P = 0.03$) el contenido de grasa en la carne un 10%, sin embargo, aumentó ($P < 0.01$) en un 108% la fuerza de corte.

Cuadro 10. Influencia de la suplementación de clorhidrato de zilpaterol y levadura enriquecida-Cr sobre las características del *longissimus thoracis* en ovinos en engorda intensiva.

Variable	CZ (mg kg ⁻¹ PV)		LCR (mg kg ⁻¹ MS)		EEM ¹	Probabilidad		
	0	0.20	0	0.3		CZ	LCR	CZ+LCR
MLT (n) ²	14	14	14	14				
MS (g kg ⁻¹) ²	258.49	256.05	257.3	257.2	2.356	0.47	0.98	0.44
C (g kg ⁻¹) ²	11.8	10.72	11.76	11.76	0.494	0.14	0.16	0.44
P (g kg ⁻¹) ²	181.7	181.3	184.6	178.5	3.404	0.93	0.22	0.68
G (g kg ⁻¹) ²	39.14	28.3	36.31	31.12	3.289	0.03	0.28	0.42
PPC(%) ²	28.03	25.87	25.81	28.09	21.879	0.49	0.47	0.11
FC (kg cm ²⁻¹) ²	2.78	5.78	4.06	3.95	0.181	0.01	0.68	0.11

¹ Error estándar de la media

²MLT= Muestras *longissimus thoracis*; MS= Materia Seca; C= Ceniza; P= Proteína; G= Grasa; PPC= Pérdida por Cocción; FC= Fuerza de Corte.

En el Cuadro 11 se presentan los resultados de la composición de ácidos grasos del *longissimus thoracis*. Los tratamientos no modificaron ($P > 0.10$) la cantidad de ácidos grasos saturados, insaturados, y la relación ácidos grasos insaturados/saturados.

La suplementación de CZ disminuyó ($P < 0.05$) la proporción del ácido oleico, pero aumentó ($P < 0.01$) linoleico y araquidico ($P < 0.05$); la LCR disminuyó ($P=0.05$) el ácido mirístico y palmítico ($P = 0.02$), pero aumentó ($P = 0.04$) el ácido vaccénico. Se encontró efecto de la interacción CZ+LCR sobre el ácido mirístico ($P = 0.03$) y palmitoleico ($P = 0.04$).

Cuadro 11. Efecto de la suplementación de clorhidrato de zilpaterol y levadura enriquecida-Cr en la composición de ácidos grasos del *longissimus thoracis* en ovinos en engorda intensiva.

Variable	CZ (mg kg ⁻¹ PV)		LCR (mg kg ⁻¹ MS)		EEM ¹	Probabilidad		
	0	0.20	0	0.30		CZ	LCR	CZ+LCR
MLT (n) ²	13	14	14	13				
Mirístico	1.19	1.11	1.06	1.24	0.084	0.38	0.05	0.03
Pentadenoico	0.11	0.12	0.12	0.11	0.016	0.84	0.64	0.41
Palmítico	22.55	21.52	21.33	22.74	0.584	0.09	0.02	0.07
Palmitoleico	1.73	1.61	1.60	1.74	0.115	0.31	0.23	0.04
Margárico	0.65	0.65	0.68	0.62	0.055	0.99	0.25	0.78
Ciclopropanoico	0.63	0.57	0.67	0.53	0.074	0.42	0.06	0.44
Estearico	13.20	14.05	13.73	13.52	0.521	0.11	0.70	0.07
Oleico	52.24	50.19	51.33	51.10	0.996	0.05	0.82	0.81
Vaccénico	1.44	1.64	1.66	1.42	0.108	0.08	0.04	0.43
Linoleico	4.05	5.58	5.13	4.50	0.381	0.01	0.11	0.29
Araquídico	2.16	2.92	2.66	2.42	0.370	0.05	0.53	0.16
AGS ²	39.89	40.39	39.59	40.69	0.912	0.56	0.22	0.80
AGI ²	60.12	59.61	60.41	59.31	0.912	0.56	0.22	0.80
Relación AGI/AGS ²	1.52	1.48	1.53	1.47	0.50	0.50	0.22	0.75

¹Error estándar de la media

² MLT = Muestras *longissimus thoracis*; AGS = Ácidos Grasos saturados; AGI = Ácidos Grasos Insaturados.

VIII. DISCUSIÓN GENERAL

8.1 Discusión experimento 1

En esta investigación se encontró aumento en el PF y GDP de los toretes suplementados con CZ, lo cual se pueden atribuir al incremento de la síntesis de proteína en el músculo y a la disminución del recambio proteico en el músculo, que induce una hipertrofia muscular en respuesta a la suplementación de este aditivo (Helferich *et al.*, 1990; Johnson *et al.*, 2014). Se sabe que uno de los efectos de los β AA es aumentar la perfusión sanguínea hacia el tejido muscular, así como incrementar la disponibilidad de energía y aminoácidos (Li *et al.*, 2000; Ekpe *et al.*, 2000); esto permite que la actividad anabólica del CZ sea más eficiente, mediante el aumento de la actividad del AMPc, uno de los mensajeros intracelulares más importantes (Mersmann, 1998); el AMPc se une a la sub-unidad reguladora de la proteína quinasa A (PKA) para liberar la sub unidad catalítica que fosforila proteínas intracelulares (Strosberg, 1992; Liggett y Raymond, 1993), y esto deriva en un incremento del ARNm que codifica para las cadena pesada de miosina-IIX y IIB en las células musculares de bovinos (Baxa *et al.*, 2010; Hemmings *et al.*, 2014). Este incremento de peso es un resultado que ha sido reportado previamente en bovinos y ovinos (Montgomery *et al.*, 2009; Mondragon *et al.*, 2010; McEvers *et al.*, 2014). La CA se mejoró en los toretes alimentados con CZ; en concordancia con resultados de esta investigación, trabajos previos con bovinos y ovinos han mostrado efectos benéficos del CZ en la CA (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; McEvers *et al.*, 2014; Bohrer *et al.*, 2014). Montgomery *et al.* (2009) al adicionar 8.3 mg de CZ kg^{-1} de MS a la dieta de toretes en finalización en engorda intensiva reportaron un incremento en el PV final de 2.3% y en la GDP un 4.7% durante toda la prueba; sin embargo, al considerar el periodo en el que se le ofreció CZ, la GDP aumentó 14.1%, y la eficiencia alimenticia (EFA) aumentó de 5.9 a 19.2%. En otro trabajo realizado por McEvers *et al.* (2014) indican un aumento en el PF de 1.3%, en la GDP de 26.6% y la mejora en la EFA de 30.8% por efecto del CZ. Mondragón *et al.* (2010) observaron un efecto lineal en la GDP y la CA en borregos en finalización con CZ. El CMS no fue afectado por el suministro de CZ; se espera una reducción en el CMS cuando se suplementa CZ (Montgomery *et al.*, 2009; McEvers *et al.*, 2013; 2014); sin embargo, el incremento de

la ganancia de peso, sin afectar el CMS ha sido reportado por diversos autores (Mondragón *et al.*, 2010; Lawrence *et al.*, 2011; Parr *et al.*, 2011).

El ZM tiende a disminuir la GDP durante los días 57 al 88 de engorda. Estos resultados indican que al duplicar la concentración de Zn en la dieta hasta alcanzar 153 mg kg⁻¹, por la adición de 80 mg kg⁻¹ Zn (como ZM) a una dieta que contenía 73 mg kg⁻¹ de Zn, modifica el crecimiento de los toretes de una manera negativa. Malcom-Callis *et al.* (2000) y Bohrer *et al.* (2014) no encontraron ningún efecto negativo en el crecimiento de novillos que recibieron hasta 200 mg kg⁻¹ de Zn a partir de ZnSO₄ o 1 g de Zn suplementado como Zn-propionato. Considerando que el Zn vinculado a una molécula orgánica tiene una mayor disponibilidad que el de una fuente inorgánica (NRC, 1996; Spears y Kegley, 2002), la proporción equivalente de Zn que fue absorbida por los toretes pudo ser más alta en este experimento. En el presente estudio, el ZM no afectó el CMS en los bovinos; sin embargo, se observó una tendencia en el incremento del CMS en el periodo entre los días 1 al 56 de la engorda. El mecanismo por el cual el Zn participa en la moderación del consumo de alimento se desconoce aún. Se piensa que el aumento de la concentración plasmática de la insulina con una ligera disminución de la concentración plasmática de glucosa, produce una disminución en el consumo de alimento, sin embargo, si se da una hipoglucemia el consumo no se ve afectado (Grovum, 1995). Se sabe que el Zn puede disminuir la concentración plasmática de glucosa, debido al incremento de transportadores GLUT-4, que permiten la entrada de la glucosa al interior de la célula (Hajdуч *et al.*, 2001; Saltiel y Kahn, 2001).

Características de la canal

La suplementación de CZ a bovinos en engorda intensiva incrementó el PCC y el RC en comparación con los animales testigo. Estos resultados concuerdan con estudios previos, los cuales están dentro de los rangos de 4.0 a 5.7% para PCC, y de 1.8 hasta 2.6% para RC (Lawrence *et al.*, 2011; Parr *et al.*, 2011; McEvers *et al.*, 2014). El incremento del RC caliente en bovinos alimentados con CZ es uno de los efectos mayormente observados

(Avendaño-Reyes *et al.*, 2006), así como con ractopamina (Schroeder *et al.*, 2003; Boler *et al.*, 2012; Bohrer *et al.*, 2014). En bovinos alimentados con CZ se espera un incremento de por lo menos 1.5% en el RC (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006). Los toretes alimentados con CZ incrementaron el área del LM en un 13.4% comparado con los toretes que no fueron alimentado con CZ; esto puede ser debido a la inhibición del recambio proteico y al incremento de la síntesis de proteínas miofibrilares, lo cual puede causar hipertrofia muscular (Ricks *et al.*, 1984; Johnson *et al.*, 2014). Este incremento del área del LM ha sido apreciado en numerosos estudios (Montgomery *et al.*, 2009; Lawrence *et al.*, 2011; McEvers *et al.*, 2014); sin embargo, en algunos estudios este efecto no ha sido evidente (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Bohrer *et al.*, 2014). La variación del efecto del CZ en los animales puede ser debido a diferencia de sexo, genotipo, capacidad de retener nutrientes, entre otros (Mersmann, 1998; Lawrence *et al.*, 2011; Johnson *et al.*, 2014).

La suplementación de CZ a bovinos usualmente decrece el contenido de grasa, tanto la grasa que rodea al riñón, corazón y la pelvis como la grasa de marmoleo (Johnson *et al.*, 2014); sin embargo, en esta investigación y otras como la de Parr *et al.* (2011) no encontraron efecto del CZ. Los β AA, también conocidos como repartidores de energía, derivan la energía de los alimentos y de la lipólisis hacia la síntesis proteica muscular (Mersmann, 1998), la lipólisis aumenta debido al aumento de la actividad del AMPc causada por los β AA, esta a su vez activa la proteína quinasa A, la cual fosforila a la hormona sensible a lipasa (HSL), la HSL fosforilada es la que inicia la lipólisis (Mersmann, 1998). El CZ tiene un papel importante en el metabolismo de la grasa, en especial la que no forma parte de la canal, como son la mesentérica y la grasa omental (Mongomery *et al.*, 2009), lo que podría explicar por qué no se observa disminución de la grasa RCP y la grasa de marmoleo; esto sustenta el incremento del peso final y el peso de la canal caliente en este trabajo (4.8 y 7.38%).

El pH de la carne no fue afectado por los tratamientos (CZ o ZM); resultados similares se han observados en la carne de toretes suplementados con CZ o ractopamina (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Bohrer *et al.*, 2014). La temperatura de la carne fue menor por la alimentación de CZ. El grado de engrasamiento puede estar relacionado con este efecto, ya

que el tejido adiposo protege de las temperaturas frías (Murray, 1989); por lo tanto, las canales con menos grasa de cobertura se enfrían menos rápido. Sin embargo, no se observó efecto del CZ sobre el EGD; en investigación no se evaluó la distribución de la grasa de cobertura.

El brillo y la intensidad del color rojo en la carne (espacios de color L^* y a^*) no fueron afectados por los tratamientos con CZ o ZM, sin embargo, la intensidad del amarillo (espacio de color b^*) se redujo cuando se adicionó CZ a la dieta de los toretes. Una reducción en la intensidad del color por efecto del CZ fue reportado por Hilton *et al.* (2009). La intensidad del color está relacionada con la oxidación de la mioglobina a metamioglobina (MacDougall, 1977; Faustman *et al.*, 2010); estos resultados sugieren que en este experimento el CZ disminuyó la oxidación de la mioglobina y fue expresado con una reducción en la intensidad del color. La adición de ZM no afectó ninguna de las características previamente descritas, y no hubo efecto de la interacción del CZ x ZM para ninguna de las características de la canal. Sin embargo, se encontró efecto de la interacción CZ x ZM sobre el EGD, y GIM, donde se observaron los valores más altos de GIM en el tratamiento ZM80 en ausencia de CZ y los más bajos corresponde al ZM80 pero en presencia de CZ. El aumento de la grasa como EGD y GIM en los animales suplementados con ZM que no recibieron CZ coincide con lo reportado por varios autores (Greene *et al.*, 1988; Malcom-Callis *et al.*, 2000; Spears y Kegley, 2002), quienes encontraron un incremento en el EGD cuando adicionaron diferentes dosis y fuentes de Zn la dieta de toretes. El Zn tiene efectos lipogénicos facilitando la señalización de la insulina (Tang y Shay, 2001; Park *et al.*, 2003; Vardatsikos *et al.*, 2013), también tiene efectos sobre el metabolismo de la grasa y carbohidratos, incrementando el transporte de glucosa, síntesis de glucógeno y lipogénesis, o inhibiendo la gluconeogénesis y lipólisis (Pessin y Saltiel, 2000; Park *et al.*, 2003), esto facilita la señalización de la insulina, ya sea incrementando la fosforilación de la subunidad- β de los receptores de insulina (IR) (Tang y Shay, 2001), por un efecto inhibitorio sobre la proteína tirosina fosfatasa (PTPases) (Vardatsikos *et al.*, 2013), incrementando la fosforilación de múltiples receptores de la proteína tirosina cinasa (R-PTKs), como el receptor del factor de crecimiento parecido a la insulina tipo-1 (IGF-1R),

y el receptor del factor de crecimiento epidérmico (EGFR) (Vardatsikos *et al.*, 2013); otro efecto sobre las vías de señalización de la insulina, es el incremento de la fosforilación de la proteína cinasa B (PKB), por la estimulación directa de la fosfatidilinositol-3-cinasa (PI3K) (Eom *et al.*, 2001); la PKB incrementa el número de transportadores GLUT-4 que permiten la entrada de glucosa al interior de la célula (Hajduch *et al.*, 2001; Saltiel y Kahn, 2001). El aumento de la síntesis de glucógeno, es debido a la inhibición de la glucógeno sintetasa cinasa 3 β (GSK-3 β), debido a que el Zn fosforila la GSK-3 β , de esta manera la inactiva, causando el incremento de la acción de la glucógeno sintetasa, aumentando la síntesis de glucógeno (Cole *et al.*, 2001). Se ha reconocido que el Zn no solo actúa en la vías de señalización de la insulina, sino que también tiene la capacidad de comportarse como la insulina, estimulando la lipogénesis en los adipocitos de rata (Coulston y Dandona, 1980), y de inhibir la lipólisis en adipocitos aislados de ratas, debido a que induce la formación de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) (May y Contoreggi, 1982), el cuál estimula la lipogénesis e inhibe la lipólisis (Mukherjee, 1980).

Oh y Choi (2004) estudiaron *in vitro* la actividad lipogénica del Zn en adipocitos intramusculares de bovinos, y encontraron que la suplementación de Zn causa un marcado cambio en la morfología de los adipocitos intramusculares; esto debido a una marcada supresión del ON (Óxido Nítrico). El ON es una molécula de señalización que regula el metabolismo de nutrientes (Wu y Meininger, 2002), estimula la entrada de glucosa y la oxidación de ácidos grasos en tejidos sensibles a la insulina, inhibiendo la síntesis de glucosa, glucógeno y grasas, e incrementa la lipólisis en los adipocitos, actuando por diferentes vías a través de la fosforilación de la adenosine-3'-5'-monofosfato activada por proteínas cinasas (AMPK), fosforilando la lipasa sensible a hormonas (LSH) y perilipinas (Jobgen *et al.*, 2006), sin embargo, al inhibir el ON, aumenta la expresión del receptor- γ 2 activado por el factor proliferador de peroxisomas (PPAR- γ 2), incrementando la acumulación de lípidos en el citosol, debido a los cambios en la expresión de los factores de transcripción y de los genes responsables de la síntesis de triglicéridos, como las proteínas lipasas (Oh y Choi, 2004). Por otro lado, la reducción en el EGD y la GIM por el CZ podría ser atribuido a la capacidad de los β AA para reducir el tejido adiposo debido a su efecto

inhibitorio de la biosíntesis *de novo* de ácidos grasos y la estimulación de la hidrólisis de los triacilglicéridos (Oscar, 1995; Johnson *et al.*, 2014). Sin embargo, esta información es insuficiente para entender el efecto del CZ y ZM cuando están juntos, en la disminución del contenido de grasa como EGD y GIM en los toretes. Hay pocos resultados en la literatura para comparar la interacción entre el CZ x ZM; Bohrer *et al.* (2014) reportaron que el contenido de grasa de las canales no se ve afectado por la suplementación de Zn propionato de novillos alimentados con ractopamina.

Calidad de la carne

La suplementación de clorhidrato de zilpaterol incrementó el contenido de proteína en el músculo. Resultados similares han sido previamente reportados por Shook *et al.* (2009) y es atribuible a la mayor retención de nitrógeno inducido por el CZ (Helferich *et al.*, 1990; Mersmann, 1998). La pérdida por cocción aumentó por efecto del CZ; este incremento es frecuentemente observado (Holmer *et al.*, 2009; Garmyn *et al.*, 2011), aunque el mecanismo por el cual el CZ incrementa la pérdida por cocción no es clara; Holmer *et al.* (2009), sugieren que esto puede ser debido al incremento de tamaño de las células musculares debido al CZ, por lo tanto, la estructura de soporte de la carne podría ser modificada.

La terneza de la carne se ve influenciada por diferentes factores tales como la edad, sexo, raza, grasa, tratamientos previos al sacrificio, enfriamiento, técnicas de cocción, sistemas enzimáticos endógenos, entre otros (Koohmaraie, 1992; Purchas y Aungsupakorn, 1993; Morton *et al.*, 1999); entre los sistemas enzimáticos endógenos, el más importante es el sistema de las proteasas dependientes de Ca^{+2} , en el que actúan 3 enzimas la μ -calpaína, la m-calpaína y la calpastatina, esta última inhibidora competitiva de la actividad de las enzimas calpaínas (Goll *et al.*, 2003); las calpaínas son las principales enzimas proteolíticas del músculo provocando cambios en la estructura del tejido muscular (Killefer *et al.*, 1994). Se sabe que el uso de β -AA tiene efectos negativos sobre la terneza de la carne debido a que aumenta la actividad de la calpastatina, debido a que la proteína quinasa aumenta el nivel de expresión del gen de la calpastatina (Wheeler and Koohmaraie, 1992; Luño *et al.*,

1999). En la mayoría de los trabajos se ha reportado un incremento en la fuerza de corte con la cuchilla Warner-Bratzler, cuyas mediciones se hacen en carne con 7 a 21 días de maduración (Leheska *et al.*, 2009; Shook *et al.*, 2009; Garmyn *et al.*, 2010; Rathman *et al.*, 2012). En esta investigación la carne solo tuvo 24 h de maduración; el 80% de la terneza de la carne se da durante las primeras 72 h por efecto de la proteólisis (Koohmaraie, 1996; Geesink *et al.*, 2006); posiblemente las 24 h no fueron suficientes para poder apreciar el efecto de la inhibición de la calpastatina sobre la μ -calpaína.

La ceniza representa el contenido de minerales en la carne, al parecer el CZ no afecta el contenido de minerales, esto concuerda con lo reportado en trabajos previos (Leheska *et al.*, 2009; Neill *et al.*, 2009). La capacidad de retención de agua así como el perfil de ácidos grasos de la carne de bovinos en engorda intensiva no fue afectado por la suplementación con CZ; estos resultados concuerdan con lo reportado por Choi *et al.* (2013). Smith *et al.* (2006) reportaron que la concentración del ácido oleico se incrementa con el grado de marmoleo de la carne. En esta investigación el grado de marmoleo no fue afectado por los tratamientos.

8.2 Discusión experimento 2

El Clorhidrato de Zilpaterol (CZ) tendió a incrementar el peso final y la ganancia diaria de peso (GDP) de los corderos, lo cual indica la actividad de los β -agonistas, tomando en cuenta que solo se les suplementó por 30 días de los 74 días que duró la prueba, y sin embargo fue capaz de inducir un cambio en 1.4 kg el peso final, y en 26 g más la ganancia de masa corporal diaria. El incremento de la masa corporal en los rumiantes alimentados con CZ se atribuye a la respuesta del incremento en la síntesis de proteínas musculares, así como la disminución del recambio proteico muscular, lo que provoca una hipertrofia del músculo en respuesta a la suplementación de este β -agonistas (Mondragon *et al.*, 2010; Johnson *et al.*, 2014; McEvers *et al.*, 2014). Este efecto del CZ sobre el anabolismo de los animales está mediada por el aumento en la actividad del AMPc (Mersmann 1998), la cual provoca un incremento del ARNm que codifica para la cadena pesada de miosina-IIX y IIB en las células musculares (Baxa *et al.*, 2010; Hemmings *et al.*, 2014). El consumo de

materia seca (CMS) no fue afectado por los tratamientos, sin embargo, la eficiencia alimenticia (EA) aumentó en 10.7% con relación a los animales que no recibieron CZ. Un efecto positivo sobre la GDP y la EA sin afectar el CMS ha sido consistentemente reportado cuando se suplementa a bovinos en engorda con CZ (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Plascencia *et al.*, 2008; Vasconcelos *et al.*, 2008) o con ractopamina (Walker *et al.*, 2006; Sissom *et al.*, 2007), y en ovinos en engorda intensiva con CZ (Estrada *et al.*, 2008; Robles-Estrada *et al.*, 2009), lo cual es atribuible a la fuerte actividad anabólica del CZ (Mersmann, 1998; Baxa *et al.*, 2010; Hemmings *et al.*, 2014), que induce una mayor retención de N en el músculo de los corderos alimentados con CZ, a pesar de que comían la misma cantidad de PC que los corderos alimentados sin CZ. Es generalmente aceptado que el uso de β -AA pudiera dar como resultado un incremento en la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia (Moody *et al.*, 2000). Sin embargo, se han observado diferentes respuestas a la administración de β -AA (Vahedi *et al.*, 2014). Salinas-Chavira *et al.* (2004) observaron incremento en CMS y GDP cuando se alimentó con CZ a corderos de la raza Pelibuey. No obstante, Felix *et al.* (2005) al suplementar a corderos de la raza Pelibuey con CZ no observaron ningún efecto durante el crecimiento. La explicación de las inconsistencias de los efectos de la suplementación con CZ en el crecimiento de corderos no son muy claras. La suplementación con Cr no tuvo ningún efecto sobre las variables estudiadas y no se observó interacción entre Cr x CZ.

Características de la canal

El incremento en el peso de la canal es una respuesta que se observa repetitivamente en diversos trabajos en rumiantes alimentados con CZ (Mondragón *et al.*, 2010; Avendaño-Reyes *et al.*, 2011), como resultado del efecto anabólico que ejerce el CZ, incrementando la hipertrofia de las fibras musculares, cambio en el tipo de fibra, diferencia de la tasa de ADN y ARN muscular, y alta acreción de PC en los animales (Beermann, 2002; Leheska *et al.*, 2009; Montgomery *et al.*, 2009; Johnson *et al.*, 2014). Los efectos de los β -AA sobre las canales son más consistentes en bovinos que en ovinos (Estrada-Angulo *et al.*, 2008), Pringle *et al.* (1993) observaron un incremento en el peso de la canal de ovinos

suplementados con β -AA. Avendaño-Reyes *et al.* (2011) suplementaron CZ a una dosis de 10 mg al día por un periodo de 32 días, y reportaron un incremento en el peso de la canal caliente y fría de borregos Dorper x Pelibuey. En un trabajo similar utilizando la misma dosis y la misma proporción genética, pero sometiendo a los animales a estrés calórico Macías-Cruz *et al.* (2010) reportaron una mejora en el peso de la canal caliente y fría. En otros casos, no se ha encontrado efecto sobre el peso de la canal de ovinos alimentados con CZ (Estrada-Angulo *et al.*, 2008; Robles-Estrada *et al.*, 2009). La adición de CZ incrementó la conformación muscular, ancho y perímetro de la grupa. El incremento en la conformación muscular ha sido previamente reportado (Macías-Cruz *et al.*, 2010; Avendaño-Reyes *et al.*, 2011). El CZ es una sustancia que muestra una gran afinidad por los receptores β 2-adrenergicos que se encuentran situados en la membrana celular (Johnson *et al.*, 2014); la abundancia de receptores β 2-adrenergicos en varios músculos de rumiantes, como por ejemplo en el bíceps posterior de ovinos (Ekpe *et al.*, 2000), explicaría que al estimularlos desencadenarían un incremento en la síntesis de proteínas miofibrilares con inhibición del recambio proteico, lo que causaría una hipertrofia del músculo (Ricks *et al.*, 1984; Johnson *et al.*, 2014).

El CZ no afectó el rendimiento en canal caliente, rendimiento en canal fría y área del *longissimus thoracis*. En varios estudios, la suplementación a ovinos con CZ ha incrementado el rendimiento en canal y el área del *longissimus thoracis* (Macías-Cruz *et al.*, 2010; Avendaño-Reyes *et al.*, 2011) y en bovinos (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Montgomery *et al.*, 2009); sin embargo, en algunos estudios con ovinos estos efectos han sido inexistentes (Aguilar-Soto *et al.*, 2008; Robles-Estrada *et al.*, 2009). La variación en la composición genética, proporción y tipos de cruza de corderos utilizados en el experimento actual, podría haber contribuido en no poder observar efecto del CZ sobre el rendimiento en canal y área del *longissimus thoracis*; sin embargo, la gran variación del grado de los efectos observados en los animales en los diferentes trabajos realizados, puede ser debido a diferencias en sexo, genotipo, capacidad de retención de nutrientes, dosis y dieta (Mersmann, 1998; Lawrence *et al.*, 2011; Johnson *et al.*, 2014).

La suplementación de cromo en forma de levadura tiende a incrementar el espesor de grasa

dorsal, así como el grado de engrasamiento; el incremento de la deposición de grasa en las canales puede estar asociado a un efecto del cromo asociado a un aumento en la sensibilidad de las células a la insulina, como parte de una proteína de bajo peso molecular unida a cromo (cromodulina) que estabiliza el receptor de la insulina, y esto permite una potencialización de la señal (Mertz, 1993; Vincent, 2004). La insulina tiene un fuerte efecto anabólico, ya que incrementa la entrada de glucosa al músculo, tejido adiposo y el hígado (Mertz, 1993), provocando el incremento de la síntesis de proteína, ácidos nucleicos (Sasaki, 2002) y síntesis de grasa (McNamara y Valdez, 2005).

La grasa perirrenal fue similar entre tratamientos. No se observó interacción entre Cr x CZ en las características de la canal.

Características del *longissimus thoracis*

La suplementación con CZ disminuyó en 10% la proporción de grasa en la carne de los corderos, en relación con los que no fueron suplementados; este resultado concuerda con la actividad del CZ que induce a una lipólisis en todas las especies de mamíferos (Helferich *et al.*, 1990; Mersmann, 1998; Leheska *et al.*, 2009).

En la carne de los corderos que fueron suplementados con CZ aumentó la fuerza de corte comparada con los que no recibieron CZ. Este incremento en la fuerza de corte de la carne que proviene de rumiantes alimentados con CZ ha sido previamente reportado (Garmyn *et al.*, 2010; Choi *et al.*, 2013; Bohrer *et al.*, 2014); este efecto no deseado del CZ, puede ser debido al incremento en el contenido de proteína de las fibras musculares (Leheska *et al.*, 2009; Johnson *et al.*, 2014) aunado con disminución del contenido de grasa en el músculo (Mersmann, 1998; Brooks *et al.*, 2010).

Composición de ácidos grasos

Los tratamientos con CZ no afectaron la cantidad total de ácidos grasos saturados, ácidos grasos insaturados y la relación insaturados/saturados; estos resultados concuerdan con lo reportado en bovinos en finalización alimentados con CZ (Choi *et al.*, 2013; Van Bibber-Kreuger *et al.*, 2015); sin embargo, Davila-Ramos y Robles-Estrada (2014), suplementaron

a corderos con CZ durante 40 días con una dosis alta de 0.2 mg kg⁻¹ de PV, y apreciaron una reducción sobre el contenido de ácidos grasos saturados e incremento de los ácidos grasos insaturados en el músculo *longissimus thoracis*; la diferencia en estos resultados respecto al actual experimento pudiera ser debido al peso final mayor (50 kg) para una talla menor de la craza Pelibuey x Katahdin, junto con el prolongado tiempo de suplementación del CZ, en relación con el peso final de 45 kg de la craza de Rambouillet usada en el presente experimento que recibieron una dosis similar de CZ.

Independientemente de la falta de efecto sobre el contenido de total de ácidos grasos saturados o insaturados, la proporción de varios ácidos grasos individuales fueron modificados. La suplementación de CZ tiende a disminuir el ácido palmítico y oleico, así como la proporción del contenido de grasa muscular; sin embargo, incrementa la proporción de ácido linoleico y araquidónico, y tiende a incrementar el ácido vaccénico. El incremento del ácido linoleico en un 1.52% implica que la carne de corderos suplementados con CZ contienen proporcionalmente 37.5% más ácido linoleico que los borregos que no recibieron CZ; este resultado es de interés debido al papel que el ácido linoleico juega en la salud humana y en su nutrición, donde está inversamente asociado con la presencia de placas ateroscleróticas calcificadas en las arterias coronarias (Djoussé *et al.*, 2005). Comparando una sola ingesta de una porción de 250 g de lomo de cordero que fue alimentado con CZ suministra 27.7% menos grasa que una porción sin suplemento de CZ; además, proporciona 1.6 g de ácido linoleico equivalente al 9.3 y 13% del consumo diario sugerido para hombres y mujeres de entre 19 a 51 años (USDA y HHS, 2010). A pesar de que la reducción de la grasa, como espesor de grasa dorsal, marmoleo, contenido de grasa muscular, grasa de riñón-pelvis-corazón, ha sido constantemente reportada como una respuesta a la suplementación del CZ (Mersmann, 1998; Johnson *et al.*, 2014), es poca la información sobre el impacto en la composición de ácidos grasos de la carne. Davila-Ramos y Robles-Estrada (2014), al suplementar 0.20 mg de CZ kg⁻¹ de PV por 40 días a corderos encontraron una tendencia a incrementar un 5.2% el ácido linoleico en la grasa intramuscular; sin embargo, Choi *et al.* (2013) no observaron ningún efecto sobre la concentración intramuscular del ácido linoleico como consecuencia de la adición de 1.6 g al

día en bovinos en finalización. Van Bibber-Kreuger *et al.* (2015) al adicionar 8.33 mg CZ kg⁻¹ MS por 21 días a bovinos en finalización, no observaron efecto sobre ácido linoleico o el ácido linoleico conjugado en el plasma, así como en la grasa subcutánea.

La suplementación de cromo incrementó la proporción de los ácidos mirístico y ácido palmítico, y tendió a incrementar el ácido ciclopropanoico. El ácido vaccénico disminuyó como consecuencia de la suplementación de Cr. Se observó interacción Cr x CZ sobre el ácido mirístico, donde la carne proveniente de los ovinos alimentados con CZ tuvo el valor más bajo (0.93%), mientras que los corderos que recibieron una suplementación conjunta de Cr y CZ presentaron los valores más altos (1.3%); en el mismo sentido, se encontró efecto de esta interacción sobre el ácido palmítico. En la proporción del ácido esteárico se observó interacción; en la grasa dorsal de los corderos que no fueron suplementados con Cr o CZ se observaron los valores más bajos (12.8%), pero en la grasa de las muestras provenientes de los corderos alimentados con CZ se encontraron los valores más altos (14.7%), sin embargo, las muestras provenientes de animales suplementados con Cr o con ambos los valores fueron intermedios. Los efectos observados en esta investigación resultan contrarios a los observados por Davila-Ramos y Robles-Estrada (2014), quienes encontraron disminución en la proporción del ácido esteárico cuando los corderos son alimentados con 0.20 mg de CZ kg⁻¹ de PV durante 40 días. En novillos no se han observado cambios sobre la proporción del ácido esteárico de la grasa intramuscular del *longissimus thoracis*, grasa subcutánea o en el plasma como respuesta a la suplementación del CZ (Choi *et al.*, 2013; Van Bibber-Kreuger *et al.*, 2015).

IX. CONCLUSIÓN GENERAL

De acuerdo a los resultados obtenidos de esta investigación, se concluye que el clorhidrato de zilpaterol contribuye a mejorar la respuesta productiva y características de la canal de bovinos y ovinos; en los bovinos aumentó el contenido de proteína en la carne y en los ovinos disminuyó el contenido de grasa de la carne y se incrementó la terneza.

No se observó efecto de la interacción CZ x Cr en la respuesta productiva, características de la canal y características físico-químicas del *longissimus thoracis* en ovinos en engorda intensiva. Al adicionar CZ x ZM se encontró efecto de la interacción sobre el espesor de grasa dorsal y contenido de grasa intramuscular; en ambos casos el efecto de suplementarlos juntos fue disminuir la cantidad de grasa; no se observó efecto de la interacción en las demás variables, por lo que no observó ventaja al adicionar CZ más ZM en bovinos en engorda intensiva, así como en la suplementación de CZ más Levadura enriquecida con Cr para ovinos en finalización.

X. LITERATURA CITADA

- Albertí, P., Ripoll, G., Lahoz, F, Sañudo, C., Olleta, J., Panea, B., Pardos, J. 2003. Estimación del porcentaje de carne de la canal a partir de la clasificación de las medidas morfológicas de la canal de terneros y añojos de siete razas. AIDA, Zaragoza. ITEA. 24: 76-78
- Allen, C. E.; Foegeding, E. A. 1981. Some lipid characteristic and interaction in muscle foods. A review. Food Technology 35: 253-257.
- Alvarado, A., Blanco, R. y Mora, E., 2002. El cromo como elemento esencial en los humanos. Rev. Costarric. Cienc. Med. 23: 55-68.
- Anderson, R.A. 1987. Chromium. In. W. Mertz. Trace elements in human and animal nutrition. 5a. Ed. Academic Press, Inc. San Diego, CA. pp 225-244.
- Aguilar-Soto, J.I., Ramírez, R.G., Arechiga C.F., Mendez-Llorente F., Lopez-Carlos, M.A., Silva-Ramos, J.M., Rincón-Delgado, R.M. and Duran-Roldan F.M. 2008. Zilpaterol hydrochloride on performance and sperm quality of lambs fed wet brewers grain. J. Appl. Anim. Res. 34: 17-21.
- American Meat Science Association. Savoy (AMSA). 1995. Research Guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. IL, USA.
- Armendariz, A.A.L., Bacardí, G.M. y Jiménez C.A. 2007. Evidencias del efecto del cromo en personas con diabetes. Rev. Biomed. 18: 117-126.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2007. Official Methods of Analysis. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, USA.
- Avendaño-Reyes, L. V., Torres-Rodríguez, F. J., Meraz-Murillo, C., Pérez-Linares, F., Figueroa, S. and Robinson, P. H. 2006. Effects of two β -adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. J. Anim. Sci. 84: 3259-3265.

- Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F.D., Águila-Tepato, E., Torrentera-Olivera, N.G. and Soto-Navarro, S.A. 2011. Effects of zilpaterol hydrochloride on growth performance, carcass characteristics, and wholesale cut yield of hair-breed ewe lambs consuming feedlot diets under moderate environmental conditions. *J. Anim. Sci.* 89: 4188-4194.
- Barajas, R. and Almeida L. 1999. Effect of vitamin E and chromium-methionine supplementation on growth performance response of calves recently arrives to feedlot. *J. Anim. Sci.* 77(Suppl.1): 269.
- Barajas, R., Felix, A., and Estrada, A. 1999. Effect of level of chromium-methionine in receiving diets on growth performance of Brahman bull calves. *Journal of Animal Science*. 77 (Suppl. 1). p. 270 (Abstract).
- Barriada, M. 1995. Variables que determinan la calidad de la canal y de la carne en vacuno. *Bovis*, 66: 95-111.
- Baxa, T. J., J. P. Hucheson, 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.
- Beare-Rogers, J. 1988. Nutritional attributes of fatty acids. *J. Amer. Oil Chem. Soc.* 65: 91-95.
- Beermann, D.H., 2009. ASAS Centennial paper: A century of pioneers and progress in meat science in the United States leads to new frontiers. *J. Anim. Sci.* 87: 1192-1198.
- Beeson, W. M., T. W. Perry, and T. D. Zurcher. 1977. Effect of supplemental zinc on growth and on hair and blood serum levels of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 45: 160–165.
- Bligh, E.G. and Dyer, W.J. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*. 37: 911-917.
- Bocca, B., M. Fiori, C. Cartón and G. Brambilla. 2003. Simultaneous determination of Zilpaterol and other b-agonists in calf eye by gas chromatography/tandem mass

- spectrometry. J. A.O.A.C. 86: 8-14.
- Boleman, S.J., Boleman, S.L., Miller, R.K., Taylor, J.F., Cross, H.R., Wheeler, T.L., Koohmaraie, M., Shackelford, S.D., Miller, M.F., West, R.L., Johnson, D.D., and Savell, J.W. 1997. Consumer evaluation of beef of known categories of tenderness. *Journal of Animal Science*, v. 75, p. 1521-1524,
- Bohrer, B. M., Edenburn, B. M., Boler, D. D., Dilger, A. C. and Felix, T. L. 2014. Effect of feeding ractopamine hydrochloride (Optaflexx) with or without supplemental zinc and chromium propionate on growth performance, carcass characteristic, and meat quality of finishing steers. *J. Anim. Sci.* 92: 3988-3996.
- Boler, D.D., Shreck, A.L., Faulkner, D.B., Killefer, J., McKeith, F.K., Hogg, J.W. and Scanga, J.A. 2012. Effect of ractopamine hydrochloride (Optaflexx) dose on live animal performance, carcass characteristics and tenderness in early weaned beef steers. *Meat. Sci.* 92: 458-463.
- Bourne, M.C. 1982. Food texture and viscosity. 2nd ed. Academic Press, New York.
- Braña V.D., Ramírez, R.E., Rubio, L.M., Sánchez, E.A., Torrescano, U.G., Arenas, M.M., Partida, P.J., Ponce, A.E. y Ríos, R.F. 2011. Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne. CNIDFM y INIFAP. Folleto técnico nº 11. ISBN: 978-607-425-612-3.
- Bratzler, L.J. 1949. Determining the tenderness of meat by use of the Warner-Bratzler method. *Proc. Recip. Meat Conf.* 2: 117-121.
- Bray, T.M. y Bettger, W.J. 1990. The physiological role of zinc as an antioxidant. *Free Radic Biol Med* 8: 281–291.
- Brethour, J.R. 1984. Zinc methionine in steer finishing rations. Report of Progress No. 452. Hays Branch, Kansas State University. pp. 11.
- Briskey, E.J. y Bray, R.W. 1964. A special study of the beef grade standards. In American National Cattlemen's Association. (ANCA).

- Brooks, J. C., Mehaffey, J. M., Collins, J. A., Rogers, H. R., Legako, J., Johnson, J. Lawrence, T., Allen, D., Streeter, M. N., Nichols, W. T., Hutcheson, J. P., Yates, D. A. and Miller, M. F. 2010. Moisture enhancement and blade tenderization effects on the shear force and palatability of strip loin steaks from beef cattle fed zilpaterol hydrochloride. *J. Anim. Sci.* 88: 1809-1816.
- Cabrero, P. 1991. Factores que definen las características cualitativas de la carne. *Boris*. 38: 39-79.
- Carballo, B. y López de Torre, G. 1991. Manual de bioquímica y tecnología de la carne. Servicio de Investigación Agraria de la Junta de Extremadura.
- Carrera C.B. y Carrera C.J. 2010. Características de la producción ovina en el municipio de Pinos, Zacatecas: el municipio con mayor inventario ovino nacional. Innovación de procesos en la producción de carne de ovino en Zacatecas. Colección Reportes Técnicos de Investigación. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. ISBN: 978-607-7953-80-7 Serie ICB, Vol. 1 ISBN: 978-607-7953-95-1.
- Casas, E., White S.N., Riley, D.G., Smith, T.P.L., Brenneman, R.A., Olson, T.A., Johnson, D.D., Coleman, S.W., Bennett, G.L. and Chase Jr, C.C. 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.
- Castellanos, R.A.F., Rosado, R.J.G., Chel, G.L.A. y Betancur, A.D.A. 2006. Empleo del zilpaterol en novillos con alimentación intensiva en Yucatán, México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. Vol. 14, Núm. 2.
- Castelli, W.P., Doyle J.T., Gordon T., Hames C.G., Hjortland, M.C., Hulley, S.B., Kagan, A. y Zukel W.J. 1977. HDL cholesterol and other lipids in coronary heart disease. The Cooperative Lipoprotein Phenotyping Study. *Circulation* 55: 767-772.
- Cefalu W.T. and Hu F.B. 2004. Role of chromium in human health and in diabetes. *Diabetes Care*. 27: 2741-2751.
- Chai, F., Truong-Tran, A.Q., Ho, L.H and Zalewski, P.D. 1999. Regulation of caspase activation and apoptosis by cellular zinc fluxes and zinc deprivation: a review.

- Immunol Cell Biol 77: 272–278.
- Chambaz, A., Scheeder, M., Kreuzer, M., Dufey, P. 2003. Meat quality of Angus, Simmental Charolais and Limousin steers compared at the same intramuscular fat content. *Meat Science*. 63: 491-500.
- Chambers, E.N., Bowers, J.R. 1993. Consumer perception of sensory quality in muscle foods. *Food Technology*. 47. pp. 116-120.
- Chen, M., Lin, P., Cheng, V. and Lin, W. 1996. Zinc supplementation aggravates body fat accumulation in genetically obese mice and dietary-obese mice. *Biol. Trace Elem. Res.* 52: 125-132.
- Chen, M.D., Liou, S.J., Lin, P.Y., Yang, V.C., Alexander, P.S. and Lin, W.H. 1998. Effects of zinc supplementation on the plasma glucose level and insulin activity in genetically obese (ob/ob) mice. *Biol. Trace Elem. Res.* 61: 303-311.
- Chimienti, F., Aouffen, M., Favier, A. y Seve, M. 2003. Zinc homeostasis regulating proteins: new drug targets for triggering cell fate. *Curr Drug Targets*. 4: 323–338.
- Choi, C. B., Jung, K. K., Chung, K. Y., Yang, B. S., Chin, K. B., Suh, S.W., Oh, D. H., Jeon, M. S., Baek, K. H., Lee, S.O., Kim, S. I., Lee, Y.H., Yates, D.A., Hutcheson, J.P. and Johnson, B.J. 2013. Administration of zilpaterol hydrochloride alters feedlot performance, carcass characteristics, muscle, and fat profiling in finishing Hanwoo steers. *Livestock science*. 157: 435-441.
- CIC (Congreso Internacional de la Carne). 2013. Memoria Del Congreso Internacional de la Carne. 16-18 abril. Ciudad de México. Organizado por la Asociación Mexicana de Engordadores de Ganado Bovinos (AMEG) y el Comité Nacional de Sistemas Productos Bovino Carne, con apoyo de SAGARPA.
- Cobos, A., Camber, M.I., Ordoñez, J.A. y De la Hoz, L. 1993. Effect of fat-enriched diets on rabbit meat fatty acid composition. *J. Sci. Food Agric.*, 62: 83-88.
- Cole A., S. Frame and P. Cohen. 2001. Further evidence that the tyrosine phosphorylation of glycogen synthase kinase-3 (GSK3) in mammalian cells is an autophosphorylation event. *Biochem. J.* 359: 1-16.
- Colomer-Rocher, F. 1984. Methodology to classify carcass in lambs. *Oleaginosas*

- Españolas, Madrid, Spain. (In Spanish).
- Coulston, L. and Dandona, P. 1980. Insulin-like Effect of Zinc on Adipocytes. *Diabetes* 29: 665–667.
- Cousins, R.J. 1999. Cinc. En: Ziegler EE, Filer LJ. Conocimientos actuales sobre nutrición. Séptima Edición. Washington: International Life Sciences Institute. pp. 312-327.
- Cross, H.R. and Savell, J.W. 1994. What do we need for a valuebased beef marketing system? *Meat Sci.* 36: 19–27.
- Crouse, J.D., Cundiff, L.V., Koch, R.M., Koohmaraie, M. and Seideman, S.C. 1989. Comparison of *Bos indicus* and *Bos taurus* inheritance for carcass beef characteristics and meat palatability. *J Anim Sci.* 67: 2661-2268.
- Dávila-Ramos, H. and Robles-Estrada, J.C. 2014. Zilpaterol hydrochloride modify the fatty acids profile of intramuscular fat of feedlot lambs. *J. Anim. Sci. E-Suppl.* 2. vol. 92/ *J. Dary Sci. E-Suppl.* 1. Vol. 97. 1929.
- Davis, C. and Vincent, J. (1997). Chromium oligopeptide activates insulin receptor kinase activity. *Biochemistry.* 36: 4382-4385.
- Delmore, R.J., Hodgen, J.M. and Johnson, B.J. 2010. Perspectives on the application of zilpaterol hydrochloride in the United States beef industry. *J. Animal Science* 2010, 88: 2825-2828.
- Díaz, C.M. 2001. Características de la canal y de la carne de corderos lechales manchegos. Correlaciones y ecuaciones de predicción. Facultad de veterinaria. Departamento de fisiología animal. Universidad Complutense de Madrid. ISBN: 84-669-2155-9.
- Dikeman, M. E. 2007. Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. *Meat Sci.* 77: 121-135.
- Djoussé, L., Arnett, D.K, Carr, J.J., Eckfeldt, J.H., Hopkins, P.N., Province, M.A. and Ellison, R.C. 2005. Dietary linolenic acid is inversely associated with calcified atherosclerotic plaque in the coronary arteries: the national heart, lung, and blood institute family heart study. *Circulation.* 111: 2921-2926.
- Dominguez-Vara, I.A., Mondragón-Ancelmo, J., Gonzales, R.M, Salazar-Gacía, F., Bórquez-Gastelum, J.L. y Aragón-Martínez, A. 2009a. 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.* 16: 278-284.

- Domínguez, V.I.A., González, M.S., Chávez, C.M., García, M.C., Reyes, S.A., Reséndiz, P.J., y García, A.A. 2001. Influencia de cromo y selenio orgánicos en la eficiencia productiva y características de las canales de ovinos en engorda intensiva. II Congreso Latinoamericano de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos. XI Congreso Nacional de Producción Ovina. Mérida, Yuc., México.
- Domínguez-Vara, I. A., González-Muñoz, S. S., Pinos-Rodríguez, J.M., Bórquez-Gastelum, J.L., Bárcena-Gama, R., Mendoza-Martínez, G., Zapata, L. E. and Landois-Palencia, L. L. 2009b. Effects of feeding selenium-yeast and chromium-yeast to finishing lambs on growth, carcass characteristics, and blood hormones and metabolites. *Anim. Feed Sci. Technol.* 152: 42-49.
- Ducros, V. 1992. Chromium metabolism. *Biological Trace Element Researche.* 32: 65-77.
- Eggert, K.W., Zwick, E.M., Batschulat, K., Rohr, G., Armbruster, F.P., Petzoldt, D. and Strowitzki, T. 2002. Are zinc level in seminal plasma associated with seminal leukocyte and other determinant of semen quality. *Fertil Steril.* 7: 260–269.
- Ekpe, E.D., Moibi J.A. and Christopherson R.J. 2000. Beta-Adrenergic Receptors in Skeletal Muscles of Ruminants: Effects of Temperature and Feed Intake. *Canadian Journal of Animal Science.* Vol. 80, Num. 20.
- Eom S.J., E.Y. Kim, J.E. Lee, H.J. Kang, J. Shim, S.U. Kim, B.J. Gwag, and E.J. Choi. 2001. Zn(2+) induces stimulation of the c- Jun N-terminal kinase signaling pathway through phospho-inositide 3-kinase. *Mol. Pharmacol.* 59: 981–986.
- Estrada-Angulo, A., Barreras-Serrano, A., Contreras, G., Obregon, J.F., Robles-Estrada J.C., Plascencia A. and Zinn R.A. 2008. Influence of level of zilpaterol chlorhydrate supplementation on growth performance and carcass characteristics of feedlot lambs. *Small Rumin. Res.* 80: 107-110.

- Etherton, T. D., 2009. ASAS centennial paper: Animal growth and development research, historical perspectives. *J. Anim. Sci.* 87: 3060-3064
- FAO 2015. <http://www.fao.org/ag/ags/industrias-agroalimentarias/carne-y-leche/calidad-e-inocuidad-de-la-carne/calidad-de-la-carne/es/>. Consultado el 6 de noviembre de 2015
- FAO 2014. Consumo de Carne. <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/background.html>. Consultado el 6 de noviembre de 2014
- FAO 2012. Perspectivas alimentarias. ISSN 1564-2801. <http://www.fao.org/docrep/015/al989s/al989s00.pdf>. Consultado el 10 de junio del 2014.
- FAOSTAT, 2013. <http://faostat.fao.org>
- Faustman C., Q. Sun, R. Mancini and S. P. Suman. 2010. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Science*, 86: 86–94.
- Felix, A., Estrada-Angulo, A., Ríos, F.G., Ramos, C.H. and Pérez, A.B. 2005. Effect of Zilpaterol Clorhidrate on growth performance and carcass traits in finishing sheep. *J. Anim. Sci.*, 83 (Suppl 1): 63 (Abstr.).
- Financiera Rural. 2012. Monografía de Carne Bovina. [http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaCarneBovino\(feb2012\).pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaCarneBovino(feb2012).pdf).
- FLAMANT, J.C. y BOCCARD, R. 1966 Estimation de la qualité de la carcasse des agneaux de boucherie. *Ann. Zootech*, 15: 89-113.
- Folch, J., Lees, M. and Stanley, S.G.H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol Chem.* 226: 497-509.
- Foresight. 2011. El futuro de los alimentos y la agricultura: retos y opciones para la sostenibilidad a nivel mundial. Primera publicación: enero de 2011. Oficina del Gobierno para la Ciencia. Londres. ©Crown copyright. URN 11/927.

- Forrest, J.C., Aberle, E.D., Hedrick, H.B., Judge, M.D. y Merkel, R. 1979. Fundamentos de ciencia de la carne. Editorial Acribia. Zaragoza (España).
- French, P., Stanton, C., Rawless, F., O'Riordan E., Monahan, F., Caffrey, P., 2000. Fatty acid composition, including conjugated linoleic acid of intramuscular fat from steers offered grazed grass, grass silage, or concentrate based, diets. *Journal of Animal Science*. 55: 2849-2855.
- Frenkel, E.P., Kitchens, R.L. y Johnson, J.M. 1973. The effect of vitamin B12 deprivation on the enzymes of fatty acid synthesis. *J. Biol Chem*. 248: 7540-7546.
- Gallardo, N.J.L., Garcia, B.C., Albarran, D.M., Leiner, M.A., Ochoa, B.R. y Ortega, R.C. 2002. Situación actual de la producción de carne de bovino en México. *Claridades Agropecuarias* 109: 3-32. <http://www.infoasercar.gov.mx/claridades/revistas/109/-ca109.pdf#page=3>.
- Garcia de Siles, J.L., Ziegles, J.H. and Wilson, L.L. 1977. Effects of marbling and conformation scores on quality and quantity characteristics of steer and heifer. *J. Anim. Sci.*, 44: 36-46.
- Garmyn, A. J., Knobel, S. M., Spivey, K. S., Hightower, L. F., Brooks, J. C., Johnson, B. J. Parr, S. L. Rathmann, R. J., Starkey, J. D., Yates, D. A., Hodgen, J. M., Hutcheson, J. P. and Miller, M. F. 2011. Warner-Bratzler and slice shear force measurements of 3 beef muscles in response to various aging periods after trenbolone acetate and estradiol implants and zilpaterol hydrochloride supplementation of finishing beef steers. *J. Anim. Sci*. 89: 3783-3791.
- Geesink, G.H., Kuchay, S., Chishti, A.H., Koohmaraie, M. 2006. Micro-calpain is essential for postmortem proteolysis of muscle proteins. *J. Anim Sci*. 84: 2834-2840.
- Geesink, G.H., Smulders, F.J.M., Van Laack, J.M., Van der Kolk, J.H., Wensing, T. and Breukink, H.J. 1993. Effects on meat quality of the use of clenbuterol in veal calves, *J. Anim. Sci*. 71: 1161-1170.

- Greene L.W., D.K. Lunt, F.M. Byers, N.K. Chirase, C.E. Richmond, R.E. Knutson and G.T. Schelling. 1988. Performance and Carcass quality of steers supplemented with zinc oxide or zinc methionine. *J. Anim Sci.* 66: 1818-1823.
- Godoy, F.M., Gomez, R.L., Morales, M.M., Ibarra, M.L. y Bulnes, R.R. 1986. Rendimiento de las grasas viscerales en novillos de raza de doble propósito. *Avances en Ciencias Veterinarias*. Vol. 1 n°2: 93-96.
- Goll, D.E., Thompson, V.F., Li, H., Wei, W. and Cong, J. 2003. The calpain system. *Physiol Rev.* 83: 731-801.
- Goutenfoega, R. et les Valin, C. 1976. Etude comparée de la saveur des viands de vaches et de taurillons. Relation entre la composition du muscle et la saveur de la viande. *European Meet. Of Meat Res. Workers*, 22. Malmo. Swedish Meat Research Centre, Vol I, A8: 1-12.
- Grau, R. y Hamm, R. 1953. Eine einfache Methode zur bestimmung de Wasserbindung in Muskel. *Naturwissenschaften*, 40: 29-30.
- Greene, L.W., Lunt, D.K., Byers, F.M., Chirase, N.K., Richmond, C.E., Kuntson, R.E. and Schelling, G.T. 1988. Performance and carcass quality of steers supplemented with zinc oxide or zinc methionine. *J. Anim. Sci.* 66: 1818-1823.
- Grovum W.L. 1995. Mechanisms explaining the effects of short chain fatty acids on feed intake in ruminants-osmotic pressure, insuline and glucagón. *In: Ruminant physiology, digestion, metabolism, growth and reproduction*. W.v. Englehardt, S. Leonhard-Merek, G. Breves, D. Geisecke. Ed. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, Germany. pp. 173-197
- Hajduch E., Litherland G.J. and Hundal H.S. 2001. Protein kinase B (PKB/Akt)--a key regulator of glucose transport?. *FEBS Lett.* 492: 199-203.
- Helferich, W. G., Jump, D. B., Anderson, D. B., Skjaerlum, D. M., Merkel, R. A. and Bergen, W. G. 1990. Skeletal muscle β -actin is increased pretranslational in pigs fed the phenotholamine ractopamine. *Endocrinology*. 126: 3096-3100.

- Ham, A.W. 1975. Tratado de Histología. 7 ed. Editorial interamericana. México.
- Hazlewood C.F. 1995. Water movement and diffusion in tissues. In: Bihan DL, ed. Diffusion and perfusion magnetic resonance imaging. New York: Raven Press. pp. 123.
- Hemmings, K. M., Daniel, Z. C. T. R., Buttery, T. J., Parr, T. and Brameld, J. M. 2014. Differential effects of short-term β agonist and growth hormone treatments on expression of myosin heavy chain IIB and associated metabolic genes in sheep muscle. *Animal*. 9: 285-294.
- Herbert, F., Hovell, F.D. and. Reeds, P.J. 1985. Beta-agonists and their effect on animal growth. *Nutr. Soc.* 44: 5.
- Hernández B. (1994). Estudio del color en carnes: Caracterización y control de calidad. Ph.D Thesis. Universidad de Zaragoza. Spain
- Hernández, B.J., Gómez, V.A., Núñez, G.F., Ríos, R.F., Mendoza, M.G., García, M.J., Villegas, A.Y., Hernández, S.D., Joaquín, T.B. 2009. Rendimiento de la canal y de los componentes no cárnicos de toretes pardo suizo x cebú en tres sistemas de alimentación en clima cálido húmedo. *Universidad y Ciencia*. 25: 173-180.
- Herring, H.K., Cassens, R.G., Suess, G.G., Brungardt, V.H. and Briskey, E.J. 1967. Tenderness and associated characteristics of stretched and contracted bovine muscles. *J. Food Sci.* 32: 317-323.
- Hill, F. (1966). The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages. *Journal of food Science*, 31: 161-166.
- Hilton G.G., J.L. Montgomery, C.R. Krehbiel, D.A. Yates, J.P. Hutcheson, W.T. Nichols, M.N. Streeter, J.R. Blanton, Jr. and M.F. Miller. 2009. Effects of feeding zilpaterol hydrochloride with and without monensin and tylosin on carcass cutability and meat palatability of beef steers. *J. Anim. Sci.* 87: 1394-1406.
- Hino, N., Tanaka, S., Matsui, T. and Yano, H. 2001. Zinc enhances bovine preadipocyte differentiation through inhibition of nitric oxide production. *Reproductive*

Biotechnology 452: 385-389.

- 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.
- Honikel K.O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat. Science.* 49: 447-457.
- Hood D.E. and E.B. Riordan. (1973). Discoloration in prepackaged beef: measurement by reflectance spectrophotometry and shopper discrimination. *Journal of Food Technology*, 8: 333-343.
- Huerta, L.N., Cross, H.R., Savell, J.W., Lunt, D.K., Baker, J.F., Pelton, L.S. y Smith, S.B. 1993. Comparison of the fatty acid composition of subcutaneous adipose tissue from mature Brahman and Hereford cows. *J. Anim. Sci.* 71: 625-630.
- Hulot, F. and Ouhayoun, J. 1999. Muscular pH and related traits in rabbits: A review. *World Rabbit Science.* 7: 15-36.
- Jeejeebhoy, K.N. 1999. The role of the chromium in nutrition and therapeutics and as a potential toxin. *Nutrition Reviews.* 57: 329-335.
- Jobgen W.S., S.K. Fried, W.J. Fu, C.J. Meininger, G. Wu. 2006. Regulatory role for the arginine–nitric oxide pathway in metabolism of energy substrates. *Journal of Nutritional Biochemistry.* 17: 571–588
- Johnson, J.B., Smith, B.S. and Chung, Y.K. 2014. Historical Overview of the Effect of β -Adrenergic Agonists on Beef Cattle Production. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 27: 757-766.
- Kempster, A.J., Cuthbertson, A. and Harrington, A. 1982. Carcass evaluation in livestock breeding, production and marketing. Granada Ed. Londres.

- Killefer, J. and Koohmaraie, M. (1994). Bovine skeletal muscle calpastatin: cloning, sequence analysis, and steady-state mRNA expression. *J Anim Sci.* 72: 606-614.
- Koohmaraie M. 1992. Effect of pH, temperature, and inhibitors of autolysis and catalytic activity of bovine skeletal muscle m-calpain. *J. Anim. Sci.* 70: 3071-3080.
- Koohmaraie, M. 1996. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Sci.* vol. 43: 193-201.
- Krammer, A. 1994. Use of colour measurements in quality control of food. *Food Technol.*, 48: 63-71.
- L'Estrange, J.L. and Mulvihill, T.A. 1975. A survey of fat characteristics of lamb with particular reference to the soft fat condition in intensively fed lambs. The Journal of Agricultural Science / Volume 84 / Issue 02 / April 1975, pp. 281-290
- Lawrence, T.E., Gasch, T.E., Hutcheson, C. A. and Hodgen, J. P. 2011. Zilpaterol improves feeding performance and fabrication yield of concentrate-finished cows. *J. Anim. Sci.* 89: 2170-2175.
- Lawrie, R.A. 1991. *Meat Science* (5th ed.), pp. 1, 28-37, 48-52, 184-212. Pergamon Press, Oxford.
- Lawrie, R.A. 1966. The eating quality of meat. In *Meat Sci.* Pergamon Press, London.
- Leheska, J. M., Montgomery, J. L., Krehbiel C. R., Yates D. A., Hutcheson J. P., Nichols W. T., Streeter M., Blanton J. R., and Miller M. F. 2009. Dietary zilpaterol hydrochloride. II. Carcass composition and meat palatability of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 87: 1384–1393.
- Lehninger L., Lavet P. y Bozal F. 1978. *Bioquímica*. Edit. Omega.
- Li, Y.Z., Cristopherson, B.T., Ly and Moibi, J.A. 2000. Effects of Beta-Adrenergic Agonist (L-644,969) on Performance and Carcass Trait of Growth Lambs in a Cold Enviornment. *Canadian Journal of Animal Science*. Vol. 80, Num. 4.
- Liggett, S.B., and Raymond, J.R. 1993. *Pharmacology and molecular biology of adrenergic*

- receptors. *Bailleres Clin. Endocrinol. Metab.* 7: 279-306.
- Lough, D.S., Solomon, M.B., Rumsey, T.S., Elsasser, T.H., Slyter, L.L., Kahl, S. and Lynch, G.P. 1992. Effects of dietary canola seed and soy lecithin in high-forage diets on cholesterol content and fatty acid composition of carcass tissues of growing ram lambs. *J. Anim. Sci.* 70: 1153.
- Luño, M., Beltrán, J. A., Jaime, I. and Roncalés P. 1999. Textural assessment of clenbuterol treatment in beef. *Meat Sci.* 51: 297–303.
- MacDougall D. B. 1977. Colour in meat. In G.G. Birch, J.G. Brennan, and K. Parker, *Sensory properties of foods* (pp. 59). London: Applied Science Publishers.79-305.
- Macías-Cruz, U., F. D. Álvarez-Valenzuela, N. G. Torrentera-Olivera, J. V. Velázquez-Morales, A. Correa-Calderón, and L. Avendaño-Reyes. 2010. Effect of zilpaterol hydrochloride on feedlot performance and carcass characteristics of ewe lambs during heat-stress conditions. *Anim. Prod. Sci.* 50: 983–989.
- Malcolm-Callis K.J., Duff G.C, Gunter S.A, Kegley E.B. and Vermeire D.A. 2000. Effects of supplemental zinc concentration and source on performance, carcass characteristics, and serum values in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.* 78: 2801-2808.
- Marsh, B.B. 1977. Symposium the basis of quality in muscle foods the basis for tenderness in muscle foods. *J. Food Sci.* 42: 295-297.
- May J.M. and Contoreggi, C.S. 1982. The mechanism of the insulin-like effects of ionic zinc. *J. Biol. Chem.* 257: 4362-4368.
- McCrae, S.E., Secombe, C.G., Marsh, B.B., y Carse, W.A. 1971. Studies in meat tenderness. IX. The tenderness of various lamb muscles in relation to their skeletal restraint and delay before freezing. *J. Food Sci.*, 36: 566-572.
- McEvers, T. J., Dorin, L., Berg, J. L., Royan, G., Hutcheson, J., Appleyard, G. D. and Lawrence, T. E. 2013. Effect of leptin genotype and zilpaterol hydrochloride supplementation on the growth rate and carcass characteristics of finishing steers. *Can. J. Anim. Sci.* 93: 199-204.
- McEvers, T. J., Walter, L. C., DeFoor, P. J., Swingle, R. S., Hutcheson, J. P. and Lawrence,

- T. E. 2014. The effect of supplementing zilpaterol hydrochloride on feeding performance and carcass characteristics of steers sorted by leptin genotype. *J. Anim. Sci.* 92: 332-338.
- McNamara, J.P. and Valdez, F. 2005. Adipose tissue metabolism and production responses to calcium propionate and chromium propionate. *J. Dairy. Sci.* 88: 2498-2507.
- Méndez, R.D., Meza, C.O., Berruecos, J.M., Garcés, P., Delgado E.J. and. Rubio, M.S. 2009. A survey of beef carcass quality and quantity attributes in Mexico. *J ANIM SCI* 2009, 87: 3782-3790.
- Mersmann, H. J. 1998. Overview of the effects of beta-adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action. *J. Anim. Sci.* 76: 160-72.
- Mertz W. 1993. Chromium in human nutrition: A review. *Journal of Nutrition.* 123: 626–633.
- Mitchell, G. and Dunnavan, D.1998. Illegal use of α -adrenergic agonists in the United States. *J. Anim. Sci.* 76: 208-211.
- Miller, M.F., García, D.K., Coleman, M.E., Ekeren P.A., Lunt D.K., Wagner K.A., Procknor, M., Welsh, T.H. and Smith, S.B. 1988. Adipose Tissue, Longissimus Muscle and Anterior Pituitary Growth and Function in Clembuterol-Fed Heifers, *Journal Animal Science.* 66: 12-20.
- Miller, R.K. 2002. Factors affecting the quality of raw meat. In *Meat Processing: Improving Quality*. Kerry, J., Kerry. J., and Ledward, D. eds. CRC Press LLC. USA.
- Mills, S. and Mersmann H.J. 1995. Beta- Adrenergic Agonists, their Receptors, and Growth: Special Reference to Peculiarities in Pigs, en Smith, S. B. y D. R. Smith (eds.). *The Biology of Fat in Meat Animals: Current Advances*. American Society of Animal Science. Champaign. USA.
- Mondragón, J., Domínguez-Vara, I.A., Pinos-Rodríguez, J.M., González, M., Bórquez, J.L., Domínguez, A. and Mejía, M. L. 2010. Effects of feed supplementation of zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass traits of finishing lambs.

- Acta Agric. Scan. Anim. Sci. 60: 47-52.
- Monin, G. 1988. Evolution post mortem du Tissu Musculaire et Conséquence sur les Qualités de la Viande de Porc. Journées Rech. Porcine en France. 20: 201-214.
- Montgomery, J.L., Krehbiel, C.R., Cranston, J.J., Yates, D.A., Hutcheson, J.P., Nichols, W.T., Streeter, M.N., Bechtol, D.T., Johnson, E., TerHune, T. and Montgomery, T.H. 2009. Dietary zilpaterol hydrochloride. I. Feedlot performance and carcass traits of steers and heifers. J. Anim. Sci. 87: 1374-1383.
- Moody, D.E., Hancock, D.L. and Anderson, D.B. 2000. Phenethanolamine repartitioning agents. In: *Farm Animal Nutrition*. J.P.F. D'Mello (ed). Cabi Publishing, New York, NY, pp. 65-96.
- Moonsie-Shageer, S. and Mowat, D.N. 1993. Effect of level of supplemental chromium on performance, serum constituents, and immune response of stressed feeder steer calves. Journal of Animal Science. 71: 232-238.
- Moreno-Camarena, L., Domínguez-Vara, I., Bórquez-Gaztelum, J., Sánchez-Torres, J., Pinos-Rodríguez, J., Mariezcurrena-Berasain, A., Morales-Almaráz, E. and Salem. A.Z.M. 2015. Effects of organic chromium supplementation to finishing lambs diet on growth performance, carcass characteristics and meat quality. Journal Integrative Agriculture. 14: 567-574.
- Morton, J.D., Bickerstaffe, Kent, M.P., Dransfield, E. and Keeley, G.M. 1999. Calpain-calpastatin and toughness in *M. longissimus* from electrically stimulated lamb and beef carcasses. Meat Sci. 52: 71-79.
- Mukherjee S.P. 1980. Mediation of the antilipolytic and lipogenic effects of insulin in adipocytes by intracellular accumulation of hydrogen peroxide. Biochem Pharmacol. 29: 1239-1246.
- Murray A.C. 1989. Factors affecting beef color at time of grading. Can. J. Anim. Sci. 69: 347-355.

- National Research Council. 1996. Nutrient requirements of beef cattle. 7th ed. Natl. Acad. Press, Washington, D.C.
- Neill, S., Unruh, J.A., Marston, T.T., Jaeger, J.R., Hunt, M.C. and Higgins. J.J. 2008. Effects of implanting and feeding zilpaterol hydrochloride on performance, carcass characteristics, and subprimal beef yields of fed cows. *J. Anim. Sci.* 87: 704–710.
- Nunnery, G. A., Vasconcelos, J. T., Parsons, C. H., Salyer, G. B., Defoor, P. J., Valdez, F. R. and Galyean, M. L. 2007. Effects of source of supplemental zinc on performance and humoral immunity in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 85: 2304-2313.
- Núñez, G.F.A., García, M.J.A., Hernández B.J. y Jiménez C.J.A. 2005. Caracterización de canales de ganado bovino en los valles centrales de Oaxaca. *BOVINTOéc Pecú Méx*; 43: 219-228.
- OECD-FAO Agricultural Outlook 2012-2021. 2013
http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=HIGH_AGLINK_2012.
- Offer, G., and Knight, P. (1988). The structural basis of water-holding capacity in meat. Part 2: drip losses. In R. Lawrie (Ed.). *Developments in meat science* (Vol. 4, pp. 173–243). London: Elsevier Science Publications
- Oh Y.S. and C.B Choi,. 2004. Effects of zinc on lipogenesis of bovine intramuscular adipocytes. *Asian-Aust J Anim Sci.* 2004. 17: 1378-1382.
- Oksbjerg, N., Fernández. J.A., Jorgensen, H., Olsen, O.H., Rulph, T. and Agergaard, N. 1996. Effects of salbutamol on protein and fat deposition in pigs fed two levels of protein. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition.* 75.
- Olivan, M., Martinez, A., García, P., Noval, G., Osoro, K. 2001. Estimation of the carcass composition of yearling bulls of “Asturiana de los Valles” breed from the dissection of a rib joint. *Meat Science.* 57: 185-190.
- Oscar, T.P. 1995. Lipid mobilization from chicken fat cell. In: Smith DR, Smith DR, editors. *Biology of Fat Meat Animals: Current Advances*. American Society of Animal Science; Champaign, IL, USA: 1995. pp. 93-112.
- Ouali, A., Hernán, C., Coulis, G., Becila, S., Boudjellal, A., Aubry, L., Sentandreu, M.A. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms.

- Meat Sci., 2006, vol. 74, p. 44-58.
- Park K.S., N.G. Lee, K.H. Lee, J.T. Seo, K.Y. Choi. 2003. The ERK pathway involves positive and negative regulations of HT-29 colorectal cancer cell growth by extracellular zinc. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol.* 285: 1181-1188.
- Parr, S.L., Chung, K.Y., Galyean, M.L., Hutcheson, J.P., DiLorenzo, N., Hales, K., May, M.L., Quinn, M., Smith, D. and Johnson, B. 2011. Performance of finishing beef steers in response to anabolic implant and zilpaterol hydrochloride supplementation. *J. Anim. Sci.* 89: 560-570.
- Pearson, A.M. 1966. Desirability of beef - its characteristics and their measurement. *Journal of Animal Science.* 25: 843-851.
- Pearson, A.M, Love, J.D., Shorland, F.B. 1977. Warmed over-flavor in meat, poultry and fish. *Advances in Food Research*; 23: 1-74
- Pearson, A.M. and Young, R.B. 1989. *Muscle and meat biochemistry.* Academic Press, Inc. 395.
- Pérez-Alvarez, J.A. 1996. Contribución al estudio objetivo del color en productos cárnicos crudo-curados. Tesis Doctoral. Valencia, España., Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politecnica de Valencia.
- Pérez-Alvarez, J.A. 2006. Color. Capítulo 6 en: *Ciencia y Tecnología de la carne*, Hui Y.H., Guerrero, I., Rosmini, M.R. Limusa, México, pp. 163-183.
- Perry, D.K., Smyth, M.J., Stennicke, H.R., Salvesen, G.S., Luriez, P., Poirier, G.G. y Hannun, Y.A. 1997. Zinc is a potent inhibitor of the apoptotic protease, caspase-3. A novel target for zinc in the inhibition of apoptosis. *J Biol Chem.* 272: 18530–18533.
- Pessin J.E. and Saltiel, A.R. 2000. Signaling pathways in insulin action: molecular targets of insulin resistance. *J Clin Invest.* 106: 165-169.
- Plascencia, A., Torrentera, N.O. and Zinn, R.A. 2008. Influence of the β -agonist, zilpaterol, on growth performance and carcass characteristics of feedlot steers. *J. Anim. Vet. Adv.*, 7: 1257-1260.

- Producción Animal y Gestión (PAG). 2006. Incidencia de la alimentación en el engrasamiento de la canal. Departamento de producción animal universidad de Córdoba ISSN: 1698-4226 DT 1, Vol. 1.
- Purchas, R.W. and Aungsupakorn, R. 1993. Further investigations into the relationship between ultimate Ph and tenderness for beef samples from bulls and steers. *Meat Sci.* 34: 163-178.
- Rabobank. 2012. Rabobank Poutry Quarterly. Outlook for Global and Regional Markets. http://www.rabobank.de/uploads/media/Rabobank_Poultry2012_01.pdf.
- Rathmann, R.J., Bernhard, B.C., Swingle, R.S., Lawrence, T.E., Nichols, W.T., Yates, D.A., Hurcheson, J.P., Streeter, M.N., Brooks, J.C., Miller, M.F. and Johnson, B.J. 2012. Effect of zilpaterol hydrochloride and days on the finishing diet on feedlot performance, carcass characteristics, and tenderness in beef heifers. *J Anim. Sci.* 90: 3301–3311.
- Reeds, P.J., Mersmann, H.J. 1991. Protein an energy requirements of animal treated with – adrenergic agonists: A discussion. *J. Anim. Sci.* 59: 1247-1255.
- Revista AMEG, 2013. Carne de Bovino. 16ª edición.
- Ricks, C. A., Dalrymple, R. H., Baker, P. K. and Ingle, D. L. 1984. Use of a β -agonist to alter fat and muscle deposition in steers. *J. Anim. Sci.* 59: 1247-1255.
- Robles-Estrada, J. C., A. Barreras-Serrano, G. Contreras, A. Estrada-Angulo, J. F. Obregón, A. Plascencia, and F. G. Ríos. 2009. Effect of two β -adrenergic agonists on finishing performance and carcass characteristics in lambs fed all-concentrate diets. *J. Appl. Anim. Res.* 36: 33–36.
- Rose, G. 1990. Future of disease prevention. Brithish perpectives on the U.S. preventive service task force guideline *J. Gen. Int. Med.* 5: 129-32.
- Rubio, L.M., Braña V.D., Méndez M.D., Torrescano U.G., Sánchez E A., Figueroa S F. y Delgado S. E. 2013. GUÍA PRÁCTICA PARA LA ESTANDARIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE CANALES BOVINAS MEXICANAS. Folleto Técnico N°. 23. ISBN: 978-607-37-0005-4.

- SAGARPA, 2011. Perspectivas de largo plazo para el sector agropecuario de México 2011 – 2020.
http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/estudios_economicos/escenariobase/perspectivalp_11-20.pdf.
- SAGARPA, 2012. Boletín de prensa.
<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/jalisco/boletines/2012/noviembre/Documents/B0502012.pdf>.
- Salinas, C.J., Domínguez, M.M., Díaz, M.R., Cruz, B.P., Montaña G.M.F. and. Arzola, A.C. 2006. Effect of Duration of Zilpaterol Hydrochloride Treatment on Carcass Characteristics and Weight Gain in Grazing Pelibuey Lambs, Journal Applied Animal Research. 29.
- Salinas, C.J., Ramírez, R.G., Domínguez-Muñoz. M., Palomo-Cruz, R. and López-Acuña, V.H. 2004. Influence of zilpaterol hydrochloride on growth and carcass characteristic of Pelibuey lambs. J. Appl. Anim. Res. 26: 33-16.
- Saltiel A.R. and Kahn C.R. 2001. Insulin signalling and the regulation of glucose and lipid metabolism. Nature. 414: 799-806.
- Sañudo, C., Sierra, I., Alcalde, M.J., Rota, A. y Osorio, J.C. 1993. Calidad de la canal y de la carne en corderos ligeros y semipesados de las razas Rasa Aragonesa, Lacoune y Merino Alemán, pp. 203-214. Información Técnica Económica Agraria, 89 A.
- Sasaki, S. 2002. Mechanism of insulin action on glucose metabolism in ruminants. Anim. Sci. J. 73: 423-433
- Schroeder, A.L., Polser, D.M., Laudert, S.B. and Vogel, G.J. 2003. The effect of Optaflexx on growth performance and carcass traits of steers. Optaflexx Exchange No. 1. Elanco Animal Health, Greemfield, IN.
- Sentandreu, M.A., Coulis, G. and Ouali, A. 2002. Role of muscle endopeptidases and their inhibitors in meat tenderness. Trend. Food Sci. Tech. 13: 400-421.
- Shackelford, S.D., Miller, M.F., Haydon, K.D., Lovegren, N.V., Lyon, C.E. and Reagan, J.O. 1990. Acceptability of bacon as influenced by the feeding of elevated levels of

- monounsaturated fats to growing-finishing swine. *J. Food Sci.* 55: 621–624.
- Shisheva, A., Gegel, D. and Shechter, Y. 1992. Insulin-like effects of zinc ion in vitro and in vivo. Preferential effects on desensitized adipocytes and induction of normoglycemia in streptozocin-induced rats. *Diabetes.* 41: 982-988.
- 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.
- SIAP. 2012^a. Resumen Nacional. Población ganadera, avícola y apícola 2002 – 2011. <http://infosiap.siap.gob.mx/ventana.php?idLiga=991&tipo=1>.
- SIAP. 2012^b. Bovino Carne y Leche. Población ganadera 2002- 2011. <http://infosiap.siap.gob.mx/ventana.php?idLiga=993&tipo=1>.
- SIAP. 2012^c. Ovino Población ganadera 2002- 2011. http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaBasica/Pecuario/PoblacionGanadera/ProductoEspecie/ovino.pdf.
- SIAP. 2014. Resumen nacional producción, precio, valor, animales sacrificados y pesos 2014. <http://www.siap.gob.mx/resumen-nacional-pecuario/>
- Sierra, I. 1973. Producción de corderos joven y pesado en la Raza Aragonesa. *Trabajos del I.E.P.G.E.*, nº 18, 28.
- Sillence, M.N., Hunter, G.G., Pegg, L. Brown, L.M., Matthews, T., Magner, M., Sleeman, M. and Lindsay, D.B. 1993. Growth, Nitrogen Metabolism and Cardiac Responses to Clembuterol and Ketoclembuterol in Rats and Underfed Cattle, *Journal Animal Science.* 71: 2942-2951.
- Sissom, E.K., Reinhardt, C.D., Hutcheson, J.P., Nichols, W.T., Yates, D.A., Swingle, R.S. and Johnson, B.J. 2007. Response to ractopamine-HC1 in heifers is altered by implant strategy across days on feed. *J. Anim. Sci.* 85: 2125-2132.
- Smith, D.J. 1998. The Pharmacokinetics, Metabolism and Tissue Residues of Beta-Adrenergic Agonists in Livestock, *Journal Animal Science.* 76.
- Smith, G.C. 2000. Providing Assurances of Quality, Consistency, Safety and a Caring

- Attitude to Domestic and International Consumers of U.S. Beef. The Department of Animal Science Colorado State University. 49th Annual Montana Nutrition Conference in Bozeman, Montana. April 25.
- Smith, O.B. and Akinbamizo, O.O. 2000. Micronutrients and reproduction in farm animals. *Anim Reprod Sci.* 60-61: 549–560.
- Smith, R.S. 1991. The macrophage theory of depression. *J. Med. Behavior.* 35(4): 298-306.
- Smith, S.B., Lunt, D.K., Chung, K.Y., Choi, C.B., Tume, R.K., Zembayashi, M. 2006. Adiposity, fatty acid composition and delta-9 desaturase activity during growth in beef cattle. *Anim. Sci. J.* 77, 478-486.
- Smith, W.A., Harris, B., Van, H.H. y Wilcox, C.J. 1993. Effects of forage type on production of dairy cows supplemented with whole cottonseed, tallow, and yeast. *J. Dairy Sci.* 76: 205-215.
- Sonksen, P. and Sonksen, J. 2000. Insulin: understanding its action in health and disease. *Br. J. Anaesth.* 85: 69-79.
- Solomon, M.B., Lynch, G.P. and Lough, D.S. 1992. Influence of dietary palm oil supplementation on serum lipid metabolites, carcass characteristics, and lipid composition of carcass tissues of growing ram and ewe lambs. *Journal of Animal Science*, 70: 2746-2751
- Spears J.W., and Kegley E.B. 2002. Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *J. Anim. Sci.* 80: 2747-2752.
- Spears, J.W. 1989. Zinc methionine for ruminants: Relative bioavailability of zinc in lambs and effects on growth and performance of growing heifers. *J. Anim. Sci.* 67: 835–843.
- Spears, J.W. and Kegley, E.B. 2002. Effect of zinc source (zinc oxide vs. zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *J. Anim. Sci.* 80: 2747–2752.
- Steel, R. G. D., Torrie, J. H. and Dickey, D. A. 1997. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 3rd ed., McGraw-Hill Series in Probability and

- Statistics. USA. Pp. 600p.
- Strosberg, A.D. 1992. Biotechnology of β -adrenergic receptors. *Mol. Neurobiol.* 4:211-250.
- Swanek, S.S., Morgan, J.B., Owens, F.N., Gill, D.R., Strasia, C.A., DolezaL, H.G., Ray, F.K. 1999. Vitamin D3 Supplementation of beef steers increases longissimus tenderness. *J. Anim. Sci.* Vol. 77: 874-881.
- Tang X. and N.F. Shay. 2001. Zinc Has an Insulin-Like Effect on Glucose Transport Mediated by Phosphoinositol-3-Kinase and Akt in 3T3-L1 Fibroblasts and Adipocytes. *J Nutr.* 131: 1414-1420.
- Taylor, R.G., Geesink, G.H., Thompson, V.F., Koohmaraie, M. and Goll. D.E. 1995. Is Z-disk degeneration responsible for postmortem tenderization?. *J. Anim. Sci.* 73: 1351-1367.
- Torres, A.R y Bahr, V.P. 2004. El zinc: la chispa de la vida. *Rev. Cuba. Pediatr.* 76(4). ISSN 1561-3119.
- Truong, T.A.Q., Ho, L.H., Chai, F. and Zalewski, P.D. 2000. Cellular zinc fluxes and the regulation of apoptosis/gene-directed cell death. *J Nutr.* 130: 1459S–1466S.
- Underwood, E.J., and Suttle, N.F. 1999. The mineral nutrition of livestock. Third ed. CABI Publishing. New York, U.S.A. p. 614.
- USDA. 1997. United States Standards for Grades of Carcass Beef. Agric. Marketing Service, USDA, Washington, DC.
- USDA. 2006. Instrument Grading Systems for Beef Carcasses. Disponible para su consulta en: <http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/getfile?dDocName=STELDEV3097857>. Último acceso: Marzo 18, 2014.
- U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Health and Human Services. 2010. Dietary Guidelines for Americans, 2010. 7th Edition, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, December 2010.
- United States Department of Agriculture, USDA. 2011. Method for grid assessment of beef carcass rib eye area. In:<http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/getfile?dDocName=STELPRDC5090712>. Marzo 18, 2014.

- Uzcátegui-Bracho, S. y Jerez-Timaure, N. 2008. Factores que afectan la actividad de las proteasas ablandamiento de la carne. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Vol 16, número 3: 166-174
- Valdez, F. R. 2005, Proposed Mechanism of Absorption of Kem Minerals in Kemin Americas. Iowa, USA. 2p.
- Van, H.N., Schilt, R., Van der Vlis, E., Boshuis, P., Van Baak, M., Draaijer, A., De Wasch, K., Van de Wiele, M., Van Hende, J., Courtheyn, D. and De Brabander, H. 2005. Detection of Zilpaterol (Zilmax ®) in Calf Urine and Faeces with Liquid Chromatography-tandem Mass Spectrometry. Analytical Chemical Acta. 529.
- Vasconcelos, J.T., Rathmann, R.J., Reuter, R.R., Leibovich, J., McMeniman, J.P., Hales, K.E., Covey, T.L., Miller, M.F., Nichols, W.T. and Galyean, M.L. 2008. Effects of duration of zilpaterol hydrochloride feeding and days on the finishing diet on feedlot cattle performance and carcass traits. J. Anim. Sci., 86: 2005-2015.
- Vahedi, V., Towhidi, A., Zare-Shahneh, A., Sadeghi, M., Zamani, F. and Dunshea F.R. 2014. Effects of β -agonist zilpaterol hydrochloride feeding and supplementation period on growth and carcass characteristics of Lori-Bakhtiari lambs. Small Rumin. Res. 119: 65-71.
- Van Bibber-Krueger, C.L., Miller, K.A., Parsons, G.L, Thompson, L.K. and Drouillard, J.S. 2015. Effects of zilpaterol hydrochloride on growth performance, blood metabolites, and fatty acid profiles and adipose tissue in finishing steers. J. Anim. Sci. 93: 2419-2427.
- Vincent, J.B. 2000. The Biochemistry of chromium. Journal of Nutrition. 130: 715-718.
- Vincent J.B. 2004. Recent advances in the nutritional biochemistry of trivalent chromium. Proc. Nutr. Soc. 63: 41-47.
- Vincent, J.B. and Bennett R. 2007. Potential and purported roles for chromium in insulin signaling: The search for the holy grail. In: The Nutritional Biochemistry of Chromium(III). Vincent, J.B. ELSILVER. USA. pp. 139-160.

- Vierboom, M., T. E. Engle and C. V. Kimberling. 2003. Effects of gestational status on apparent absorption and retention of copper and zinc in mature Angus cows and suffolk ewes. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 16(4): 515-518.
- Villegas, G., Bolaños, A. and Olguín, L. 2001. *La ganadería en México I*. ed. Plaza y Valdés, México D.F.
- Walker, D.K., Titgemeyer, E.C., Drouillard, J.S., Loe, R.E., Depenbusch, B.E. and Webb, A.S. 2006. Effects of ractopamine and protein source on growth performance and carcass characteristics of feedlot heifers. *J. Anim. Sci.* 84: 2795-2800.
- Warris, P.D. 2003. *Ciencia de la carne*. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza (España).
- Wheeler, T.L. and Koohmaraie, M. 1992. Effects of the β -adrenergic agonist L_{644,969} on muscle protein turnover, endogenous proteinase activities, and meat tenderness in steers. *J. Anim. Sci.* 70:3035–3043.
- Wheeler, T.L., Savell, J.W., Cross, H.R., Lunt, D.K. and Smith, S.B. 1990. Mechanisms associated with the variation in tenderness of meat from brahman and hereford cattle. *J. Anim. Sci.* 68: 4206-4220.
- Wood J.D., M. Enser, A.V. Fisher, G.R. Nute, P.R. Sheard, R.I. Richardson, S.I. Hughes and F.M. Whittington. 2008. Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: A review. *Meat Science.* 78: 343-358.
- Wu G. and C.J. Meininger. 2002. Regulation of nitric oxide synthesis by dietary factors. *Annu Rev Nutr.* 22: 61-86.
- Yen, T.T., Anderson, D.B. and Veehuizen, E.L. 1989. Phenethanolamines: reduction of fat and increase of muscle from mice to pigs. In: Lardy H., Stratman, (Ed.) *Hormones, Thermogenesis and Obesity*. Elsevier. New York.
- Zago MP. y Oteiza PI. 2001. The antioxidant properties of zinc: interactions with iron and antioxidants. *Free Radic Biol Med.* 31: 266–274.
- Ziprin, Y.A., Rhee, K.S. and Davidson, T.L. 1990. Characteristics of pork products from swine fed a high monounsaturated fat diet: Part 3-A high-fat cured product. *Meat*

Sci. 28(2): 171-180.

Zorrilla-Ríos, J.M, Lancaster, P.A., Horn, G.W., Goad, C.L., Hilton, G.G. and Carrasco, D.M. 2013. Prediction of cutability of beef carcasses processed in Jalisco State, Mexico. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 17: 65-77.