

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS**



**EFFECTO DEL TIEMPO DE SUPLEMENTACIÓN DE CLORHIDRATO DE
ZILPATEROL SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL Y CALIDAD DE
LA CARNE EN CORDEROS DE PELO FINALIZADOS EN CORRAL**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

MARIA DE LOS ANGELES LÓPEZ BACA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. MARTIN FRANCISCO MONTAÑO GÓMEZ

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

AGOSTO DE 2017.

Efecto de tiempo de suplementación de clorhidrato de zilpaterol sobre las características de la canal y calidad de la carne en corderos de pelo finalizados en corral. Tesis presentada por María de los Ángeles López Baca como requisito parcial para obtener el Grado de Maestro en Ciencias Veterinarias, que ha sido aprobada por el siguiente comité:

Dr. Martin Francisco Montaña Gómez

Director

Dra. Guadalupe Noemí Torrentera Olivera

Asesor

Dr. Juan Octavio Chirino Romero

Asesor

MC. Miguel Ángel Vega Cázares

Asesor

MC. Ramón Manuel Valenzuela Padilla

Asesor

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA

AGOSTO DE 2017.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	3
RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCIÓN.....	8
REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
Producción mundial ovina.....	11
Situación ovina en México.....	13
Sistemas de producción ovina.....	14
Calidad de la carne ovina.....	16
Promotores de crecimiento.....	20
Tipos de promotores de crecimiento.....	21
Agonistas adrenérgicos β (AA β).....	22
Mecanismos de acción de los Agonistas adrenérgicos β (AA β).....	26
Clorhidrato de Zilpaterol en la producción ovina.....	32
Efecto en características de la canal.....	33
Efecto en cortes primarios.....	34
Efecto en la calidad de la carne.....	36
Tiempos de suplementación de Clorhidrato de Zilpaterol.....	37
MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
Localización del área de estudio.....	40
Trato de los animales experimentales.....	40
Animales y manejo pre-experimental.....	40
Diseño experimental, tratamientos y sacrificio.....	42
Proporción de componentes corporales.....	43
Características de la canal.....	43
Rendimientos de cortes primarios.....	44
Calidad de la carne.....	44
Análisis estadístico.....	45
RESULTADOS.....	46
Características de la canal.....	46
Órganos y vísceras.....	47
Rendimientos de cortes primarios.....	48
Calidad de la carne.....	49
DISCUSIÓN.....	51
Características de la canal.....	51
Órganos y vísceras.....	54
Rendimientos de cortes primarios.....	56
Calidad de la carne.....	59
CONCLUSIONES.....	62
LITERATURA CITADA.....	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Ingredientes y composición química de las dietas.....	41
Cuadro 2.	Efecto del tiempo de suplementación con clorhidrato de zilpaterol en corderos finalizados en corral sobre características de la canal.....	46
Cuadro 3.	Efecto del tiempo de suplementación con clorhidrato de zilpaterol de corderos finalizados en corral sobre los pesos de órganos y vísceras expresados en porcentaje del peso al sacrificio.....	48
Cuadro 4.	Efecto del tiempo de suplementación con clorhidrato de zilpaterol de corderos finalizados en corral sobre el rendimiento de cortes primarios.....	50
Cuadro 5.	Efecto del tiempo de suplementación con clorhidrato de zilpaterol de corderos finalizados en corral sobre calidad de la carne del musculo <i>Longissimus dorsi</i>	50

RESUMEN

El clorhidrato de zilpaterol (CZ) es un agonista adrenérgico β_2 que ha mostrado mejorar el comportamiento productivo y las características de canal sin afectar la calidad de la carne en cordero de engorda, sin embargo, hasta el momento no se ha definido claramente el tiempo de suplementación en esta especie. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del tiempo de suplementación del CZ en la dieta de finalización sobre características de la canal, rendimiento de cortes primarios y calidad de la carne de corderos de pelo. Se utilizaron 40 corderos machos enteros, los cuales se asignaron bajo un diseño de bloques completamente al azar a 1 de los siguientes 4 tratamientos de tiempos de suplementación de CZ: 0, 10, 20 y 30 d antes de finalizar el periodo de engorda. Todos los corderos se alimentaron con una dieta basal y se sacrificaron 48 h después de que se dejó de ofrecer el CZ. Mientras que la deposición de grasa omental y porcentaje de paleta disminuyeron linealmente ($P < 0.05$), el peso de canal caliente y fría y el porcentaje de algunos cortes primarios (lomo y pierna) aumentaron linealmente ($P < 0.05$) como el tiempo de suplementación creció de 0 a 30 d. El porcentaje de testículos y tracto gastrointestinal lleno mostraron un efecto cuadrático ($P < 0.05$) con el aumento del periodo de suplementación de CZ. El resto de las variables relacionadas con características de la canal, componentes no cárnicos y rendimiento de cortes primarios no fueron afectados ($P > 0.05$) por el periodo de suplementación de CZ. El pH *post mortem* a los 45 min, 24 h y 14 d del músculo *L. dorsi* tampoco variaron ($P > 0.05$) con el tiempo de suplementación de CZ. Sin embargo, en este músculo, los rasgos de color (L^* , a^* y b^*) disminuyeron y

el esfuerzo de corte aumentó en forma lineal ($P<0.05$) con el aumento en el tiempo de suplementación de CZ. Se concluye que el periodo de suplementación óptimo de CZ es durante los último 30 d de la fase de finalización de los corderos de engorda, ya que con este tiempo se obtuvieron máximos pesos de canal y área del ojo de la costilla, así como de algunos rendimientos de corte primarios (pierna y lomo) con importancia económica en la industria de la carne ovina.

Palabras clave: Agonistas adrenérgicos β_2 , zilpaterol, canales de ovinos, calidad de la carne.

ABSTRACT

Zilpaterol hydrochloride (ZH) is a β 2-adrenergic agonist which has showed to improve the productive performance and carcass characteristics without affecting the meat quality in fattening lambs, however, the supplementation time has not been defined until now in this specie. The aim of this study was to evaluate the effects of ZH supplementation duration in finishing diet on carcass characteristics, primary cut yields and meat quality of hair sheep male lambs. A total of 40 intact male lambs were assigned under randomized complete block design to 1 of the following 4 treatments of ZH supplementation periods: 0, 10, 20 and 30 d before the end of the fattening period. All lambs were fed a basal diet and they were sacrificed 48 h after that ZH was not offered. While omental fat and shoulder yield linearly decreased ($P < 0.05$), hot and cold carcass weight, rib eye area and yield of some primary cuts (loin and leg) linearly increased ($P < 0.05$) as the supplementation period increased from 0 to 30 d. Percentages of testicle and gastrointestinal tract filled showed a quadratic effect ($P < 0.05$) with increasing of ZH supplementation period. The rest of variables related with carcass characteristics, non-carcass components and primary cut yields were not affected ($P > 0.05$) by the ZH supplementation period. The pH of the *Longissimus dorsi* muscle at 45 min, 24 h and 14 d postmortem did not vary ($P > 0.05$) with the ZH supplementation time. However, in this muscle, color parameter (L^* , a^* y b^*) decreased and shear force increased in linear form ($P < 0.05$) with increasing of ZH supplementation period. It was concluded that the optimal supplementation period of ZH is during the last 30 d of the finalization phase of fattening lambs, since with this period were obtained

the highest carcass weight and rib eye area, as well as some primary cut yields (loin and leg) with economic importance in the mutton industry.

Key words: β 2-Adrenegic agonist, zilpaterol, sheep carcasses, meat quality.

INTRODUCCIÓN

La producción de carne ovina en la actualidad ha tomado gran importancia en comparación a otras carnes; la carne de ovino ocupa el cuarto lugar dentro del consumo de proteína animal, representando 5% del consumo mundial de cárnicos (FAO, 2013). Por su parte, en México se tienen registradas alrededor de 53,000 unidades de producción ovina, que están distribuidas aproximadamente de la siguiente forma: 53% en el centro, 24% en el sur-sureste y 23% en el norte (PROGAN, 2010). Sin embargo, en la actualidad, se produce tan solo el 70 por ciento de la demanda nacional, mientras que el resto se importa de otros países como Australia, Nueva Zelanda y Estados Unidos. Según la FAO, hay escasez de suministros exportables y una fuerte demanda de importaciones, lo que ha provocado un incremento de los precios internacionales del cordero a niveles sin precedentes.

Por lo anterior, el sector ganadero y la industria cárnica, constantemente buscan alternativas para promover un crecimiento rápido y eficiente del ganado, acompañado por una mejora en las características de la canal (Beermann, 2009; Etherton, 2009). Los agonistas adrenérgicos (AA β) se han utilizado como promotores del crecimiento en las diferentes especies de animales domésticos, con la finalidad de incrementar el crecimiento y la eficiencia alimenticia, con una reducción en los costos de producción y una mejor calidad del producto cárnico (Sillence, 2004; Johnson y Chung, 2007).

Estudios en corderos han sugerido que el uso de promotores de crecimiento, tal como el agonistas adrenérgico β (AA- β) clorhidrato de zilpaterol

(CZ), mejoran el crecimiento y/o las características de canal en ovinos de pelo (Macías-Cruz et al., 2010; 2013; Avendaño-Reyes et al., 2011; Dávila-Ramírez et al., 2014; 2016), aunque los resultados no han sido muy consistentes. El CZ se adicionan en el alimento generalmente durante los últimos 30 d antes del sacrificio y facilitan la disponibilidad de nutrientes al estimular la lipólisis y reducir la lipogénesis, con lo que los nutrientes presentes en el organismo se dirigen a la producción de músculo (Mersmann, 1998).

Sin embargo, los estudios de investigación en ovinos de engorda con CZ o clorhidrato de ractopamina CR se han centrado en la administración de AA β en la dieta por períodos fijo de administración de entre 30 (Estrada-Angulo et al., 2008; Robles-Estrada et al., 2009) y 60 d (Aguilera-Soto et al., 2008). La falta de consistencia en los efectos de CZ sobre el crecimiento y características de la canal (peso canal caliente y fría, rendimiento de canal, área del ojo de la costilla, rendimiento en cortes de venta, otras) con importancia económica para el ovinocultor, ha llevado a la búsqueda de estrategias para suplementar este AA β .

El hecho que la suplementación de AA β no tenga un efecto constante como promotor de crecimiento cuando se ofrece por periodos prolongados, abre la pauta para buscar reducir los tiempos de suplementación de CZ en relación a los recomendados por la empresa. La reducción del tiempo de suplementación de CZ sin afectar los beneficios a nivel de características de la canal, tendría un impacto económico favorable para los engordaderos de corderos. En este sentido, la hipótesis del presente estudio fue que la suplementación de CZ durante periodos cortos en comparación a periodos largos puede afectar en forma similar las

características de la canal y la calidad de la carne en corderos finalizados en corral. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del tiempo de suplementación del clorhidrato de zilpaterol en la dieta de finalización sobre las características de la canal y la calidad de la carne en corderos de pelo finalizados en corral.

REVISIÓN DE LITERATURA

Producción mundial ovina

La producción ovina es una actividad muy difundida en todo el mundo, además, de la importancia que tiene en comparación a otras carnes, la carne de ovino ocupa el cuarto lugar dentro del consumo de proteína animal, representando 5% del consumo mundial de cárnicos (FAO, 2013). De acuerdo con FAO, el hato mundial ovino es de cerca de 1,080 millones de cabezas, la producción anual mundial de carne ovina es de alrededor de 8.5 millones de toneladas y se destinan al comercio mundial 871 mil toneladas, apenas 9% de la producción total.

En el mundo, la producción de carne de ovinos, se desarrolla principalmente en la China, Australia, España, India, Nueva Zelanda, por nombrar solo a algunos países, dentro del ámbito mundial, México ocupa el lugar 37, según los reportes de la FAO, 2004. Esta actividad, se desarrolla en la gran mayoría de los países de todo el mundo, preponderantemente bajo sistemas de pastores. Esta situación constituye una gran ventaja económica por el ahorro en los costos de producción, pues esos sistemas generan la mejor relación costo/beneficio y además dan algunas ventajas comparativas a la calidad nutricional de la carne, pero a su vez son muy susceptibles a las variaciones climatológicas estacionales y altamente vulnerables a las sequías extremas (FAO, 2010).

Cabe mencionar que China es el país que cuenta con el mayor hato ovino, con 16% del total y es el primer productor mundial de carne ovina con 28% de la misma, y aunque en los últimos años, el crecimiento de su hato y de su producción

mantienen una importante tendencia al alza, la magnitud de su mercado interno no le permite exportar dicho producto, incluso sus importaciones vienen creciendo significativamente, sobre todo de animales para abasto y subproductos ovinos. Por su parte, Australia posee el segundo mayor inventario de borregos en el mundo con 10% del total y es el segundo productor mundial con 8% del total de carne de ovino, así mismo, es el segundo exportador mundial con cerca del 30% de las exportaciones. Otro país de importancia en la producción es Nueva Zelanda, ocupando el cuarto lugar como productor mundial de carne ovina, con apenas 6% del total, y siendo el primer exportador mundial con 40% del total. Al igual que Australia, han desarrollado programas tendientes a aumentar la productividad del hato, con lo que lo han logrado reducir, pero al mismo tiempo que aumentan tanto el volumen como el valor de sus exportaciones (FAOSTAT, 2008).

A escala mundial, según la FAO (evaluación de la carne, noviembre del 2008), hay escasez de suministros exportables y una fuerte demanda de importaciones, lo que ha provocado un incremento de los precios internacionales del cordero a niveles sin precedentes. El comercio mundial de la carne de ovino se estima en 871 mil 000 toneladas, y prácticamente no presentó en el 2008, variación con respecto al año de 2007.

Las tendencias en el contexto mundial indican que la producción de cordero se mantendrá estable en los próximos años, pero se prevé un aumento en el precio porque habrá más demanda, sobre todo en los países en vías de desarrollo (FAO, 2013). Las estimaciones indican que los países como China, India, Brasil, Indonesia, México y Turquía tendrán, en el 2050, un poder adquisitivo 75% mayor

que el que tiene actualmente los países como (Estados Unidos, Japón, Alemania, Inglaterra, Francia, Italia y Canadá) (Hawksworth, 2006).

Situación ovina en México

En México se tienen registradas alrededor de 53,000 unidades de producción ovina, que están distribuidas aproximadamente de la siguiente forma: 53% en el centro, 24% en el sur-sureste y 23% en el norte (PROGAN, 2010). La ovinocultura de carne se desarrolla bajo un esquema de tipo regional, en la zona central se producen carne y pieles con razas de lana como Suffolk, Hampshire, Rambouillet y Dorset y de pelo (Katahdin, Dorper y Pelibuey), la región sur-sureste se orienta principalmente a la producción de carne con razas de pelo (Pelibuey, Black Belly, Katahdin y Dorper) y produce un poco de lana para uso artesanal con animales criollos en Oaxaca y Chiapas, y la zona norte que ahora se dedica a la producción de carne, no obstante fue la principal proveedora de lana en épocas pasadas, por lo que aún se mantiene una población de animales de la raza Rambouillet, pero más recientemente se han introducido razas de pelo (Pelibuey, Katahdin y Dorper).

De acuerdo al inventario realizado por SIAP (2011), 34,998 cabezas se encuentran en el estado de Baja California, por lo cual dicho estado representa el lugar número 28 en producción con 0.49% anual de la producción nacional de carne ovina.

En México la carne ovina tiene un consumo nacional aparente de 75 mil toneladas anuales, sin embargo, no toda esa carne se puede producir localmente

debido a variaciones de clima o distintos tipos de suelo. La región productora se concentra principalmente en el Estado de México e Hidalgo. En la actualidad, se produce el 70 por ciento de la demanda nacional, mientras que el resto se importa de otros países como Australia, Nueva Zelanda y Estados Unidos.

A pesar de que México ha ido avanzando en mejorar su productividad, sólo genera el 70% de la carne ovina que consume, por lo que tiene un mercado interno potencial de unas 30,000 toneladas anuales. Cabe mencionar que, nuestro país ha recibido la petición de exportar carne y animales a países como Jordania, Turquía, Libia, India y Corea del sur, además de Centroamérica (Arteaga, 2012).

Sistemas de producción ovina

En nuestro caso, México cuenta con una gran diversidad de climas que van desde el templado hasta el cálido y del húmedo al muy seco (García, 1981). También tiene una orografía muy accidentada y heterogénea, con diferentes tipos de suelo y presenta una tremenda pluralidad socioeconómica, con niveles de educación muy distintos e ingresos económicos muy desiguales, aun dentro del mismo medio rural (INEGI, 2012).

Todo esto hace que en nuestro país, se presenten sistemas de producción ovina muy variados, con características propias de cada región y que son determinados por la disponibilidad de recursos y por los hábitos o tradiciones en el consumo de productos ovinos. Estos sistemas van desde los altamente tecnificados que mantienen a los animales en completa estabulación sobre pisos

elevados, hasta los trashumantes que se mantienen en condiciones totalmente extensivas y no utilizan tecnología.

Cada sistema presenta características muy particulares de desarrollo y se diferencia por los medios empleados, entre los cuales varían: las razas utilizadas, el tipo de manejo, la alimentación, la reproducción y la sanidad.

Básicamente la ovinocultura se pudiera dividir en dos sistemas de producción predominantes, el extensivo e intensivo, aunque en últimas fechas una combinación de ambos ha tenido buenos resultados (Arteaga, 2008).

De acuerdo con la intensidad de su régimen de producción se dividen en: intensivo, semi-intensivo y extensivo, y según su propósito fundamental se dividen en comerciales y de autoconsumo. A su vez, los sistemas comerciales pueden ser intensivos, semi-intensivos o extensivos, y por lo general, los de autoconsumo son de traspatio y, en algunos casos muy limitados de trashumancia.

Los sistemas de producción intensiva tienen como propósito primordial generar ingresos económicos, por lo que deben ser redituables y como sucede con otras especies, su viabilidad económica gira en función del precio de los insumos, sobre todo de los cereales, ya que la alimentación representa más del 60% de los costos de producción (González et al., 2013).

Los sistemas de producción semi-intensiva se conocen como “diversificados”, con pastoreo en superficies agrícolas y en frutales, además, reciben alimentación complementaria que puede ser basada en esquilmos agrícolas y granos de cereales o se proporciona alimento comercial. En estos

sistemas también se tienen algunos cuidados sanitarios y se lleva a cabo el manejo reproductivo del rebaño.

Los sistemas de producción extensiva se basan en la utilización de la vegetación nativa. Por lo general, los animales se mantienen juntos en un solo rebaño que incluye hembras y machos de diferentes edades, no se lleva un control reproductivo ni genético y se presenta un alto grado de consanguinidad. Además, no se proporcionan complementos alimenticios, únicamente los animales reciben sales minerales como suplemento. El manejo sanitario es nulo o muy restringido, por lo que hay afecciones parasitarias frecuentes y una alta incidencia de enfermedades que originan elevada mortalidad en las crías.

En general la diversidad de sistemas de producción ocasionan fluctuaciones estacionales a lo largo del año, con una tremenda irregularidad en la oferta de ganado y provoca marcadas diferencias en su tipo, en su condición corporal y en el peso que alcanza al momento de la venta, lo cual contrasta fuertemente con dos requisitos fundamentales que exige el mercado formal, que son la constancia en el suministro de animales y la uniformidad en la calidad del producto ofertado (Partida, 2009).

Calidad de la carne ovina

La calidad en la carne básicamente se refiere al grado o medida en la que un producto satisface o sobre pasa las expectativas de quien lo adquiere; la calidad se asocia a un conjunto de propiedades que permiten hacer la

comparación entre productos de un mismo tipo y le dan un distintivo propio (Partida, 2013).

Partida, 2013 menciona que la calidad de la carne se debe iniciar con la canal, pues es la unidad básica de comercio en el ámbito mundial de la carne. La calidad de la canal se refiere al conjunto de atributos que le otorgan una aceptación total y el precio más elevado del mercado. Esta se asocia con su estado de engrasamiento, forma, tamaño y peso, pues estos elementos permiten estimar de manera indirecta las proporciones de sus componentes (musculo, grasa y hueso).

La conformación o el tipo anatómico de un animal se determinan por varios factores. Estos factores pueden ser internos o propios del mismo animal, que incluyen el sexo, la raza, el peso al sacrificio y el estado de madurez o edad. Asimismo, hay factores externos o del ambiente que no son inherentes al animal, pero que lo afectan, y por tanto, trascienden sobre las propiedades de la canal, como la región agroclimática, el sistema de producción, el tipo de alimentación y el manejo en general.

La composición fisicoquímica de la carne tiene especial relevancia en la calidad de la carne. Los principales parámetros considerados para evaluar la calidad fisicoquímica de la carne son el pH, su capacidad de retención de agua, el color y la terneza.

El pH contribuye sustancialmente en las otras características de calidad como lo son el color, sabor y terneza de la carne, además de que afecta la

capacidad de retención de agua la cual está asociada con la jugosidad de la carne (Bianchi, 2006). El pH del tejido muscular del animal vivo es prácticamente neutro. Cuando el animal muere, el músculo se ve privado de riego sanguíneo y por lo tanto de oxígeno. Esto hace que se bloquee la síntesis de ATP, que es la fuente primaria de obtención de energía, con lo cual el músculo se ve obligado a adquirir esa energía por vía anaerobia a partir del glucógeno de reserva, dando lugar a la producción de ácido láctico (Monin, 1989). Mientras exista glucógeno se produce ácido láctico, el pH desciende hasta que se interrumpen los fenómenos glucolíticos o bien hasta que se inactivan las enzimas que rigen el metabolismo muscular (Lawrie, 1998). El pH final de la carne dependerá en gran parte de la cantidad de glucógeno contenido en el músculo al momento del sacrificio.

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

endógenas, la dieta y edad del animal e incluso la actividad realizada por este (Muchenje et al., 2009).

El esfuerzo de corte se entiende como la fuerza necesaria para seccionar un trozo de carne cocinada (Muchenje et al., 2009). Según métodos internacionales, toda carne que requiere 6 o menos kilogramos de presión para ser seccionada es considerada tierna. Por encima de ese número es percibida generalmente como dura (AMSA, 1995). La variación más grande se debe principalmente a cambios en la estructura de las proteínas miofibrilares del músculo en el periodo comprendido entre el sacrificio y el consumo de la carne (Muir et al., 2000). Esto es debido, a que el esfuerzo de corte está en función de la longitud del sarcómero, el contenido de colágeno y su solubilidad, y la estructura miofibrilar. Tales componentes explican la mayor parte de la variación de la ternura, sin embargo, el principal factor es la proteólisis en la miofibrilla causada por el sistema calpaína (Maher et al., 2005; Kemp et al., 2010). Existe otras fuentes de variación del esfuerzo de corte que pueden atribuirse a factores tales como edad del animal, sexo, peso, raza, tipo de músculo y estrés antemortem (Muchenje et al., 2009).

La capacidad de retención de agua (CRA), de acuerdo con Sañudo (1992), está definida como la aptitud de la carne para retener el agua que ella misma contiene cuando se aplican fuerzas externas como cortes, calentamiento, trituración y prensado lo cual presenta un gran interés durante su conservación, fileteado, cocinado y transformación en un producto cárnico.

En general, la carne de ovino es un producto alimenticio de elevada calidad biológica porque proporciona proteínas de altas disponibilidad y contiene todos los aminoácidos esenciales; es una buena fuente de minerales (Hierro, Zinc, Selenio, Magnesio, Cobre, Cobalto, Fosforo, Cloro y Níquel) y de vitaminas (A, D, B₁, B₂, B₆, B₁₂, ácido fólico, ácido pantoténico y Niacina) (Warriss, 2003). Además de proporcionar ácidos grasos esenciales como el ácido linoleico y el ácido α -linolénico, que son fundamentales para mantener la homeostasis del organismo y para sintetizar otros ácidos grasos esenciales como el eicosapentaenoico (EPA) y el docosahexaenoico (DHA) (Castañeda y Pañuela, 2010).

Promotores de crecimiento

La intensificación de la producción animal ha contado con diversos métodos de apoyo, unos consisten en el perfeccionamiento de las técnicas de producción empleadas, otros en la introducción de nuevas técnicas y procedimientos, incluyendo el uso de algunas drogas como aditivos en la dieta, como ejemplo, los promotores de crecimiento (Domínguez-Vara et al., 2009). Por su parte, los promotores de crecimiento se han utilizado en la producción de carne durante varias décadas para aumentar los parámetros como la ganancia diaria de peso y la eficiencia alimenticia (Dikeman, 2007).

Asimismo, la utilización de estas sustancias presenta una serie de ventajas relacionadas no sólo con la mejora de la productividad, sino también con la calidad. Si bien, se ha demostrado que el uso de promotores de crecimiento en producción animal genera mejoras de algún modo en los procesos metabólicos,

por ejemplo, modificando la fermentación ruminal, o reduciendo la acumulación de grasa corporal, lo que normalmente debería mejorar la rentabilidad de las actividades pecuarias (Baker et al., 1984;Shelver et al., 2005;Dikeman, 2007;Nourozi et al., 2008)

Tipos de promotores de crecimiento

Es importante mencionar que un promotor de crecimiento es definido como aquella sustancia natural o sintética que al ser administrada al animal a través de la dieta u otra vía, produce una respuesta mayor en el crecimiento animal a la que se esperaría sólo por la contribución de los nutrientes disponibles en la dieta (Eng., 2000).

Hay una variedad de promotores de crecimiento, en su mayoría sintéticos, que se utilizan en casi todas las etapas de la producción animal (Dikeman, 2007). Asimismo, estos compuestos pueden administrarse en el alimento, por medio de inyecciones o implantarse, acorde primeramente a su mecanismo de acción del promotor de crecimiento.

De acuerdo a su modo de acción y naturaleza, los promotores de crecimiento se pueden clasificar en dos grandes grupos: 1) Aditivos alimenticios: actúan principalmente produciendo cambios en las poblaciones de microorganismos presentes en el tracto digestivo, o bien mejorando la eficiencia animal en la utilización de nutrientes. Entre ellos tenemos a los antibióticos, ionóforos, probióticos, prebióticos, ácidos orgánicos, nutraceuticos, enzimas y surfactantes. 2) Compuestos hormonales: los cuales actúan como agentes

anabolizantes del metabolismo animal. Dentro de este grupo se encuentran los implantes hormonales que pueden ser del tipo androgénico, estrogénico o combinado y los compuestos denominados agonistas β -adrenérgicos (Lawrence y Fowler, 2002). Este último grupo de fármacos se utilizan en la producción animal para mejorar la retención de nitrógeno, son los llamados “repartidores de energía” o agonistas adrenérgicos β (AA β). Son agentes químicos que actúan a nivel de los receptores adrenérgicos, derivando la energía de los alimentos y de la lipólisis hacia la síntesis proteica muscular (Mersmann, 1998).

Agonistas Adrenérgicos β (AA β)

Los agonistas β -adrenérgicos son derivados de catecolaminas, hormonas epinefrina y norepinefrina, cuya estructura se caracteriza por un anillo aromático de seis asas, un grupo hidroxilo unido al nitrógeno cargado positivamente a el β -carbono en la cadena lateral de etilamina y un sustituyente sobre el nitrógeno alifático, el cual corresponde al receptor β específico (Smith, 1998). Esta estructura es común para todas las fenetanolaminas agonistas β -adrenérgicos, siendo su estructura similar a las catecolaminas naturales.

Los agonistas β -adrenérgicos (β -agonistas) son sustancias químicas que ya se han utilizado durante más de 30 años en medicina humana y veterinaria en el tratamiento de bronquitis crónica, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y asma, así como tocolítica en animales (Barnes, 1999). Además, estas sustancias son promotores del crecimiento en muchas especies animales para la producción de carne, y el efecto en el cuerpo genera la unión a receptores β -adrenérgicos

específicos localizados en membranas celulares de tejido diana (Mersmann *et al.*, 1989).

Existen receptores α -adrenérgicos (RA- α) y (RA- β), los RA- β fueron subclasificados en subtipos RA- β 1, RA- β 2 y RA- β 3. Estos receptores se conocen por sus funciones fisiológicas estimuladas o inhibidas por la norepinefrina, la adrenalina y algunos otros compuestos (Mersmann *et al.*, 1998).

Se han encontrado que RA- β 1 son post-sinápticos, pero pueden hallarse pre-sinápticos y están localizados en el corazón, en plaquetas y glándulas salivales. Su activación ocasiona incrementos en la fuerza de contracción y en la frecuencia cardíaca, agregación plaquetaria y secreción de amilasa de las glándulas salivales. Si se encuentra en la porción pre-sináptica, al activarse ocasiona un incremento en la liberación de noradrenalina (Norman y Liwack, 1997).

Los RA- β 2, también son post-sinápticos y están localizados en vasos sanguíneos, bronquios, tracto gastro-intestinal, músculo esquelético, hígado y células cebadas; su activación genera vasodilatación, bronco-dilatación, disminución de la motilidad y tono gástrico e intestinal, induce relajación de la vesícula y ductos biliares, provoca relajación del miometrio, induce glucógenolisis en hígado, en páncreas induce la liberación de insulina y glucagon. En músculo provoca la glucogenólisis y la producción de lactato (MacHadley, 1988; NRC, 1994) y también se le ha asociado con la ganancia de tejido muscular (Lynch y Ryall, 2008). Por ejemplo, en ovinos los receptores β 1 y β 2 coexisten en el bíceps

posterior del animal y en el área del músculo *Longissimus dorsi* (Koohmaraie et al., 1991; Ekpe et al., 2000).

Los RA- β 3 se han encontrado principalmente en ratas en el tejido adiposo y se ha encontrado RNAm en el músculo esquelético, hígado e ileon. En experimentos recientes se ha encontrado RNAm de este receptor en cerebelo, hipocampo y cuerpo estriado, así mismo se ha reportado en el estómago y en colon e ileon. Estos receptores al ser activados ocasionan lipólisis y termogénesis, y reduce el consumo voluntario e incluso puede tener efectos antidepresivos (Norman, 1997).

Casi todos los tipos de células de mamíferos tienen RA- β incrustado en la membrana plasmática, sin embargo, su distribución de los subtipos y la proporción de cada uno varía entre los tejidos de una especie, así como su distribución dentro de un tejido entre especies. Además, la secuencia de aminoácidos varía para un subtipo RA- β dado entre especies (Mersmann et al., 1998). En general, los RA- β consisten en más de 400 aminoácidos. Cada RA- β contiene tres segmentos extracelulares asociados con el extremo Amino (N) y tres asas intracelulares con el extremo Carboxilo (C) (Mills y Mersmann, 1995), a los que se unen la adrenalina y la noradrenalina.

La catecolamina norepinefrina, es el neurotransmisor del sistema nervioso simpático, la molécula es biosintetizada a partir de la tirosina; La catecolamina epinefrina es sintetizada y secretada de la médula suprarrenal; La epinefrina es

biosintetizada a partir de norepinefrina y es el producto de metilación de la norepinefrina.

Los AA β son compuestos sintético también conocidos como fenetanolaminas y que poseen una estructura similar a la catecolaminas naturales, los cuales estimulan el crecimiento y el incremento de masa muscular reduciendo el tejido adiposo (Sillence, 2004; Dikeman, 2007). Cunningham (1965) presentó datos que indicaban la posibilidad de cambiar el crecimiento de mamíferos por administración de agentes (por ejemplo, cafeína, teofilina, nicotina y epinefrina) que directa o indirectamente podrían funcionar cambiando la concentración intracelular de AMPc.

Algunos investigadores mencionan que la aplicación de AA β en dosis anabólicas en animales da como resultado un aumento significativo de la masa corporal magra y una disminución significativa en la cantidad de grasa corporal, una mejor utilización de los alimentos y un aumento en el crecimiento de los animales (Van Der Wal y Berende, 1983; Meyer y Karg, 1989; Meyer, 2001; Anderson, 2005). La aplicación de estas sustancias en el ganado de carne tiene como resultado mejores propiedades sensoriales, con menores porciones de grasa y mayor proporción de tejido muscular (Bergen et al., 1987; Crome et al., 1996, Armstrong et al., 2004), que es aceptable para los consumidores.

Estudios revelaron que varios AA β actúan como modificadores metabólicos con capacidad distintiva como repartidores de energía y uso de los nutrientes consumidos hacia el aumento del crecimiento del músculo esquelético y la

disminución de la acumulación de tejido adiposo en ganado, cerdo, ovino, pollos de engorde y pavos (Beermann, 1993; Moody, Hancock y Anderson 2002; NRC 1994). El primer AA- β estudiado fue el clenbuterol, un análogo sintético de la epinefrina, el cual demostró aumentar el rendimiento de la canal, el área del ojo de la costilla y la deposición muscular en corderos castrados (Baker et al., 1984; Hamby et al., 1986) y en ganado bovino (Miller et al., 1988; Schiavetta et al., 1990). Actualmente el clenbuterol está prohibido internacionalmente en la producción animal, ya que las consecuencias del uso de este fármaco afecta la salud pública en la mayoría de los casos debido a su actividad cardiovascular (Sumano et al., 2002).

En México y Estados Unidos entre otros países, se permite el uso de dos compuestos (Clorhidrato de zilpaterol y Clorhidrato de ractopamina) en ganadería (NOM EM-15-ZOO-2002). En la producción de cerdos comerciales, en nuestro país se ha generalizado el uso de ractopamina en la fase de finalización para aumentar tanto la ganancia de peso, como el rendimiento en canal y cortes primarios. Este efecto, se debe principalmente al redireccionamiento de la energía del alimento hacia la síntesis de proteína muscular, ocasionando una hipertrofia muscular y una reducción en la lipogénesis (Mersmann, 1998; Rikard-Bell et al. 2009; Hinson et al. 2011; Almeida et al. 2012)

Mecanismos de acción de los agonistas adrenérgicos β (AA β)

Cualquier mecanismo implicado para los efectos de los agonistas adrenérgicos β (AA β) debe comenzar con la activación del RA- β y proceder a

través de las proteínas Gs a la activación de la adenil ciclasa para producir AMPc. Los receptores agonistas adrenérgico- β son moléculas orgánicas que se unen a los receptores adrenérgicos- β (RA- β) de tal manera que el complejo receptor-agonista activa la proteína Gs. La α -subunidad de la proteína Gs activa después la adenil ciclasa, enzima que produce adenosina monofosfato cíclico (AMPc), una de las principales moléculas de señalización intracelular. El mecanismo por el cual la AMPc produce efectos es unirse a la subunidad reguladora de la proteína quinasa A para liberar la subunidad catalítica que luego fosforila un número de proteínas intracelulares (Liggett y Raymond, 1993; Mersmann, 1998; Ferguson, 2001). Algunas de estas proteínas son enzimas que se activan cuando se fosforilan (por ejemplo, la lipasa sensible a las hormonas, la enzima limitante de la velocidad para la degradación del triacilglicerol del adipocito).

La proteína de unión al elemento de respuesta de AMPc (CREB) es fosforilada por la proteína quinasa A; El CREB se une a un elemento de respuesta de AMPc en la parte reguladora de un gen y estimula la transcripción de ese gen. La fosforilación aumenta la actividad transcripcional del CREB, proporcionando el mecanismo para la transcripción mediada por agonistas RA- β de un número de genes en la célula de mamífero. Otras enzimas llegan a inactivarse cuando se fosforilan (por ejemplo, acetil-CoA carboxilasa, la enzima limitadora de velocidad para la biosíntesis de ácidos grasos de cadena larga (Mersmann, 1989a, Strosberg, 1992; Liggett y Raymond, 1993).

Una característica de los AA β es que comparten la estructura básica, así como, la absorción, la excreción y por tanto la vida media difieren entre

compuestos debido a las propiedades químicas particulares a cada uno (Stoffel y Meyer, 1993). Cabe mencionar que la afinidad del RA- β y su composición química determina la actividad biológica de los AA β en cuanto a su absorción, distribución, metabolismo y eliminación de residuos, al igual que ocurre naturalmente con las catecolaminas (Mersmann, 1998). Smith (1998), menciona que en animales domésticos y humanos los AA β presentan una rápida y muy completa absorción vía digestiva.

La absorción en el tracto gastrointestinal es influenciada por el pH, en el caso de un pH ácido en el abomaso favorece la ionización del compuesto, mientras que un pH neutro en intestino delgado (duodeno, yeyuno e ileon) disminuye la ionización y favorece la absorción pasiva a través de la mucosa intestinal (Smith, 1998). El metabolismo depende grandemente de la ruta de administración empleada.

Se observado que la unión de los receptores AA β encontrados a lo largo del tracto gastrointestinal afecta la motilidad y las funciones secretoras del tracto (McIntyre y Thompson, 1992). La actividad microbiana se ha estimulado en el rumen en presencia de ractopamina (Walker y Drouillard, 2010).

En los rumiantes, AA β puede influir directamente en la población microbiana que afecta la digestión ruminal y la digestibilidad. Por lo tanto, el mejor desempeño observado con la suplementación de AA β podría deberse no sólo a la redistribución de nutrientes absorbidos, sino también a mejoras en la

digestibilidad. Sin embargo, se informa muy poco en la literatura acerca de las características de la digestión de las dietas que contienen CZ.

Uno de los efectos más obvios de los agonistas RA- β administrados por vía oral en los bovinos, cerdos y ovinos es un aumento de la masa muscular. Debido a que el crecimiento postnatal del músculo esquelético es principalmente un resultado de la hipertrofia, se espera un aumento en la síntesis de proteínas musculares, una disminución en la degradación de las proteínas musculares o una combinación de ambas produzca el aumento de la masa muscular estimulado por el agonista RA- β (Mersmann, 1998); sin embargo, el mecanismo de acción en este sentido presenta resultados controversiales, ya que mientras algunos investigadores reportan la observación de ambos mecanismos sobre el tejido músculo esquelético (Adeola et al., 1992; Kim y Sainz, 1992; Maltin et al., 1989), otros lo atribuyen principalmente a un incremento en la síntesis de proteína celular total (Anderson et al., 1990) o a la reducción de la proteólisis (Kretchmar et al., 1989; Dawson et al., 1991).

El tratamiento con compuestos AA β provoca hipertrofia muscular, pero cada músculo responde de acuerdo a la proporción de fibras musculares que posee (Mersmann, 1998; Beermann, 2002), además de una disminución en la actividad de enzimas proteolíticas y/o un incremento en la concentración de factores inhibidores de proteasas. Mersmann (1995) por su parte concluye que los mecanismos operativos sobre la hipertrofia muscular probablemente dependen de la especie, la raza, el agonista utilizado y el estatus nutricional del animal.

El otro efecto obvio de los agonistas RA- β es una disminución de la grasa corporal de la canal. Estos agonistas estimulan claramente la degradación de los triglicéridos adipocíticos e inhiben la síntesis de ácidos grasos y triacilglicerol en células in vitro o explantes tisulares de varias especies. Sin embargo, con agonistas específicos y adipocitos de una especie en particular, a veces se reportaron experimentos negativos (Mersmann, 1998). Sin embargo, los efectos en el tejido adiposo pueden no ser tan persistentes como los efectos del músculo esquelético. En estudios múltiples con cerdos alimentados con ractopamina, se ha observado reducción de la grasa de la canal (Watkins et al., 1990, Crome et al., 1996). Se sugiere que en el adiposito, los AA β activan el catabolismo de lípidos a través de la activación de la hormona lipasa sensible, por la PKA, que degrada triacilglicéridos en glicerol y ácidos grasos. Además, los AA β inhiben la síntesis de ácidos grasos y su esterificación en triacilglicéridos (Fain y Garcia-Sainz, 1983).

Otros mecanismos posibles de los agonistas RA- β es que pueden aumentar el flujo sanguíneo a ciertas regiones del cuerpo. Un aumento en el flujo sanguíneo al músculo esquelético puede mejorar el proceso de hipertrofia mediante el suministro de cantidades incrementadas de sustratos y fuentes de energía para la síntesis de proteínas. Del mismo modo, se podría prever un aumento del flujo sanguíneo al tejido adiposo para llevar ácidos grasos no esterificados fuera del tejido para mejorar el proceso de degradación de lípidos. Estos mecanismos podrían aumentar fácilmente los efectos más directos de los agonistas RA- β en la célula muscular y el adipocito. Mersmann (1987), menciona que el flujo sanguíneo

es probablemente aumentado a muchos órganos debido al incremento en la frecuencia cardíaca observada con un número de agonistas RA- β .

Mersmann (1998), menciona que los efectos de los agonistas RA- β no son tan pronunciados en pollos como lo son en ovejas; Los efectos en los cerdos son intermedios, y en los bovinos los efectos tienden a ser moderados como en los ovinos. Una posible razón para las diferencias de especies principales en respuesta a los agonistas RA- β , en algunas especies han sido intensamente seleccionadas para la tasa de crecimiento y tienen menos potencial para aumentar el crecimiento porque están más cerca de la tasa de crecimiento máximo biológico (por ejemplo pollos de engorde) (Mersmann, 1995; Mersmann, 1998). Otras especies (por ejemplo, ovinos) no han sido tan intensamente seleccionadas para la tasa de crecimiento y por lo tanto tienen más potencial para aumentar las tasas de crecimiento. Otra razón para las diferencias de especies es que un agonista RA- β particular puede no ser tan eficaz en una especie como en otra. Este tipo de respuesta disparada puede resultar porque un agonista dado puede no activar el tejido blanco RA- β tanto en una especie como en otra (Mersmann et al., 1998); Los posibles mecanismos incluyen afinidad agonista para el receptor o receptores, acoplamiento del complejo agonista-receptor al sistema de transducción de señales y factores que influyen en el modo de expresarse del compuesto a los sitios receptores (Minneman et al., 1979; Mersmann et al., 1998).

La respuesta a los AA β es afectada por duración, tipo, dosis, edad, sexo, raza, dieta (NRC, 1994; Moody et al., 2000), régimen de administración (See et al., 2004) y vía de administración (Smith y Paulson, 1994).

Clorhidrato de Zilpaterol en la producción ovina

Estudios realizados con clorhidrato de zilpaterol (CZ) mostraron que fue la mejor opción para rumiantes, lo cual coincide con los resultados de varios investigadores (Mohamandi et al., 2006; Dikeman, 2007; Nourozi et al., 2008; López-Carlos et al., 2010; López-Carlos et al., 2011) pese a esto, los estudios realizados en ovinos han mostrado efectos inconsistentes (Salem, 2013) o contradictorios en el desempeño animal (Salinas et al., 2004; Mondragón et al., 2010; López et al., 2011) y en las propiedades de la canal (Shackelford et al., 1992; Koohmaraie et al., 1996; Salinas et al., 2006; Mondragón et al., 2010).

Se sabe que los adrenérgicos agonistas β ($\text{AA}\beta$) aumentan la masa muscular y disminuyen la deposición de tejido adiposo en animales domesticados. Uno de los $\text{AA}\beta$ de importancia en la producción animal es la molécula de clorhidrato de zilpaterol (CZ) es fisiológicamente muy activa y actúa sobre los receptores β -2 en el tejido adiposo, el músculo liso y el músculo esquelético (O'Neill, 2001). En el ganado bovino, los estudios de unión sugieren que hay predominantemente $\text{RA-}\beta$ 2 en músculo esquelético y adipocitos (Sillence y Matthews, 1994), mientras que otros investigadores sugieren que hay aproximadamente 75% $\text{RA-}\beta$ 2 y 25% $\text{RA-}\beta$ 1 en adipocitos (Van Liefde et al., 1994). En ovinos, los estudios de unión competitivos indican predominantemente $\text{RA-}\beta$ 2 en adipocitos (Bowen et al., 1992). Por lo anterior, estudios con CZ han indicado que hay mayor respuesta en bovinos y ovinos, debido a una mayor cantidad de receptores de tipo $\text{RA-}\beta$ 2 presentes en ciertas células de tejidos de estas especies. Como consecuencia de la variación en la estructura y distribución

del subtipo de receptor a través de los tejidos y especies, tendrá una multitud de efectos fisiológicos que son controlados por RA- β de los diferentes agonista administrados.

Efecto en características de la canal

El aumento en el peso y rendimiento de la canal son de esperarse a consecuencia de la suplementación con AA β (Moody et al., 2000). Sin embargo, la magnitud de la respuesta varía mucho entre los AA β utilizados y está influenciada por la edad, especie, sexo, dieta y raza, entre otros factores (Mersmann, 1998). Diferentes estudios en ovinos suplementados con CZ han mostrado efectos positivos en parámetros productivos como las características de la canal.

Ríos-Rincón et al. (2010), reportaron aumentos en el peso de la canal, rendimiento de la canal y reducción en grasa renal, pélvica y cardiaca (KPH) por la suplementación de CZ durante los últimos 30 d de engorda. En un estudio de López-Carlos et al. (2010) se reportó un aumento en el rendimiento de la canal caliente y la canal fría en corderos Rambouillet suplementados con 0.3 mg de CZ/Kg de MS. Otros estudios como Macías-Cruz et al. (2010) y Avendaño-Reyes et al. (2011) indicaron que las variable peso de la canal caliente y fría, rendimiento de la canal, conformación y área de ojo de costilla fueron mayores para ovinos de pelo suplementados con 10 mg ZH/d en comparación con el grupo no suplementado con CZ durante los últimos 32 d de engorda. La mejora del peso de la canal y del porcentaje de adición del apósito se atribuye a un aumento en la síntesis de proteínas y a una disminución en la degradación de la proteína y en

consecuencia a la estimulación de la hipertrofia del músculo esquelético por la utilización de AA β , como respuesta específica a la suplementación con AA β (Moody et al., 2000; Dikeman, 2007).

Sin embargo, se han observado diferencias en las respuestas a la administración de AA β , al suplementar CZ en ovinos (Estrada-Angulo et al., 2008; Robles-Estrada et al., 2009; Montgomery et al., 2009), donde las variables de características de la canal fueron inconsistentes. La ausencia de respuesta al administrar CZ sobre las características de la canal en corderos, observada en los estudios de Félix et al. (2005) y Aguilera-Soto et al. (2008), probablemente pudo deberse al largo periodo de administración (ocho semanas), lo cual sería atribuible a una desensibilización o disminución en el número de receptores β -adrenérgicos producido por la administración crónica de AA β (Mersmann, 1998; Mills, 2002).

Efecto en cortes primarios

Los agonistas β -adrenérgicos se usan comúnmente en la producción animal para mejorar la producción de carne y disminuir el contenido de grasa del cuerpo. También, se ha observado que los agonistas β -adrenérgicos normalmente mejoran el rendimiento del crecimiento (Dikeman, 2007). Sin embargo, el efecto del CZ sobre el rendimiento de cortes primarios de corderos ha sido controversial hasta el momento. Mientras que algunos estudios han reportado tanto efectos benéficos y negativos (Dávila-Ramírez et al., 2014) de este AA β -2 para mejorar el rendimiento de algunos cortes, otros no han reportado efecto alguno (Dávila-Ramírez et al., 2015; Macías-Cruz et al., 2016; Rojo-Rubio et al., 2017). Sin

embargo, Dikeman (2007) encontró que las hembras suplementadas con CZ habían mejorado los porcentajes de los cuartos traseros, piernas y costillas en comparación con el grupo testigo, lo que se debe a un aumento de la masa muscular a través de la hipertrofia y a una reducida degradación de la proteína muscular. Similares resultados fueron encontrados por Plascencia et al. (2008), quienes mencionan haber encontrado un aumento en el porcentaje de la pierna y del cuarto trasero y disminuyó el porcentaje de hombro y cuello en los bovinos suplementados con CZ. Esto se puede a que los AA β aumentan 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 un estudio donde se utilizó CZ vs CR llegaron a la conclusión de que el rendimiento del crecimiento aumentó al suplementar AA- β en los corderos como resultado de una mayor acumulación muscular y reducción de la grasa corporal. Por tanto, se recomendó usar como aditivo para alimentación el compuesto AA- β clorhidrato de zilpaterol, ya que produjo una mayor respuesta en los corderos de engorde intensiva que el compuesto AA- β clorhidrato de ractopamina (López-Carlos et al., 2010; López-Carlos et al., 2011).

Efecto en la calidad de la carne

Aunque los agonistas adrenérgicos- β han demostrado que aumentan el rendimiento del ganado, algunos pueden tener un impacto negativo en la calidad de la carne, sobre todo en la terneza y marmoleo (Dikeman, 2007). Holmer et al. (2009) observaron que la suplementación en ganado de engorda con CZ por 30 o 40 d antes del sacrificio aumentó la resistencia al corte. En ovinos, los AA β modifican la terneza, 10.9 vs 8.2 kg por cm² (Koochmaraie et al., 1996), posiblemente porque en músculo hay mayor degradación proteica en los primeros 20 días postmortem; esto se debe a la actividad de las enzimas calpastatinas que inhiben a las proteasas, lo que a su vez impide la degradación de las proteínas musculares, dando como resultado una carne menos suave.

Un estudio con Zilpaterol mostró no tener efectos negativos sobre la calidad de la carne cuando se suplemento durante 15 o 30 d, pero al alimentarlo durante 45 d hasta 48 h (h) antes del sacrificio observo que dio como resultado una menor sensibilidad sensorial y jugosidad del músculo *longissimus*, la fuerza de corte del músculo también fue afectado negativamente (Strydom et al., 1999). Esto puede deberse a que el RA- β puede ser eliminado de la membrana plasmática durante condiciones de estimulación crónica para disminuir la respuesta mediante una reducción en el RA- β disponible (Ostrowski et al., 1992, Schwinn et al., 1992, Strosberg, 1992, Kobilka y Hoffman, 1995).

Sin embargo, Avendaño-Reyes et al. (2006) no encontraron diferencias en la CRA, la pérdida por goteo, o el pH en bovinos de engorda suplementados con

CR y CZ. Fiems et al. (1990) administraron cimaterol a bovinos de la raza Charolais y Belga Azul de doble músculo, observando que el tratamiento con este AA β no afectó el pH de la carne, el color, o la CRA.

Tiempo de suplementación de Clorhidrato de Zilpaterol

La respuesta de crecimiento a la administración de AA β comúnmente se reduce a menudo con el tiempo (Dunshea et al., 1993; Moody et al., 2000; Abney et al., 2007; Aguilera-Soto et al., 2008) lo cual es posiblemente un resultado de la desensibilización de los RA- β después de la exposición continua crónica al AA β (Dunshea et al., 1998). La modificación en la dosificación de los AA β durante el período de alimentación se probó previamente como un método útil para compensar la respuesta reducida en ratas (Kim et al., 1995) y corderos (López-Carlos et al., 2012).

La administración oral continua de zilpaterol durante 45 días indicó efectos negativos sobre las características de la carne (Strydom et al., 1998; Shook et al., 2009). Estudios con AA- β oralmente activos tienden a ser más eficaces a 5-30 partes por millón (ppm) de alimento, cuando se alimentan por períodos cortos de tiempo (28-42 d) cerca del período de finalización. Sin embargo, la respuesta disminuye con el tiempo, por lo que su uso requiere una planificación cuidadosa para determinar el período óptimo de suplementación.

La mayoría de los estudios reportados se realizan con la administración de dosis constantes de AA- β durante un tiempo establecido para todos los tratamientos, sin embargo, la administración de AA- β ejerce su mayor efecto

después de las 72 h iniciales hasta las primeras 2 semanas de tratamiento en el ganado ovino, con la subsecuente reducción progresiva en la respuesta en las siguientes semanas (Pringle et al., 1993; Aguilera-Soto et al., 2008); esto se ha atribuido a una desensibilización temporal ocasionada por una disminución en el número de receptores β -adrenérgicos (Mills, 2002).

(López-Carlos et al., 2011) menciona que el incremento gradual de la dosis de CR y CZ durante los últimos 30 d antes del sacrificio, mejora los parámetros productivos de corderos Dorper x Katahdinen en finalización. Además, a dosis constantes o en dosis crecientes, mejoran las características de la canal, sin efectos desfavorables en las características del músculo o de la grasa de la canal, y sin afectar los niveles séricos de metabolitos indicadores del estado proteico y energético. Vahedi et al. (2014) reportaron que la suplementación de CZ diariamente durante 28 o 42 días antes del sacrificio, así como durante 42 días en días alternos mejora la eficiencia de la alimentación y algunas características de la canal en corderos Lori-Bakhtiari. Vahedi et al. (2014b) reportaron que la suplementación de CZ diariamente durante 42 d aumentó el valor de la fuerza de corte y la ternura de la carne, mientras que las otras características de la carne no se vieron afectados por los tratamientos en corderos Lori Bakhtiari.

La administración crónica de agonistas RA- β aumentan las hormonas tiroideas en el plasma en las ovejas (Beermann et al., 1987), pero no en el ganado bovino (Zimmerli y Blum, 1990). Específicamente se ha observado que para el zilpaterol, las concentraciones plasmáticas se incrementan rápidamente en los

primeros 2 d y las concentraciones máximas se alcanzan entre los 10 y 30 d de tratamiento (Birkelo, 2003).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El experimento se llevó a cabo en el área experimental de pequeños rumiantes del Instituto de Investigaciones de Ciencias Veterinarias (IICV), de la Universidad Autónoma de Baja California, localizada al sur de la ciudad de Mexicali, Baja California, México. El clima en esta región es árido seco con temperaturas extremas, tanto en la época de invierno como en verano (0°C hasta 50°C), y la precipitaciones media anual es 80 mm.

Trato de los animales experimentales

Los procedimientos y manejo de los animales se realizaron en base a las indicaciones señaladas en las siguientes Normas Mexicanas para el cuidado y manejo de los animales: NOM-051-ZOO-1995 (la atención humanitaria hacia los animales durante la movilización), NOM-024-ZOO-1995 (disposiciones de sanidad animal y características durante el transporte de animales), NOM-033-ZOO-1995 (el sacrificio humanitario de animales domésticos y silvestres) y NOM-EM-015-ZOO-2002 (disposiciones técnicas para el control del uso de los beta agonistas en animales).

Animales y manejo pre-experimental

Se utilizaron 40 corderos machos de la cruce Dorper x Kathadin, los cuales tenían un peso vivo de 34.6 ± 2.4 kg y una edad de 4 meses al inicio del experimento. El estudio tuvo una duración de 52 días, de los cuales 20 días fueron

para adaptación y 32 días de periodo experimental. Durante el periodo de adaptación, todos los corderos fueron desparasitados (Ivermectina; Sanfer Laboratorio, Ciudad de México; 0.5 ml/animal), vitaminados (Vigantol ADE Fuerte; Bayer, Ciudad de México, México; 1 ml /animal), alojados en corraletas individuales y adaptados a la dieta base (Cuadro 1). Las corraletas individuales medían 1.2 m de ancho x 2.0 m de largo, y cada una estaban equipadas con bebedero, comedero y sombra.

Cuadro 1. Ingredientes y composición química de las dietas.

	Tratamientos ¹			
	Testigo	Z10	Z20	Z30
Ingredientes, %				
Maíz hojuela	46.00	46.00	46.00	46.00
Heno de alfalfa	26.50	26.50	26.50	26.50
DDGs ²	20.00	20.00	20.00	20.00
Melaza	6.00	6.00	6.00	6.00
CZ, mg/animal/d ³	0.00	10.00	10.00	10.00
Minerales	1.50	1.50	1.50	1.50
Análisis de composición nutrimental, % en base a Materia Seca				
Materia Seca	88.96	88.96	88.96	88.96
EM (Mcal/kg)	2.98	2.98	2.98	2.98
Extracto etéreo	4.89	4.89	4.89	4.89
Proteína cruda	15.78	15.78	15.78	15.78
Fibra detergente neutra	12.48	12.48	12.48	12.48
Fibra detergente ácida	4.84	4.84	4.84	4.84
Ca	0.85	0.85	0.85	0.85
P	0.68	0.68	0.68	0.68

¹Los tratamientos consistieron en: 1) Testigo = Sin Clorhidrato de Zilpaterol (Z0); 2) Z10 = Suplementación de Clorhidrato de Zilpaterol los últimos 10 d de finalización; 3) Z20 = Suplementación de Clorhidrato de Zilpaterol los últimos 20 d de finalización; 4) Z30 = Suplementación de Clorhidrato de Zilpaterol los últimos 30 d de finalización.

²DDGs = Granos de destilería secos de maíz con solubles.

³CZ = Clorhidrato de Zilpaterol (CZ; Zilmax, Intervet/Schering-Plough, México).

Diseño experimental, tratamientos y sacrificio

Los corderos fueron pesados individualmente el primer día del periodo experimental para asignarlos bajo un diseño de bloques completamente al azar a los tratamientos. El peso vivo fue usado como factor de bloqueo, por lo cual inicialmente se hicieron grupos (bloques) de cuatro corderos de similar peso (10 bloques), y los corderos de cada grupo fueron asignados aleatoriamente a uno de cuatro tratamientos (n=10). Los tratamientos consistieron en suplementar a los corderos con 10 mg/d de clorhidrato de zilpaterol (Zilmax, Intervet/Schering-Plough, México) durante los últimos 0 (Z0, testigo), 10 (Z10), 20 (Z20) y 30 (Z30) días del periodo de finalización de engorda. Durante los 30 días del periodo experimental, independientemente del tratamiento, los corderos fueron alimentados con misma dieta (dieta base). Diariamente se alimentaron los animales por la mañana (700 h) y por la tarde (1500 h) en una proporción 40:60 del total de la porción de la dieta por día. El agua se ofreció *ad libitum* y el estado de salud se verificó visualmente todos los días. Muestras de alimento fueron colectadas para ser secadas en la estufa y determinar su composición química en el laboratorio de nutrición animal del IICV-UABC.

Los animales fueron pesados (peso al sacrificio) y sacrificados por el método de degüelle sin previa insensibilización 48 h después de que finalizó el periodo experimental. El sacrificio se realizó en el Taller de Carnes del Instituto de Ciencias Agrícolas-UABC.

Proporción de componentes corporales

Al momento del degüello, la sangre se colectó en bolsas de plástico para registrar su peso; posteriormente, se retiró del cuerpo del animal la cabeza, las patas, los testículos y la piel para obtener su peso. Inmediatamente después, el cuerpo fue cortado a través de la línea media ventral para retirar y pesar el tracto gastrointestinal lleno (TG), los órganos (pulmones, hígado, bazo, corazón, riñones) y los diferentes tipos de grasas (corazón-riñonal-pélvica (KPH), omental y mesentérica) en forma individual. Después de pesar el TG, éste fue vaciado y limpiado para obtener su peso vacío (TGV).

Con excepción de peso de grasa KPH, todos los pesos de órganos y vísceras fueron expresados como porcentaje del peso al sacrificio ajustado, el cual se calculó multiplicando el peso al sacrificio por 0.04. El peso de grasa KPH se expresó como porcentaje del peso de canal caliente (PCC).

Características de la canal

Una vez retirados órganos y vísceras, las canales fueron pesadas para registrar PCC y calcular rendimiento en canal expresando el PCC como porcentaje del peso al sacrificio ajustado. Posteriormente, las canales se refrigeraron a 4°C por 24 h para obtener el peso de la canal fría (PCF), el grado de conformación aplicando la escala de 8 puntos (1= pobre y 8= excelente) propuesta por Smith et al. (2001), la longitud de la canal, el perímetro del cuello, la profundidad del torax, y la longitud y perímetro de pierna. Enseguida, las canales fueron cortadas a lo largo de la línea media dorsal para registrar el peso de la media canal derecha, la

cual fue cortada transversalmente en el espacio intercostal generado entre la 12va y 13va costilla para evaluar y registrar área del ojo de la costilla (AOC) y espesor de grasa dorsal. El AOC se dibujó en acetato y después fue cuantificada con ayuda de un medidor de área foliar de bancada (LI-3100C Area Meter, LI-COR Bioscience, Lincoln, USA). El espesor de grasa dorsal se midió usando una regla de acero inoxidable que fue colocada perpendicularmente sobre la 12va costilla, a dos tercios hacia fuera de la línea media dorsal (USDA, 1992).

Rendimiento de cortes primarios

Las medias canales derechas fueron seccionadas en cortes primarios basado en la metodología indicada por Avendaño-Reyes et al. (2011) (cuello, paleta, costillar, lomo, faldilla y pierna), y el peso de cada corte se registró. Los rendimientos de cada corte fueron calculados expresando el peso de cada uno de ellos como porcentaje del peso de la canal.

Calidad de la carne

La calidad de la carne se evaluó en el músculo *Longissimus dorsi* (LD). El pH a los 45 min y 24 h *post-mortem* se midieron directamente en la canal sobre el área del musculo LD. Posteriormente, el musculo LD fue extraído, empacado al vacío y almacenado en un congelador a una temperatura de 4 °C durante un periodo de maduración de 14 d para finalmente registrar nuevamente pH, así como esfuerzo de corte y parámetros de color.

El pH a los 45 min y 24 h *post-mortem* se determinó con un medidor portátil de pH (H160G, HACH, CA, USA) provisto de un electrodo de penetración directa

en el músculo (PHW57-SS, HACH, CA, USA). El pH a los 14 días post-mortem se determinó con un potenciometro para líquidos (Sension+ Ph, HACH, CA, USA), en una muestra de 5 g de carne licuada con 90 mL de agua destilada durante 1 min. Para evaluar color, un equipo de colorimetría (Serie SP60, X-rite, Michigan, USA) se colocó directamente sobre el musculo LD para registrar los valores de los índices de luminosidad (L^*), rojo (a^*) y amarillo (b^*). En el caso de medición de esfuerzo de corte, dos cortes de músculo LD fueron cocinados en una plancha eléctrica hasta que alcanzaron una temperatura interna promedio de 70° C. Dicha temperatura interna se estuvo monitoreando con un termómetro de penetración. Posteriormente, los cortes de carne se dejaron enfriar hasta una temperatura de 30°C para después ser cortado tres cubos de 1 cm³. Cada cubo fue colocado en el equipo Warner-Bratzler (Salter 235, Manhattan, KS, USA) acomodando la dirección de las fibras en forma perpendicularmente a la dirección de la cuchilla. El valor de esfuerzo de corte registrado al final fue el obtenido del promedio de los tres cubos.

Análisis estadístico

Todos los datos se sometieron a un análisis de varianza bajo un diseño de bloques completamente al azar, donde el factor de bloqueo fue el peso vivo inicial. Se consideró la corraleta como la unidad experimental y el tratamiento dentro del bloque como efecto aleatorio. Las medias fueron analizadas a través de polinomios ortogonales declarando significancia a $P \leq 0.05$ y tendencias cuando $0.05 < P \leq 0.10$. Los datos se analizaron con el Procedimiento MIXED del programa estadístico SAS (2002).

RESULTADOS

Características de la canal

El Cuadro 2 muestra los resultados de efecto de tiempo de suplementación de CZ sobre características de canal en corderos de finalización. El peso al sacrificio, el peso de canal caliente y fría y el área del ojo de la costilla aumentaron linealmente ($P<0.05$) como el tiempo de suplementación de CZ aumentó de 0 a 30 d.

Cuadro 2. Efecto del tiempo de suplementación con clorhidrato de zilpaterol (CZ) en corderos finalizados en corral sobre características de la canal.

Variables	Tratamientos ¹					Contrastes ²		
	Z0	Z10	Z20	Z30	E.E	L	Q	C
Peso al sacrificio, kg	39.39	40.92	40.91	41.73	0.95			
Peso de canal caliente, kg	23.16	24.62	24.87	25.24	1.44	0.00	0.16	0.44
Peso de canal fría, kg	18.57	20.12	20.41	20.61	1.42	0.00	0.07	0.47
Rendimiento en canal, %	59.07	60.29	60.93	60.64	0.79	0.11	0.32	0.92
Conformación	5.90	6.10	5.70	5.90	0.40	0.61	1.00	0.13
AOC ³ , cm ²	6.83	7.19	7.59	8.06	0.47	0.05	0.90	0.98
Grasa KPH ⁴ , %	1.99	2.14	2.02	1.86	0.31	0.52	0.39	0.77
Espesor de grasa dorsal, mm	3.4	4.4	2.3	4.8	0.14	0.62	0.40	0.11
Longitud de la canal, cm	59.25	60.10	58.30	60.70	1.69	0.63	0.52	0.20
Profundidad del tórax, cm	33.02	33.43	32.25	33.35	0.76	0.93	0.54	0.11
Longitud de la pierna, cm	29.60	29.85	28.65	30.50	1.01	0.67	0.31	0.20
Perímetro de la pierna, cm	45.75	46.75	46.55	46.85	1.65	0.49	0.72	0.70
Perímetro del cuello, cm	33.60	34.20	34.00	33.55	1.24	0.93	0.57	0.89

¹Los tratamientos consistieron en la suplementación de CZ durante los últimos 0 (Z0= testigo), 10 (Z10), 20 (Z20) y 30 (Z30) d de finalización.

²Probabilidades de los efectos lineal (L), cuadrático (Q) y cubico (C) debido a los tratamientos.

³AOC = Área del ojo de la costilla.

⁴KPH = Riñón, pelvis y corazón.

El resto de las variables de la canal (rendimiento en canal, conformación, deposición de grasa, longitud de la canal, profundidad del torax, perímetro y longitud de la pierna, y perímetro del cuello) no fueron afectadas ($P>0.05$) por el tiempo de suplementación de CZ.

Órganos y vísceras

El Cuadro 3 muestra los resultados de efecto de tiempo de suplementación de CZ sobre los pesos de órganos y vísceras expresados como porcentaje del peso al sacrificio en corderos de finalización. Mientras que el porcentaje de testículos mostró un efecto cuadrático ($P<0.05$), el porcentaje de tracto gastrointestinal lleno tuvo un efecto cúbico ($P<0.05$) como el periodo de suplementación de CZ aumentó de 0 a 30 d. El mayor porcentaje de testículo se observó cuando los corderos se suplementaron durante 10 y 20 d (1.13 ± 0.06 %), pero el porcentaje de tracto gastrointestinal lleno fue mayor cuando CZ no fue suplementado (21.61 ± 1.51 %). Asimismo, se observó una disminución lineal ($P<0.05$) en el porcentaje de patas y grasa omental con el aumento en el número de días de suplementación de CZ.

Los porcentajes de riñones ($P=0.08$) y grasa mesentérica ($P=0.10$) tendieron a disminuir con el aumento en el tiempo de suplementación de CZ. En el caso de porcentaje de piel, también se observó una tendencia ($P=0.07$) a presentarse un efecto cuadrático como los días de suplementación de CZ cambiaron de 0 a 30 d. El porcentaje de piel fue mayor con Z0 y menor con Z10.

Finalmente, no se encontraron diferencias ($P>0.05$) en el resto de los órganos y vísceras por el tiempo de suplementación de CZ.

Rendimiento de cortes primarios

El Cuadro 4 muestra los resultados de efecto de tiempo de suplementación de CZ sobre el rendimiento de cortes primarios en corderos de finalización.

Cuadro 3. Efecto del tiempo de suplementación con clorhidrato de zilpaterol de corderos finalizados en corral sobre los pesos de órganos y vísceras expresados en porcentaje del peso al sacrificio.

Variables ³ , %	Tratamientos ¹				E.E	Contrastes ²		
	Z0	Z10	Z20	Z30		L	Q	C
Corazón	0.44	0.43	0.43	0.42	0.01	0.43	0.74	0.89
Hígado	2.22	1.99	2.14	2.11	0.07	0.64	0.18	0.11
Bazo	0.16	0.17	0.17	0.16	0.01	0.71	0.44	0.96
Riñón	0.37	0.30	0.30	0.30	0.02	0.08	0.24	0.42
Pulmón	1.30	1.23	1.27	1.20	0.06	0.17	0.93	0.24
Sangre	4.31	4.49	4.38	4.37	0.11	0.85	0.38	0.39
Testículos	0.98	1.13	1.13	1.01	0.06	0.78	0.02	0.87
Cabeza	5.42	4.83	5.41	5.32	0.29	0.79	0.32	0.11
Piel	9.56	8.93	9.05	9.13	0.19	0.18	0.07	0.36
Patás	2.33	2.25	2.24	2.15	0.06	0.00	0.82	0.35
TG ⁴	21.61	16.08	20.66	21.40	1.51	0.56	0.04	0.04
TGV ⁴	6.24	6.18	6.52	6.55	0.24	0.22	0.84	0.49
Grasa omental	2.17	1.90	1.71	1.68	0.21	0.00	0.35	0.86
Grasa mesentérica	3.71	3.58	3.45	3.19	0.38	0.10	0.76	0.89

¹Los tratamientos consistieron en la suplementación de CZ durante los últimos 0 (Z0= testigo), 10 (Z10), 20 (Z20) y 30 (Z30) d de finalización.

²Probabilidades de los efectos lineal (L), cuadrático (Q) y cubico (C) debido a los tratamientos.

³Los pesos de órganos y vísceras fueron expresados como porcentaje del peso al sacrificio.

⁴TG = Tracto gastrointestinal; TGV = Tracto gastrointestinal vacío

El rendimiento de algunos cortes primarios, como lomo y pierna, aumentaron linealmente ($P<0.05$), mientras que el rendimiento de paleta disminuyó linealmente ($P<0.05$), como el tiempo de suplementación cambió de 0 a 30 d. El rendimiento de cuello, costillas y faldilla no fueron afectadas ($P>0.05$) por el tiempo de suplementación con CZ.

Calidad de la carne

El Cuadro 5 muestra los resultados de efecto de tiempo de suplementación de CZ sobre la calidad de la carne de corderos en finalización. El pH *post mortem* a los 45 min y 24 h en el músculo *Longissimus dorsi* no fueron afectadas ($P>0.05$) por el tiempo de suplementación de CZ. Sin embargo, el pH a los 14 d tendió a presentar un efecto cuadrático como el tiempo de suplementación de CZ aumentó de 0 a 30 d. Los rasgos de color (L^* , a^* y b^*) disminuyeron y el esfuerzo de corte aumentó en forma lineal ($P<0.05$) con el aumento en el tiempo de suplementación de CZ.

Cuadro 4. Efecto del tiempo de suplementación con clorhidrato de zilpaterol de corderos finalizados en corral sobre el rendimiento de cortes primarios.

Variables ³ , %	Tratamientos ¹				E.E	Contrastes ²		
	Z0	Z10	Z20	Z30		L	Q	C
Cuello	4.97	4.45	4.70	4.49	0.22	0.24	0.48	0.22
Paleta	35.8	34.6	34.1	33.9	0.36	0.00	0.13	0.79
	7	0	0	4				
Costillar	7.68	7.67	7.80	7.91	0.20	0.36	0.76	0.84
Lomo	14.9	15.9	15.8	15.8	0.38	0.05	0.07	0.41
	4	4	8	2				
Faldilla	4.47	4.58	4.59	4.59	0.19	0.69	0.79	0.91
Pierna	32.0	32.7	32.9	33.2	0.39	0.02	0.58	0.67
	4	4	1	2				

¹Los tratamientos consistieron en la suplementación de CZ durante los últimos 0 (Z0= testigo), 10 (Z10), 20 (Z20) y 30 (Z30) d de finalización.

²Probabilidades de los efectos lineal (L), cuadrático (Q) y cubico (C) debido a los tratamientos.

³Los pesos de cada corte primerio fueron expresados como porcentaje del peso de la media canal.

Cuadro 5. Efecto del tiempo de suplementación con clorhidrato de zilpaterol de corderos finalizados en corral sobre calidad de la carne del musculo *Longissimus dorsi*.

	Tratamientos ¹					Contrastes ²		
Variables	Z0	Z10	Z20	Z30	E.E	L	Q	C
pH <i>postmortem</i>								
45 min	6.80	6.73	6.60	6.89	0.12	0.82	0.15	0.37
24 h	6.51	6.50	6.49	6.53	0.02	0.59	0.27	0.55
14 d	5.90	6.04	6.05	5.95	0.07	0.60	0.09	0.90
Color ³								
<i>L</i> [*]	42.18	40.28	40.06	39.18	0.99	0.05	0.11	0.75
<i>a</i> [*]	19.64	18.0	16.69	16.52	0.47	<0.01	0.15	0.57
<i>b</i> [*]	10.45	9.54	8.15	7.96	0.44	<0.01	0.22	0.22
Fuerza de Corte	1.33	1.46	1.58	2.17	0.19	<0.01	0.21	0.55

¹Los tratamientos consistieron en la suplementación de CZ durante los últimos 0 (Z0= testigo), 10 (Z10), 20 (Z20) y 30 (Z30) d de finalización.

²Probabilidades de los efectos lineal (L), cuadrático (Q) y cubico (C) debido a los tratamientos.

³*L** = Luminosidad; *a** = Tendencia al rojo; *b** = Tendencia al amarillo

DISCUSIÓN

Características de la canal

En el presente estudio se observó que la suplementación con CZ en los corderos machos de finalización mejoró algunas características de la canal de importancia económica, tales como pesos de las canales y AOC. Similares resultados han sido reportados en otros estudios donde adicionaron zilpaterol a la dieta de finalización durante los últimos 30 días antes del sacrificio en corderas (Macías-Cruz *et al.*, 2010; Avendaño-Reyes *et al.*, 2011; Dávila-Ramírez *et al.*, 2015) y corderos (Ríos Rincón *et al.*, 2010; Mondragón *et al.*, 2010; Dávila-Ramírez *et al.*, 2014; Rojo-Rubio *et al.*, 2017) de raza de pelo. En ganado de carne, también se ha reportado efectos favorables de la suplementación con CZ sobre las características de la canal (Holland *et al.*, 2010; Baxa *et al.*, 2010). Estos resultados benéficos se atribuyeron a que los agonistas adrenérgicos β -2 (AA β -2), como el CZ, producen un mayor desarrollo muscular debido a que funcionan como redistribuidores de nutrientes para incrementar la síntesis de proteína (Mersmman, 1998). Además, el CZ ha demostrado promover el crecimiento del tejido muscular por incrementar la hipertrofia de las fibras musculares, el cambio en la frecuencia del tipo de fibra muscular y la tasa diferencial del ARN y el ADN del músculo (Beermann, 2002).

Adicionalmente, los resultados mostraron que el peso de las canales y el AOC van incrementando como el tiempo de suplementación con CZ antes del sacrificio también aumenta, siendo óptimo ofrecer el CZ durante 30 días en lugar

periodos más cortos (10 o 20 días). Este hallazgo se contrapone con lo esperado, ya que la literatura indica que los mayores beneficios del uso de los AA β -2 para depositar músculo se tienen en las primera dos semanas en el ganado, y después, dichos efectos tienden a reducirse (Mersmaan, 1998; Beermann, 2002). La saturación de receptores y la desensibilización de los mismos han mostrado ser los responsables de este efecto (Beermann, 2002). Probablemente, el efecto del CZ puede variar entre especies, y este estudio se realizó en ovinos machos mientras que en bovinos de carne es donde evidenciaron un mayor efecto de los AA β -2 en un corto plazo. Por lo tanto, los resultados de características de canal de este estudio sugieren que los corderos machos deben ser suplementados con CZ durante 30 días seguido de dos días de retiro para tener máximos beneficios en el peso de las canales y formación de músculo, esto último basado en el resultados de AOC.

En coincidencia con el efecto lineal positivo encontrado para PCC, PCF y AOC como consecuencia del aumento del tiempo de suplementación con CZ, López-Carlos et al. (2011) también reportaron en corderos de pelo un aumento en el PCC y rendimiento en canal como la suplementación de CZ se realizó a través de 0, 14, 28 y 42 días antes de sacrificio. Por su parte, Vahedi et al. (2014) observaron que es mejor ofrecer 42 días de zilpaterol que solo 28 días a corderos Lori-Bakhtiari para aumentar el PCC, el PCF y el rendimiento en canal. No obstante, en estos estudios (López-Carlos et al., 2011; Vahedi et al., 2014) y en otro realizado por Salinas-Chavira et al. (2006), donde probó 0, 20 y 30 días de suplementación de CZ a corderos Pelibuey, no han encontrado un efecto de

tiempo de suplementación sobre el AOC. Factores genéticos y ambientales podrían ser causantes de las discrepancias entre los resultados de AOC observados en este trabajo y los previamente encontrados en otros.

La deposición de grasa interna (grasa KPH) y de cobertura (espesor de grasa dorsal) no fueron afectados por el tiempo de suplementación de CZ, mientras que en estudios previos han indicado una disminución (Salinas-Chavira et al., 2006; Vahedi et al., 2014) o un aumento (López-Carlos et al., 2011) en las grasas de la canal de corderos como el tiempo de suplementación aumenta. Aunque en congruencia con los resultados de grasa de este trabajo, otros estudios tampoco encontraron diferencias en la deposición de grasa en canal cuando compararon corderos suplementados o no con CZ (Avendaño et al., 2011; Macías-Cruz et al., 2013; Dávila-Ramírez et al., 2015). Robles-Estrada et al. (2009) y Ríos-Rincón et al. (2010) indicaron que suplementación de CZ a corderos de pelo reduce la deposición de grasa KPH pero no la grasa de cobertura. Leheska et al. (2009) menciona que CZ funciona alterando positivamente la deposición de proteína en músculo con una afectación mínima sobre tejido graso; esto podría explicar los resultados de grasa encontrados en el presente estudio.

La conformación y medidas zoométricas de las canales tampoco fueron afectadas por tiempo de suplementación con CZ. No se encontraron reportes previos al respecto, donde los tratamientos fueran tiempo de suplementación del agonista adrenérgico. Sin embargo, recientemente Dávila-Ramírez et al. (2015), Partida et al. (2015), Macías-Cruz et al. (2016) y Rojo-Rubio et al. (2017) encontraron que suplementación de CZ no alteró conformación, largo de canal,

profundidad de torax y mediciones de pierna en corderos cruzados de raza de pelo.

Órganos y vísceras

El tiempo de suplementación con CZ a corderos en etapa de finalización afectó solamente algunos pesos de órganos y despojos (testículos, patas, piel, tracto gastrointestinal lleno y riñones) expresados como porcentaje del peso al sacrificio. Así, con excepción de testículos, el peso de esos órganos y despojos disminuyeron a medida que el periodo de suplementación fue mayor. Estudios previos en bovinos (Montgomery et al. 2009) y cerdos (Hansen et al., 1994; Sharma et al., 1997) mencionan que los AA β -2 favorecen la redirección de nutrientes de masa visceral y de órganos hacia la formación de tejido de canal; además, los nutrientes consumidos por los animales alimentados con AA β -2 son mayormente dirigidos a la formación de músculo que a la deposición de grasa y crecimiento de órganos y vísceras. En consecuencia, dado que el PCC y el AOC aumentó pero el peso de algunos órganos y despojos disminuyó a mayor tiempo de suplementación (30 d) en este estudio, es probable que se presentó una movilización de tejido de esos órganos y despojos para la formación de tejido de canal. Además, los resultados sugieren que alimentar a los corderos con CZ durante periodo más prolongados favorece una mayor efectividad de este mecanismo de acción para mejorar el tejido de canal.

Interesantemente, mientras que la grasa KPH y de cobertura de canal no fueron afectados por tiempo de suplementación con CZ, las grasas viscerales

(omental y mesentérica) disminuyeron con aumento en el tiempo de suplementación del agonista. Esto sugiere que, al igual que en ganado de carne (Beermann, 2002; Birkelo, 2003; Verhoeckx et al., 2005), el CZ en corderos mejora parcialmente la deposición de músculo en la canal debido a un efecto lipolítico. Aunque en la presente investigación, este efecto de lipólisis en corderos se limitó al tejido graso visceral y no a la grasa interna y de cobertura de la canal. Cabe mencionar que no se encontraron estudios previos donde hayan evaluado el efecto de CZ sobre deposición de grasa omental y mesentérica, y en su mayoría se limitan a la evaluación sobre grasa KPH y espesor de grasa dorsal. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que existen diferencias en la regulación del metabolismo de los lípidos entre una raza y otra (Nourozi et al., 2008).

El porcentaje de testículos fue mayor con la una suplementación de CZ de 10 y 20 días, y disminuyó cuando el CZ se ofreció por 30 días a un porcentaje similar a cuando no se ofreció el agonista (0.98 vs. 1.01 ± 0.06 %). No se tiene una explicación clara para este comportamiento en el peso testicular como el tiempo de suplementación aumentó. Sin embargo, Mersmann (1998) indican que los AA β aumentan el flujo sanguíneo testicular, situación que después de un tiempo provoca cambios en la temperatura del mismo y puede afectar negativamente el proceso de espermatogénesis. Por lo tanto, es posible que el CZ inicialmente mejorara el peso testicular debido a una mayor redirección de sangre hacia el testículo, pero esto pudo cambiar la temperatura testicular y disminuir la producción de espermatozoides, y por ende, el peso testicular a los 30 días post-suplementación del agonista. Se requieren hacer otros estudios en ovinos de pelo

para probar esta hipótesis, ya en un estudio realizado por Aguilera-Soto *et al.* (2008) observaron una disminución numérica en la cantidad de espermatozoides por efecto del CZ en corderos machos Rambouillet x Pelibuey. En congruencia parcial con los resultados del estudio, Rojo-Rubio *et al.* (2017) no encontró diferencias en el porcentaje testicular entre corderos testigo y suplementados con CZ durante 30 días. Por su parte, Odore (2007) encontró testículos más ligeros cuando administraron AA β en becerros de engorda.

Por otra parte, la mayoría de los pesos de los órganos expresados como porcentaje del peso al sacrificio no fueron afectados por el tiempo de suplementación con CZ a los corderos, lo cual es consistente con los resultados de otros estudios hechos en ovinos (Macías-Cruz *et al.*, 2010; Ríos Rincón *et al.*, 2010; Mondragón *et al.*, 2010; Avendaño-Reyes *et al.* 2011; Dávila-Ramírez *et al.*, 2014). Similarmente, Holland *et al.* (2010) no reportaron ningún efecto del CZ sobre los órganos y vísceras en los novillos de carne. Reeds y Mersmann (1991) encontraron que los receptores AA β 2 están distribuidos principalmente en el músculo esquelético mientras que en el músculo liso la presencia de estos receptores es mínima, lo que explica la ausencia de efecto de CZ sobre la mayoría de órganos en el estudio.

Rendimiento de cortes primarios

El efecto del CZ sobre el rendimiento de cortes primarios de corderos ha sido controversial hasta el momento. Mientras que algunos estudios han reportado tanto efectos benéficos y negativos (Dávila-Ramírez *et al.*, 2014) de este AA β -2

para mejorar el rendimiento de algunos cortes, otros no han reportado efecto alguno (Dávila-Ramírez et al., 2015; Macías-Cruz et al., 2016; Rojo-Rubio et al., 2017). Diferentes factores han sido ligados con esta variación en los resultados de rendimiento de cortes primarios, entre los que destacan elevadas temperaturas (Macías-Cruz et al., 2010), disponibilidad de receptores adrenérgicos β -2 y distribución de fibras tipo II en cada corte (Mersmann, 1998). El presente estudio demuestra que el tiempo de suplementación de CZ también afecta los resultados de rendimiento de cortes primarios. Los rendimientos de pierna y lomo aumentaron mientras que el rendimiento de paleta disminuyó a medida que el CZ se ofreció por un mayor periodo en los corderos. La pierna y el lomo son dos de los cortes primarios de mayor valor económico, ya que de ellos se derivan otros cortes selectos muy apreciados en el mercado nacional e internacional. En este sentido, ofrecer CZ durante 30 días parece óptimo si los corderos de engorda son destinados a un mercado más específico de consumo de cortes de carne.

El hecho que el rendimiento de lomo y pierna aumentaran pero el rendimiento de paleta disminuyera como el tiempo de suplementación con CZ cambió de 0 a 30 días, sugiere que, en corderos de engorda, este AA β -2 mantiene una hipertrofia muscular focalizada en ciertos tejidos, y que no todos los receptores adrenérgicos β -2 del cuerpo sufren desensibilización con un mayor tiempo de exposición a los AA β -2, como estudios previos en ganado han señalado (Mersmann, 1998; Rathmann et al., 2009). El lomo y pierna de los corderos son caracterizadas por tener mayor abundancia de fibrillas musculares tipo II comparado con otros cortes, y estas fibrillas son muy sensibles a la estimulación

de AA β -2 debido a la gran cantidad de receptores β -2 que alojan (Beermann, 2002). Entonces, distribución de fibrillas tipo II en combinación con una posible baja desensibilización de receptores adrenérgicos β -2 en algunos tejidos de los corderos estudiados, podrían explicar los resultados encontrados en cortes primarios debido al tiempo de suplementación con CZ.

En coincidencia con los resultados del presente trabajo, Soto (2015) reportó un aumento en el rendimiento de pierna y una disminución en rendimiento de paleta sin alterar otros cortes primarios (lomo, cuello, costillas y faldillas) por efecto de incrementar el tiempo de suplementación con CZ de 0 a 30 días. En otro estudio donde incluyeron CZ durante los últimos 30 días ante de sacrificio a corderos de engorda, encontraron que el rendimiento de piernas aumentó pero decreció tanto rendimiento de paleta y lomo plano (Dávila-Ramírez et al., 2014). En general, se requieren hacer más estudios sobre el efecto del CZ sobre rendimiento de cortes primarios dado que no hay consistencia, pero evaluando diferentes factores que pudieran alterar la respuesta.

El rendimiento de algunos cortes primarios, como lomo y pierna, aumentaron linealmente ($P < 0.05$), mientras que el rendimiento de paleta disminuyó linealmente ($P < 0.05$), como el tiempo de suplementación cambió de 0 a 30 d. El rendimiento de cuello, costillas y faldilla no fueron afectadas ($P > 0.05$) por el tiempo de suplementación con CZ.

Calidad de la carne

En el presente estudio no se observaron cambios en el pH *postmortem* del musculo LD a los 45 min, 24 h y 14 d como el tiempo de suplementación con CZ aumentó de 0 a 30 días. Similarmente, Vahedi et al. (2015) encontraron que el periodo de suplementación con CZ (28 vs. 42 días) no afectó el pH del músculo LD a los 14 días post-mortem. Otros estudios donde solamente compararon corderos suplementados o no con CZ, también se encontró que este AA β -2 no altera el pH en el músculo LD a los 45 min y 24 h (Dávila-Ramírez et al., 2014), así como a los 14 días *post-mortem* (López-Carlos et al., 2012; Partida et al., 2015; Dávila-Ramírez et al., 2017). Aunque cabe mencionar que, los pH del músculo LD a las 24 h y 14 días en este estudio, independientemente del tratamiento, estuvieron por encima de los rangos normales (24 h <6.0 unidades y a 14 d= 5.6 a 5.8 unidades) indicados para carne de ovinos (Sañudo et al., 1996; Martínez-Cerezo et al., 2005). Estas alteraciones en los pH a las 24 y 24 días post-mortem pueden ser debido a fallas en el manejo de los animales horas antes o al momento del sacrificio.

Por otra parte, los valores de los parámetros de color de la carne del músculo LD mostraron disminuir linealmente como el periodo de suplementación de CZ aumentó de 0 a 30 días. Diversos estudios en corderos (Dávila-Ramírez et al., 2013; Partida et al., 2015) y corderas (Dávila-Ramírez et al., 2017) han sugerido que la suplementación de CZ durante 30 días provoca una caída en los parámetros de color de la carne del músculo LD; no obstante, no se encontró estudio alguno que evaluara el efecto del tiempo de suplementación de AA β -2

sobre color de la carne. Así, nuestros resultados demuestran que independientemente del periodo de suplementación con CZ en los corderos, esta estrategia alimenticia reduce el color de la carne.

El valor de a^* es una medida del grado de color rojo en la carne, y es indicativo de la cantidad de oximioglobina presente durante el período en que la carne está expuesta al aire (Young y West, 2001). Mientras que los valores b^* representan el grado de color amarillo que depende de la cantidad de hemoglobina muscular (Linares et al., 2007). Según Carr et al. (2005b), la reducción en los valores de a^* y b^* del músculo podría deberse a un efecto de dilución de la oximioglobina y hemoglobina muscular causada por la hipertrofia de la fibra muscular. Dado que CZ promovió una hipertrofia muscular en el LD, los resultados de a^* y b^* se atribuyeron a que los niveles oximioglobina y hemoglobina en este músculo disminuyeron en proporción con el aumento en el tiempo de suplementación del agonista.

Cabe mencionar que el valor de L^* se relaciona con el nivel de cortisol y catecolamina, y alto nivel de cortisol implica una carne brillante (alto valor L^*); (Linares et al., 2007). Hatefi et al. (2016) reportaron que chivos castrados presentaron una disminución en las concentraciones de cortisol después de 30 días de suplementarlos con CZ. En consecuencia, a pesar de que no se midieron niveles de cortisol en este estudio, es probable que la disminución en los valores de L^* debido a CZ se deba a una baja en las concentraciones sanguíneas de cortisol, las cuales disminuyeron en mayor grado a medida que aumentó el periodo de suplementación a 30 días.

Finalmente, un periodo más largo de suplementación con CZ conllevó a un aumento lineal en el esfuerzo de corte del músculo LD, lo cual coincide con lo reportado en ganado de carne por Rathman et al. (2009). En ovinos de pelo (López-Carlos et al., 2012; Dávila-Ramírez et al., 2013; 2017) y ganado de carne (Avendaño-Reyes et al., 2006; 2016; Meraz et al., 2017), estudios previos también han indicado que la suplementación de CZ durante 30 días antes del sacrificio produce carne más dura en el área del ojo de la costilla. Este efecto negativo de CZ sobre esfuerzo de corte se debe a la actividad de las enzimas calpastatinas, las cuales inhiben a las enzimas proteasas, impidiendo la degradación de las proteínas musculares. Además, el ARNm para el inhibidor de la calpaína, la calpastatina aumenta después del tratamiento con AA β .

CONCLUSIONES

La suplementación de corderos durante la etapa de finalización con clorhidrato de zilpaterol resultó benéfica para mejorar la deposición de músculo en la canal, lo cual se reflejó en mayor peso de la canal, área del ojo de la costilla y rendimiento de algunos cortes primario con alta importancia económica, tales como lomo y pierna. Esta mejora en la formación de músculo por efecto del agonista se debió en parte a la redirección de nutrientes a partir de tejido graso visceral, piel, patas y riñones hacia tejido de la canal. Sin embargo, también se confirmó que la inclusión de este agonista adrenérgico en la dieta de finalización de los corderos puede afectar negativamente la calidad de su carne, específicamente color y dureza.

Cabe mencionar que estos efectos tanto positivos como negativos causados por el zilpaterol pueden ser más marcados a medida que el tiempo de suplementación del agonista aumenta. El incremento en el tiempo de suplementación con CZ hasta los últimos 30 días antes del sacrificio, mostró una mejor respuesta en las características de la canal, rendimiento de cortes, a diferencia de haber adicionado este agonista por 10 y 20 días antes del sacrificio. Por lo tanto, se recomienda suplementar a los corderos de engorda con una dosis de 10 mg/animal/d de clorhidrato de zilpaterol durante los últimos 30 d del periodo de finalización.

LITERATURA CITADA

- Abney, C. S., J. T. Vasconcelos, J. P. McMeniman, S. A. Keyser, K. R. Wilson, G. J. Vogel, and M. L. Gaylean. 2007. Effects of ractopamine hydrochloride on performance, rate and variation in feed intake, and acid-base balance in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 85:3090–3098.
- Adeola, O., Ball, R.O., Young, L.G., 1992. Porcine skeletal muscle myofibrillar protein synthesis is stimulated by ractopamine. *J. Nutr.* 122:488-495.
- Aguilera-Soto, J .I., R .G. Ramírez, C. F. Aréchiga, F. Méndez-Llorente, M. A. López-Carlos. J. M. Silva-Ramos, R. M. Rincón-Delgado, and F. M. Duran-Roldan. 2008. Zilpaterol hydrochloride on performance and sperm quality of lambs fed wet brewers grains. *J. Appl. Anim. Res.* 34:17-21.
- AMSA American Meat Science Association (AMSA), 1995. Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation and Instrumental Tenderness of Fresh Meat. National Livestock and Meat Board, Chicago, IL, USA.
- Almeida V. V., A. J. Costa-Nuñez, V. Shigeru. 2012. Ractopamine as a metabolic modifier feed additive for finishing pigs: A review. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 55:445-456.
- Anderson, P. T., W. G. Helferich, L. C. Parkhill, R. Merkel, W. G. Bergen. 1990. Ractopamine increases total and myofibrillar protein synthesis in cultured rat myotubes. *J. Nutr.* 120:1677-1683.
- Armstrong, T.A., D. J. Ivers, J. R. Wagner, D. B. Anderson, W. C. Weldon, E. P. Berg. 2004. The effect of dietary ractopamine concentration and duration of feeding on growth performance, carcass characteristics, and meat quality of finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 82:3245–3253.
- Arteaga, C. J. D. 2006. Situación de la ovinocultura y sus perspectivas. *Memorias Primera Semana Nacional de Ovinocultura*. Hidalgo, México. Pp 610-623.

- Arteaga, CJD. 2012. Mensaje institucional en Acto Inaugural del VII Foro Ovino del Estado de México. INIFAP. ICAMEX.
- Avendaño-Reyes L., V. Torres-Rodríguez, F. J. Meraz-Murillo, C. Pérez-Linares, F. Figueroa-Saavedra, and P. H. Robinson. 2006. Effects of two β -adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 84:3259–3265.
- Avendaño-Reyes L., U. Macías-Cruz, F. D. Álvarez-Valenzuela, E. Aguila-Tepato, N. G. Torrentera-Olivera, and S. A. Soto-Navarro. 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.* 10:2527-3904.
- Avendaño-Reyes, L., F.J. Meraz-Murillo, C- Pérez-Linares, F. Figueroa-Saavedra, A. Correa-Calderón, F.D. Álvarez-Valenzuela, J.E. Guerra-Liera, G. López-Rincón, U. Macías-Cruz. 2016. Evaluation of the efficacy of Grofactor, a beta-adrenergic agonist base don zilpaterol hydrochloride, using feedlot finishing bulls. *J. Anim. Sci.* 94:2954-2961.
- Baker, P. K., R. H. Dalrymple, D. L. Ingle, and C. A. Ricks. 1984. Use of a beta-adrenergic agonist to alter muscle and fat deposition in lambs. *J. Anim. Sci.* 59:1256–1261.
- Baxa, T. J., J. P. Hutcheson, and M. F. Miller. 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. *Journal of animal science*, 88:330-337.
- Beermann, D. H., W. R. Butler, D. E. Hogue, V. K. Fishell, R. H. Dalrymple, C. A. Ricks, and C. G. Scanes. 1987. Cimaterol induced muscle hypertrophy and altered endocrine status in lambs. *J. Anim. Sci.* 65:1514-1524.
- Beermann, D. H. 2002. Beta-adrenergic receptor agonist modulation of skeletal muscle growth. *J. Anim. Sci.* 80:18-23.

- Bianchi G., G. Garibotto, O. Feed, O. Bentancur, and J. Franco. 2006. Efecto del peso al sacrificio sobre la calidad de la canal y de la carne de corderos Corriedale puros y cruza. Arch. Med. Vet. 38, N° 2.
- Birkelo, C .P., 2003. Pharmaceuticals, direct-fed microbials, and enzymes for enhancing growth and feed efficiency of beef. Veterinary Clinics of North America, Food Animal Practice. 19:599-624.
- Bowen, W. P., D. J. Flint, and R. G. Vernon. 1992. Regional and interspecific differences in the ligand binding properties of beta-adrenergic receptors of individual white adipose tissue depots in the sheep and rat. Biochem Pharmacol. 44:681-686.
- Carr, S. N., D. J. Ivers, D. B. Anderson, D. J. Jones, D. H. Mowrey, M. B. England, J. Killefer, P. J. Rincker, and F. K. McKeith. 2005. The effects of ractopamine hydrochloride on lean carcass yields and pork quality characteristics. J. Anim. Sci. 83:2886-2893.
- Castañeda, S. R. D. y Peñuela. Ácidos grasos en la carne bovina: Confinamiento vs pastoreo.
- Castellanos-Ruelas, A. F., R. J. G. Rosado, G. I. A. Chel y D. A. Betancour. 2006. Empleo del zilpaterol en novillos con alimentación intensiva en Yucatán, México. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 14:56-59.
- Crome P. K., F .K. McKeith, T. R. Carr, D. J. Jones, D. H. Mowrey, and J.E. Cannon. 1996. Effect of ractopamine on growth performance, carcass composition and cutting yields of pigs slaughtered at 107 and 125 kilograms. J Anim Sci. 74:709-716
- Cunningham, J. G. 2009. Fisiología Veterinaria. Editorial Elsevier. 4ª ed. Barcelona, España.
- Dávila-Ramírez, J. L., L. Avendaño-Reyes, U. Macías-Cruz, N. G. Torrentera-Olivera, L. Zamorano-García, A. Peña-Ramos, H. González-Ríos. 2013.

Effects of zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation on physicochemical and sensory characteristics of meat from hair lambs. *Small Ruminant Res.* 114:253-257.

Dávila-Ramírez, J. L., U. Macías-Cruz, N. Torrentera, H. González-Ríos, S. Soto-Navarro, R. Rojo, L. Avendaño-Reyes. 2014. Effects of zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation on feedlot performance and carcass characteristics of hair-breed ram lambs under heat stress conditions. *J. Anim. Sci.* 92:1184-1192.

Dávila-Ramírez, J. L., U. Macías-Cruz, N. G. Torrentera-Olivera, H. González-Ríos, E.A. Peña-Ramos, S. Soto-Navarro, L. Avendaño-Reyes. 2015. Feedlot performance and carcass traits of hairbreed ewe lambs in response to zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation. *J. Anim. Sci.* 93:3189-3196.

Dávila-Ramírez, J. L., L. Avendaño-Reyes, U. Macías-Cruz, E.A. Peña-Ramos, H. González-Ríos. 2017. Impact of zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation on intramuscular fat, fatty acid profile and cholesterol concentrations in the Longissimus muscle of male hair lambs under moderate heat-stress conditions. *Anim. Prod. Sci.* Doi.org/10.1071/AN16747.

Dawson, J. M., Buttery, P.J., Lammiman, M.J., Soar, J.B., Essex, C.P., Gill, M., Beever, D.E., 1991. Nutritional and endocrinological manipulation of lean deposition in forage-fed steers. *Br. J. Nutr.* 66:171-185.

Dikeman, M.E., 2007. Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. *Meat Sci.* 77:121–135.

Dominguez-Vara I.A., A.J. Mondragón, R.M. González, G.F. Salazar, G.J. Bórquez, M.A. Aragón. 2009. Los β -agonistas adrenérgicos como modificadores metabólicos y su efecto en la producción, calidad e

- inocuidad de la carne de bovino y ovino; una revisión. *Ciencia Ergo. Sum.* 16:278-284.
- Dunshea, F.R., King, R.H., Campbell, R.G., Sainz, R.D., Kim, Y.S., 1993. Interrelationships between sex and ractopamine on protein and lipid deposition in rapidly growing pigs. *J. Anim. Sci.* 71:2919-2930.
- Dunshea, F.R., Leury, B.J., King, R.H., 1998. Lipolytic responses to catecholamines in ractopamine-treated pigs. *Aust. J. Agric. Res.* 49:875–881.
- Estrada-Angulo A., A. Barreras-Serrano, G. Contreras, J.F. Obregon, J.C. Robles-Estrada, A. Plascencia, R.A. Zinn. 2008. Influence of level of zilpaterol chlorhydrate supplementation on growth performance and carcass characteristics of feedlot lambs. *Small Ruminant Res.* 80:107–110.
- 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. *Can. J. Anim. Sci.* 80:79–86.
- Eng, K. 2000. Choices of implants. Implant strategies increases again. *Feedstuffs.* 72:10. Gorewit R.C. 1983. Pituitary and thyroid hormone responses of heifers after ferulic acid administration, *J. Dairy Sci.* 66:624–633.
- Fain, J.N., Garcia-Sainz, J.A., 1983. Adrenergic regulation of adipocyte metabolism. *J. Lipid Res.* 24:945–966.
- FAO. 2004. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- FAO. 2010. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- FAO. 2013. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 2008. Producción, Consumo, Comercio. <http://faostat.fao.org>

Faustman, C.: Sun Q.; Mancini, R. y Suman, S. P. (2001). Mioglobin and lipid oxidation interactions: mechanistic bases and control. *Meat Science*, 86: 86-94.

Ferguson, D. 2001. The impact of the post-slaughter conditions on beef eating quality. *Food Science Australia*. On-line: <http://wagyu.une.edu.au>. Consulta: 17/junio/2017.

Felix, A., Estrada-Angulo, A., Rios, F.G., Ramos, C.H., Perez, A.B., 2005. Effect of Zilpaterol clorhidrate on growth performance and carcass traits in finishing sheep. *J. Anim. Sci.* 83 (Suppl. 1), 63 (abstract).

Fiems, L.O., Boucque, C.V., Cottyn, B.G., 1993. Effect of duration of a beta-agonist treatment on growth, feed intake and carcass characteristics in finishing bulls. *Arch Tierernahr.* 45:101–109.

García E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climático de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. México, D. F. Instituto de Geografía. UNAM.

Hafesi, A., A. Towhidi, A. Zali, S. Zeinoaldini, M. Ganjkanlou, and A. Plascencia. 2016. Effects of dietary zilpaterol hydrochloride (β 2-agonist) supplementation on finishing castrated male goat: metabolic endocrine, blood constituents, plasma volumen, respiratory rate and cardiac changes. *J. Appl. Anim. Res.* Doi.org/10.1080/09712119.2016.1209211.

Hawksworth J. 2006. The world in 2050. PricewaterhouseCoopers, March 2006. Strydom, P., E.A. Osler, K.J. Leeuw, and E. Nel, 1998. The effect of supplementation period of a betaagonist.

- Hoffman, B. B., and R. J. Lefkowitz. 1990. Catecholamines and sympathomimetic drugs. In: A. G. Gilman, T. W. Rall, A. S. Nies, and P. Taylor (Ed.) Goodman and Gilman's: The Pharmacological Basis of Therapeutics. pp 187-220. Pergamon Press, New York.
- Holmer, S. F., Fernandez-Duenas, D. M., Scramlin, S. M., Souza, C. M., McKeith, F. K., and J. Killefer. 2009. The effect of zilpaterol hydrochloride on meat quality of calf-fed Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 87:3730–3738. I
- INEGI, 2012. Instituto Nacional de Estadística y Geografía
- Kretchmar, D. H., M. R. Hathaway, R. J. Epley, and W. R. Dayton. 1990. Alterations in postmortem degradation of myofibrillar proteins in muscle of lambs fed a b-adrenergic agonist. *J. Anim. Sci.* 68:1760-1772.
- Kim, Y. S., and R. D. Sainz. 1992. b-adrenergic agonists and hypertrophy of skeletal muscles. *Life Sci.* 50:397-407.
- Kim, Y.S., Y.B. Lee, W.N. Garrett, and R.H. Dalrymple. 1989. Effects of cimaterol on nitrogen retention and energy utilization in lambs. *J. Anim. Sci.* 67:674-681.
- Koohmaraie, M., S. D. Shackelford, N. E. Muggli-Cockett, and R. T. Stone. 1991. Effect of the b-adrenergic agonist L644,969 on muscle growth, endogenous proteinase activities, and postmortem proteolysis in wether lambs. *J. Anim. Sci.* 69:4823-4835.
- Koohmaraie M., S. D. Shackelford, and T. L. Wheeler. 1996. Effects of a b-adrenergic agonist (L-644,969) and male sex condition on muscle growth and meat quality of callipyge lambs. *J. Anim. Sci.* 74:70–79.
- Lawrence, T. L. y V. R. Fowler. 2002. Growth of Farm Animals. Second edition. CABI Publishing. London U.K. p. 135-138.
- Lawrie, R.A. 1998. Ciencia de la carne. Editorial ACRIBIA, España. 233 pp.

- Leheska, J. M., J. L. Montgomery, C. R. Krehbiel, D. A. Yates, J. P. Hutcheson, W. T. Nichols, M. Streeter, J. R. Blanton Jr., and T. H. Montgomery. 2009. Dietary zilpaterol hydrochloride. II. Carcass composition and meat palatability of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 87:1384–1393.
- Li, Y. Z., R. J. Cristopherson, B.T. Li, and J. A. Moibi. 2000. Effects of a beta-adrenergic agonist (L-644,969) on performance and carcass traits of growing lambs in a cold environment. *Canadian J. Anim. Sci.* 80:459-465.
- López-Carlos M.A., R.G. Ramírez, J.I. Aguilera-Soto, C.F. Aréchiga, F. Méndez-Llorente, H. Rodríguez, J.M. Silva. 2010. Effect of ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride on growth, diet digestibility, intake and carcass characteristics of feedlot lambs. *Livest. Sci.* 131:23-30.
- López-Carlos M.A., R.G. Ramírez, J.I. Aguilera-Soto, A. Plascencia, H. Rodríguez, C.F. Aréchiga, R.M. Rincón, C.A. Medina-Flores, and H. Gutiérrez-Bañuelos. 2011. Effect of two beta adrenergic agonists and feeding duration on feedlot performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Livest. Sci.* 138:251-258.
- López-Carlos, M. A., R. G. Ramírez, J. I. Aguilera-Soto, H. Rodríguez, C. F. Aréchiga, F. Méndez-Llorente, J. J. Chavez, C. A. Medina, and J. A. Silva. 2012. Effect of the administration program of 2 β -adrenergic agonists on growth performance and carcass characteristics of feedlot ram lambs. *J. Anim. Sci.* 90:1521-1531.
- Lynch, G. S., Ryall, J. G., 2008. Role of β -adrenoceptor signaling in skeletal muscle: Implications for muscle wasting and disease. *Physiol. Rev.* 88, 729-767.
- MacHadley, M., 1988. *Endocrinology*. Prentice Hall. 2a ed. Englewood Cliffs, New Jersey. EUA.
- Macías-Cruz. U., V. Velázquez-Morales, F. D. Álvarez-Valenzuela, N.G. Torrentera-Olivera, A. Correa-Calderón, P. H. Robinson, and L. Avendaño-

- Reyes. 2010. Effect of zilpaterol hydrochloride on feedlot performance and carcass characteristics of ewe lambs under heat stress conditions. *Anim. Prod. Sci.* 50:1-7.
- Macías-Cruz, U., L. Avendaño-Reyes, F.D. Álvarez-Valenzuela, N.G. Torrentera-Olivera, C.A. Meza-Herrera, M. Mellado-Bosque, A. Correa-Calderón. 2013. Crecimiento y características de canal en corderas tratadas con clorhidrato de zilpaterol durante primavera y verano. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 4:1-12.
- Macías-Cruz, U., L. Avendaño-Reyes, R. Vicente-Pérez, F.D. Álvarez-Valenzuela, A. Correa-Calderón, H. González-Ríos, S.A. Soto-Navarro, M. Mellado. 2016. Crecimiento y características de canal de corderos finalizados con clorhidrato de zilpaterol en pastoreo de alfalfa. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 7:243-252.
- Maltin, C.A., Hay, S.A., Delday, M.I., Lobley, G.E., Reeds, P.J., 1989. The action of the β -agonist clenbuterol on protein metabolism in innervated and denervated phasic muscles. *Biochem J.* 261:965-971.
- Meraz-Murillo, F.J., L. Avendaño-Reyes, C. Pérez-Linares, F. Figueroa-Saavedra, V. Torres-Rodríguez, J.E. Guerra-Liera, M. Mellado, U. Macías-Cruz. 2017. Feedlot performance, carcass characteristics and meat quality of Zebu heifers supplemented with two β -adrenergic agonists. *Anim. Prod. Sci.* DOI.org/10.1071/AN15369.
- Mersmann, H.J. 1989. Influence on of infused β -adrenergic agonists porcine blood metabolites and catecholamines. *J. Anim. Sci.* 67:2633-2645.
- Mersmann, H.J., 1995. Species variation in mechanisms for modulation of growth by beta-adrenergic receptors. *J. Nutr.* 125:1777-1782.
- 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.

- Miller, M. F., D. K. Garcia, M. E. Coleman, P. A. Ekeren, D. K. Lunt, K. A. Wagner, M. Procknor, T. H. Welsh Jr., and S. B. Smith. 1988. Adipose tissue, longissimus muscle and anterior pituitary growth and function in clenbuterol-fed heifers. *J. Anim. Sci.* 66:12–20.
- Mills, S.E. 2002. Implications of feedback regulation of beta-adrenergic signaling. *J. Anim. Sci.* 80:30-35.
- Mohammadi, B., K. Krampfl, S. Petri, D. Bogdanova, A. Kossev, J. Bufler, and R. Dengler. 2006. Selective and nonselective benzodiazepine agonists have different effects on motor cortex excitability. *Muscle Nerve* 33:778-784.
- Mondragón J., I. A. Domínguez-Vara, J. M. Pinos-Rodríguez, M. González, J. L. Bórquez, A. Domínguez, and M. L. Mejía. 2010. Effects of feed supplementation of zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass traits of finishing lambs. *Acta Agr. Scand.* 60:47-52.
- Montgomery, J. L., C. R. Krehbiel, J. J. Cranston, D. A. Yates, J. P. Hutcheson, W. T. Nichols, M. N. Streeter, D. T. Bechtol, E. Johnson, T. TerHune, and T. H. Montgomery. 2009a. Dietary zilpaterol hydrochloride. I. Feedlot performance and carcass traits of steers and heifers. *J. Anim. Sci.* 87:1374–1383.
- Moody, D.E., Hancock, D.L., Anderson, D.B., 2000. Phenethanolamine repartitioning agents. Ed. *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. NY, USA, pp. 65–95.
- Nourozi, M., Abazari, M., Raisianzadeh, M., Mohammadi, M., ZareShahne, A., 2008. Effect of terbutaline and metaproterenol (two beta-adrenergic agonists) on performance and carcass composition of culled Moghani ewes. *Small Rumin. Res.* 74:72–77.
- Norman. A., and G. Litwack. 1997. *Hormones*. 2da. Edición. Academic Press, Ingraterra. 558 pp.

- NRC, 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. National Academy Press, Washington, D.C.
- NRC, 1994. Metabolic Modifiers: Effects on the Nutrient Requirements of Food-Producing Animals. National Academy Press, Washington, D.C.
- O'Neill, H. A., 2001. The effect of zilpaterol hydrochloride on dietary N-requirements and the quality and nutritional value of meat components. MSc (Agric) thesis, University of Pretoria, South Africa.
- Ostrowski, J. M., A. Kjelsberg, M. G. Caron, and R. J. Lefkowitz. 1992. Mutagenesis of the β 2-adrenergic receptor: How structure elucidates function. *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.* 32:167-183.
- Odore, R., P. Badino, R. Barbero, B. Cuniberti, S. Pagliasso, C. Girardi, and G. Re. 2007. Regulation of tissue β -adrenergic, glucocorticoid and androgen receptors induced by repeated exposure to growth promoters in male veal calves. *Res. Vet. Sci.* 83:227-233.
- Partida de la Peña, J. A., Braña, V. D., Jiménez, S. H., Ríos, R. F. G., y Buendía, R. G. 2013. Producción de carne ovina. Libro técnico No. 5. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal-INIFAP. Querétaro, México. 107 p.
- Partida, de la P. J. A., T. A. Casaya Rodríguez, M.S. Rubio Lozano, and R. D. Méndez-Medina. 2015. Efecto del clorhidrato de zilpaterol sobre las características de la canal en cruza terminal de corderos Katahdin. *Vet. Méx.* 2:1-13.
- Plascencia, A., Torrentera, N. G., 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.
- Pringle, T. D., Calkins, C. R., Koohmaraie, M., Jones, S. J., 1993. Effects over time of feeding a beta-adrenergic agonist to wether lambs on animal

performance, muscle growth, endogenous muscle proteinase activities, and meat tenderness. *J. Anim. Sci.* 71:636–644.

Ríos Rincón F. G., A. Barreras-Serrano, A. Estrada-Angulo, J. F. Obregón, A. Plascencia- Jorquera, J. J. Portillo-Loera, and R. A. Zinn. 2010: Effect of level of dietary zilpaterol hydrochloride (β 2-agonist) on performance, carcass characteristics and visceral organ mass in hairy lambs fed all-concentrate diets. *J. Appl. Anim. Res.* 38:33-38.

Reeds, P. J., and H. J. Mersmann. 1991. Protein and energy requirements of animals treated with beta-adrenergic agonists: A discussion. *J. Anim. Sci.* 69: 1532-1550.

Robles-Estrada, J.C., Barreras-Serrano, A., Contreras, G., Estrada-Angulo, A., Obregón, J.F., Plascencia, A., Ríos, F.G., 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.

Rojó-Rubio, R., L. Avendaño-Reyes, B. Albarrán-Portillo, J.F. Vázquez-Armijo, S.A. Soto-Navarro, J.E. Guerra-Liera, U. Macías-Cruz. 2017. Zilpaterol hydrochloride improves growth performance and carcass traits without affecting wholesale cut yields in finishing ram lambs in feedlot. *J. Appl. Anim. Res.* [Doi.org/10.1080/09712119.2017.1307756](https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1307756).

Salinas-Chavira J., R. G. Ramírez, M. Domínguez-Muñoz, R. Palomo-Cruz, and V. H. López-Acuña. 2004. Influence of zilpaterol hydrochloride on growth and carcass characteristics of Pelibuey lambs. *J. Appl. Anim. Res.* 26:13-16.

Salinas-Chavira J., M. Domínguez-Muñoz, R. Díaz-Martínez, P. Cruz-Bautista, M. F. Montaña-Gómez, and C. Arzola-Álvarez. 2006. Effect of duration of zilpaterol hydrochloride treatment on carcass characteristics and weight gain in grazing Pelibuey lambs. *J. Appl. Anim. Res.* 29:25-28.

- Sañudo, C., Santolaria, P., Maria, G., Osorio, M., Sierra, I., 1996. Influence of carcass weight on instrumental and sensory lamb meat quality in intensive production systems. *Meat Sci.* 42:195–202.
- Schiavetta, A. M., M. F. Miller, D. K. Lunt, S. K. Davis, and S. B. Smith. 1990. Adipose tissue cellularity and muscle growth in young steers fed the beta-adrenergic agonist clenbuterol for 50 days and after 78 days of withdrawal. *J. Anim. Sci.* 68:3614–3623.
- See, M. T., T. A. Armstrong, and W.C. Weldon. 2004. Effect of a ractopamine feeding program on growth performance and carcass composition in finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 82:2474-2480.
- Shackelford, S. D., J. W. Edwards, E. K. Smarr, and J. W. Savell. 1992. Retail cut yields of Rambouillet wether lambs fed the b-adrenergic agonist L-644, 969. *J. Anim. Sci.* 70:161-168.
- Shook, J. N., D. L. VanOverbeke, L. A. Kinman, C. R. Krehbiel, B. P. Holland, M. N. Streeter, D. A. Yates and G. G. Hilton, 2009. Effects of zilpaterol hydrochloride and zilpaterol hydrochloride withdrawal time on beef carcass cutability, composition, and tenderness. *J. Anim. Sci.* 87: 3677-3685.
- Sillence, M.N., 2004. Technologies for the control of fat and lean deposition in livestock. *Vet J.* 167:242–257.
- Shelver, W. L., and D. J. Smith. 2006. Tissue residues and urinary excretion of zilpaterol in sheep treated for 10 days with dietary zilpaterol. *J. Agric. Food Chem.* 54:4155-4161.
- Stoffel, B., and H. H. D Meyer. 1993. Effects of the β -adrenergic agonist clenbuterol in cows: lipid metabolism, milk production, pharmacokinetics, and residues. *J Anim Sci.* 71:1875-1881.
- Strosberg, A. D. 1993. Structure, function, and regulation of adrenergic receptors. *Prot. Sci.* 2:1198-1209.

- Strydom, P. E., and E. Nel. 1999. The effect of supplementation period of a beta-agonist (zilpaterol), electrical stimulation, and aging period on meat quality characteristics. In: Proc. 53rd International Congress of Meat Science and Technology, pp 474–475. Yokohama, Japan.
- Smith, D. J. 1998. The pharmacokinetics, metabolism, and tissue residues of β -adrenergic agonists in livestock. J Anim. Sci. 76:173-194.
- Smith, G. C., D. B. Griffin, and J. H. Kenneth. 2001. Meat evaluation handbook revision committee. American Meat Science Association, USA. 117-137.
- Smith, D. J., and G. D. Paulson. 1994. Growth characteristics of rats receiving ractopamine hydrochloride and the metabolic disposition of ractopamine hydrochloride after oral or intraperitoneal administration. J. Anim. Sci. 72, 404-414.
- Sumano, L. H. C. L. Ocampo y O. L. Gutiérrez. 2002. Clembuterol y otros β -agonistas, ¿una opción para la producción pecuaria o un riesgo para la salud pública? Veterinaria-México, 33. 2.
- USDA, 1992. Official United States Standards for grades of lamb, yearling mutton and mutton carcasses. U.S.D.A., A.M.S., L.S.D., EUA.
- Van Liefde, I., A. Van Ermen, A. van Witzenburg, N. Fraeyman, and G. Vauquelin. 1994. Species and strain-related differences in the expression and functionality of b-adrenoceptor subtypes in adipose tissue. Arch. Int. Pharmacodyn. 327:69-86.
- Vahedi, V., A. Towhidi, A. Zare Shahneh, M. Sadeghi, F. Zamani, and F.R. Dunshea. 2014. Effects of β -agonist zilpaterol hydrochloride feeding and supplementation period on growth and carcass characteristics of Lori-Bakhtiari lambs. Small Ruminant Res.
- Vahedi, V., A. Towhidi, A. Zare Shahneh, M. Sadeghi, F. Zamani, and F.R. Dunshea. 2014. Effects of β -agonist zilpaterol hydrochloride feeding and

supplementation period on growth and carcass characteristics of Lori-Bakhtiari lambs. Small Ruminant Res.

Walker, D. K., E. C. Titgemeyer, T. J. Baxa, K. Y. Chung, D. E. Johnson, S. B. Laudert, and B. J. Johnson. 2010. Effects of ractopamine and sex on serum metabolites and skeletal muscle gene expression in finishing steers and heifers. J. Anim. Sci. 88:2620–2626.

Watkins, L. E., D. J. Jones, D. H. Mowrey, D. B. Anderson, and E. L. Veenhuizen. 1990. The effect of various levels of ractopamine hydrochloride on the performance and carcass characteristics of finishing swine. J. Anim. Sci. 68:3588-3599.

Warris, P. D. (2003). Ciencia de la carne

Young, O. and J. West. 2001. Meat science and applications. CRC Press, USA.
Young y West, 2001,

Zimmerli, U. V., and J. W. Blum. 1990. Acute and longterm metabolic, endocrine, respiratory, cardiac and skeletal muscle activity changes in response to perorally administered badrenoceptor agonists in calves. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 63:157-172.