

**Universidad Autónoma de Baja California**  
**Instituto de Ciencias Agrícolas**



**ESTRATEGIAS DE SUPLEMENTACIÓN CON CLORHIDRATO DE  
ZILPATEROL EN OVINOS DE PELO DURANTE LA FASE DE  
FINALIZACIÓN DE LA ENGORDA**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**PRESENTA:**

**SACRAMENTO SOTO LÓPEZ**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**Ph.D. LEONEL AVENDAÑO REYES**

**Mexicali, Baja California**

**Marzo, 2015**

La presente tesis “**ESTRATEGIAS DE SUPLEMENTACIÓN CON CLORHIDRATO DE ZILPATEROL EN OVINOS DE PELO DURANTE LA FASE DE FINALIZACIÓN DE LA ENGORDA** ” fue realizada por C. Sacramento Soto López y dirigida por Ph. D. Leonel Avendaño Reyes, ha sido evaluada y aprobada por el Consejo Particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el título de:

**Maestro en Ciencias en Sistemas de Producción Animal**

**Consejo Particular**

---

Ph. D. Leonel Avendaño Reyes  
Director de tesis

---

Dr. Ulises Macías Cruz  
Secretario

---

Dra. Noemí G. Torrentera Olivera  
Sinodal

---

Ph. D. Abelardo Correa Calderón  
Sinodal

---

M.C. Francisco Daniel Alvares Valenzuela  
Sinodal

## INDICE

ÍNDICE DE CUADROS .....	V
RESUMEN .....	VI
ABSTRACT.....	VII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. Situación de la producción ovina en México .....	3
2.1.1. Razas .....	3
2.1.2. Tipos de explotaciones .....	4
2.2. Uso de promotores del crecimiento.....	5
2.2.1. Tipos de promotores de crecimiento .....	5
2.2.2. Mecanismos de acción de los agonistas adrenérgicos- $\beta$ (AA- $\beta$ ).....	7
2.2.3. Uso de agonistas adrenérgicos- $\beta$ .....	9
2.2.4. Residuos de agonistas adrenérgicos- $\beta$ en tejido .....	12
2.3. Clorhidrato de Zilpaterol en la engorda ovina.....	13
2.3.1. Comportamiento en corral.....	13
2.3.2. Características de la canal .....	14
2.3.3. Rendimiento en cortes primarios.....	16
III. MATERIALES Y METODOS.....	18
3.1. Localización del área de estudio .....	18
3.2. Trato de los animales experimentales .....	18
3.3. Animales y manejo.....	18
3.4. Tratamientos y procedimiento experimental .....	19
3.5. Características de la canal .....	21
3.6. Variables de respuesta medidas.....	22
3.7. Análisis estadístico.....	22
IV. RESULTADOS .....	23
4.1. Comportamiento productivo. ....	23
4.2. Características de la canal .....	23
4.3. Porcentaje de viseras y órganos .....	25
4.4. Rendimientos de cortes primarios .....	25
V. DISCUSIÓN.....	29

5.1. Comportamiento productivo. ....	29
5.2. Características de la canal .....	30
5.3. Porcentaje de vísceras y órganos.....	32
5.4. Rendimientos de cortes primarios. ....	32
VI. CONCLUSIONES.....	34
VII. LITERATURA CITADA .....	35

## ÍNDICE DE CUADROS

**Cuadro 1:** Ingredientes y análisis bromatológico de la dieta base para la alimentación de ovinos de pelo en experimentación con clorhidrato de zilpaterol;**Error! Marcador no definido.**

**Cuadro 2:** Comportamiento productivo de corderos finalizados bajo diferentes estrategias de alimentación con clorhidrato de zilpaterol.....**¡Error! Marcador no definido.**

**Cuadro 3:** Características de canal de corderos finalizados bajo diferentes estrategias de alimentación con clorhidrato de zilpaterol .....**¡Error! Marcador no definido.**

**Cuadro 4:** Porcentaje de órganos viscerales en corderos finalizados bajo diferentes estrategias de alimentación con clorhidrato de zilpaterol.....**¡Error! Marcador no definido.**

**Cuadro 5:** Rendimiento de cortes primarios en corderos finalizados bajo diferentes estrategias de alimentación con clorhidrato de zilpaterol.....**¡Error! Marcador no definido.**

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar dos estrategias de suplementación de clorhidrato de zilpaterol (CZ) sobre el comportamiento productivo, características de la canal, porcentaje de órganos viscerales y el rendimiento de cortes primarios en ovinos de pelo engordados en corral. El experimento duró 47 d (15 de adaptación, 30 de engorda y 2 de retiro) y se usaron 24 corderos con peso inicial de  $30.93 \pm 2.63$  kg. Los corderos se asignaron bajo un diseño de bloques completamente al azar a los tratamientos, siendo el peso vivo el factor bloqueador. Los tratamientos consistieron en alimentar a todos los corderos con una dieta base y suplementación con CZ durante diferente tiempo: 1) Testigo (T), sin CZ; 2) (CZ30), suplementación con 10 mg/d de CZ por 30 d; 3) (CZ15), suplementación con 20 mg/d de CZ en los últimos 15 d del periodo experimental. El consumo de alimento fue similar ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos, los corderos CZ15 tuvieron similar ( $P > 0.05$ ) conversión alimenticia que los corderos CZ30. Los corderos CZ presentaron mayor ( $P < 0.05$ ) peso de la canal caliente y fría, rendimiento en canal, área del ojo de la costilla y perímetro de la pierna que los corderos del grupo T. El porcentaje de grasa renal, pélvica y cardíaca (KPH) disminuyó al igual que piel ( $P < 0.05$ ) en CZ comparado con T. La conversión alimenticia fue menor en T al compararlo con CZ en el periodo 16-30 d; por otra parte, al comparar la conversión alimenticia ( $P < 0.05$ ) CZ15 resultó menor frente a CZ30. Se concluye que adicionar Clorhidrato de Zilpaterol en la dieta al final de la engorda es una estrategia viable para mejorar la productividad de ovinos de engorda. Además, se encontró que adicionar 10 mg/d de Clorhidrato de Zilpaterol por 30 d fue similar a adicionar 20 mg/d de Clorhidrato de Zilpaterol durante los últimos 15 d de la engorda.

**Palabras clave:** Agonistas adrenérgicos-beta, zilpaterol, Pelibuey, ganancia de peso, rendimiento en canal.

### ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate two strategies zilpaterol hydrochloride supplementation (CZ) on productive performance, carcass characteristics, percentage of visceral organs and performance of primal cuts of hair sheep fattened in feedlots. The experiment lasted 47 d (15 adaptation, 30 retirement fattening and 2) and 24 lambs were used with initial weight of  $30.93 \pm 2.63$  kg. The lambs were allocated under a block design random to treatments, with the live weight factor blocker. Treatments consisted of all lambs feed a basal diet and supplementation CZ during different time: 1) Control (T) without CZ; 2) (CZ30), supplementation with 10 mg / d for 30 d CZ; 3) (CZ15), supplementation with 20 mg / d of CZ in the last 15 d of the experimental period. Feed intake was similar ( $P > 0.05$ ) between treatments, CZ15 lambs had similar ( $P > 0.05$ ) feed conversion than the CZ30 lambs. The CZ lambs had greater ( $P < 0.05$ ) weight of the hot and cold carcass, carcass yield, area of rib eye and leg circumference lambs group T. The percentage of kidney fat, pelvic and heart (KPH) decreased as skin ( $P < 0.05$ ) compared with T. CZ Feed conversion was lower in T when compared with CZ in the period 16-30 d; Moreover, when comparing FCR ( $P < 0.05$ ) CZ15 CZ30 turned lower against. We conclude that adding Hydrochloride Zilpaterol diet at the end of the fattening is a viable option for improving the productivity of sheep fattening strategy. In addition, we found that adding 10 mg / d Zilpaterol Hydrochloride 30 d was similar to adding 20 mg / d Hydrochloride Zilpaterol over the last 15 d of fat.

Keywords: beta-adrenergic agonists, zilpaterol, Pelibuey, weight gain, carcass yield.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la ovinocultura en México sigue sin satisfacer la demanda de carne de esa especie, ya que alrededor del 46.2% del consumo anual es importado, por lo cual los productores de ovinos de carne han implementado diferentes estrategias de alimentación con el fin de aumentar el rendimiento por animal (SAGARPA, 2005). Un gran número de ovinocultores de nuestro país se están enfocando a criar ovinos de pelo, desplazando a los de lana debido a que han presentado mayor resistencia a las temperaturas extremas, a las infecciones parasitarias y por aprovechar mejor pastos de baja calidad (Salinas-Chavira *et al.*, 2006). Estas características han ocasionado que el número de ovinos de pelo se encuentre en aumento en la mayoría de los estados mexicanos productores de carne. Sin embargo, las razas de pelo no tienen la capacidad de convertir el alimento como lo hacen las razas de lana (Avendaño *et al.*, 2011).

Varios estudios han sugerido que el uso de promotores de crecimiento, tal como el agonistas adrenérgico  $\beta$  (AA- $\beta$ ) 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), 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).

La falta de consistencia en los efectos de CZ sobre el crecimiento y características de en la canal (peso y rendimiento de canal caliente, 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- $\beta$ . Algunas de estas estrategias han consistido en reducir el tiempo de suplementación a 2 semanas antes del sacrificio, ya que algunos reportes indican que el mayor efecto del CZ se tiene en dicho lapso, para posteriormente disminuir gradualmente sus beneficios (López-Carlos *et al.*, 2012). En este sentido, la hipótesis del presente estudio fue que el aumento de la concentración y la modificación del periodo de aplicación de CZ en la dieta de corderos de engorda en la etapa de finalización, puede mejorar el comportamiento en corral, las características de la canal, así como el rendimiento en cortes en comparación con dosis y periodos constantes en ovinos de pelo. Es importante señalar que el uso de AA- $\beta$  en ovinos no ha sido autorizado aún en nuestro país, por lo que este estudio contribuirá ampliar los conocimientos de su efecto en esta especie.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el uso de dos estrategias de suplementación de CZ sobre el comportamiento en corral, características de la canal y rendimiento en cortes en ovinos de pelo durante el periodo de finalización de la engorda.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Situación de la producción ovina en México

#### 2.1.1. Razas

En México, el porcentaje de ovinos de pelo está en aumento de acuerdo a los registros de la Asociación Mexicana de Criadores de Ovinos, representando el 80% de los ovinos que se registran en el país (Partida de la Peña *et al.*, 2013). Sin embargo existen ocho razas de ovinos que se explotan masivamente: Rambouillet, Suffolk, Hampshire, Dorset, Pelibuey, Black-Belly, Katahdin y Dorper, siendo las anteriores el número más importante del inventario de las más de 800 razas existentes en nuestro país (FAO, 2010). Cabe mencionar que existen pequeños núcleos de otras razas como Saint Croix, Romanov, Texel, East Friesian, Dorper Blanco, Damara, Charolais, Arcot y ovino criollo (Arteaga, 2012).

SIAP (2011) reportó un inventario de 8' 219,386 cabezas de ovinos en producción en México, de las cuales 52% se establecen en la región centro y con afinidad a la producción cárnica por razas lanares como Suffolk, Hampshire, Rambouillet y Dorset. En lo que respecta a la zona sur, representa el 23% de la población, predominando las razas de pelo como Pelibuey, Black-Belly, Katahdin y Dorper, además de algunas cruzas.

La zona norte es la menos poblada con tan solo 11% de la población nacional predominando la raza Pelibuey debido a las condiciones climáticas de la región noroeste del país; los productores utilizan dicha raza por que ha demostrado una mayor capacidad reproductiva, rusticidad y adaptación (Macías-Cruz *et al.*, 2007), seguida por rebaños de raza Rambouillet. 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. El restante 14% de la población nacional se localiza en la parte occidente del país, lugar en el cual predominan razas de pelo, sin embargo, existen sementales de razas tipo lana productoras de carne.

### **2.1.2. Tipos de explotaciones**

La producción ovina se desarrolla en la mayoría de los países de todo el mundo, principalmente China, Australia, Nueva Zelanda, Irán, Reino Unido, Turquía e India, que son los siete países de mayor producción en el 2008, observando una relación directa entre población y producción de carne, es decir, a mayor población mayor producción, sin embargo, también interfiere el factor eficiencia de producción y el capital disponible para la producción, por lo que existen países con poca población animal pero mayor productividad por animal, como el caso de Nueva Zelanda, Reino Unido y Turquía (Sistema Producto Ovinos, 2009).

En México, la mayor producción ovina se localiza en el centro del país con 53%, seguida por 24% en el sur-sureste y el restante 23% en el norte (Muciño-Castillo, 2014). 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 así como algunas 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), sin embargo, Oaxaca y Chiapas utilizan animales criollos para producir lana, materia prima requerida en sus artesanías. Por otra parte, la zona norte se dedica a la producción de carne, aunque mantiene pequeñas poblaciones de ovinos de lana debido a que fue la principal proveedora de lana en épocas pasadas, pero más recientemente se han

introducido razas de pelo (Pelibuey, Katahdin y Dorper) que reemplazaron a las anteriores (Partida de la Peña *et al.*, 2013)

Según Martínez-González *et al.* (2010) existen diferentes sistemas de producción de ovinos que son clasificados en cuatro categorías:

- 1) La empresarial; en este sistema generalmente la finalidad es la alta productividad.
- 2) La ganadería social o tradicional; en este tipo de explotaciones no se busca obtener un volumen de producción alto ni un producto de calidad.
- 3) La combinación de sistemas; dicho sistema combina el método estabulado con el de pastoreo.
- 4) La de pasatiempo; este tipo de sistema sólo se desarrollada con fines recreativos y no productivos (Arteaga, 2006; De Lucas y Arbiza, 2006).

Entre los sistemas actuales, los tecnificados se encuentran en los estados de Veracruz (45), Zacatecas (75), Estado de México (95), Jalisco con (125), clasificados por un indicador de producción de acuerdo con el inventario de animales/toneladas de producción de carne; entre menor es el indicador, mayor es la productibilidad (Martínez-González *et al.*, 2010).

## **2.2. Uso de promotores del crecimiento**

### **2.2.1. Tipos de promotores de crecimiento**

Existen en el mercado una amplia gama de promotores del crecimiento (colorantes, saborizantes, aceites, antibióticos, implantes, probióticos, etc), ya que se considera así a todo aquel producto que aumente la ganancia de peso de un animal, sin embargo, esta revisión se enfocará únicamente a los AA- $\beta$ , de los cuales no todos ejercen la misma acción, ya que las células y los tejidos varían en la expresión de tipos de receptores adrenérgicos- $\beta$  y las vías metabólicas vinculadas a ellos. Por la misma razón, la magnitud

de los efectos agonistas- $\beta$  sobre el metabolismo de la grasa también se asoció con la dosis y la duración del tratamiento, el tipo de agonista- $\beta$  y la especie (Strydom *et al.*, 2009).

En la década de 1980, la investigación estaba en curso con la evaluación de los efectos de los agonistas adrenérgicos- $\beta$  sobre el crecimiento y los mecanismos en acción de los animales de carne (Etherton y Smith, 1991; Mersmann, 1998). El primer AA- $\beta$  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). Posteriormente se hicieron estudios con cimaterol, que es estructuralmente similar a clenbuterol, y se encontró que tenía efectos similares relacionados con la hipertrofia muscular y la lipólisis en cuanto al aumento de peso en corderos castrados (Beermann *et al.*, 1986, 1987; Wang y Beermann, 1988), corderos intactos y novillos (Hanrahan *et al.*, 1986). Por su parte, el clorhidrato de ractopamina (CR) ha demostrado ser un agonista eficaz para estimular el crecimiento en cerdos (Abney *et al.*, 2007), además de no ser nocivo para el humano, por lo cual la FDA lo aprobó en cerdos y ganado bovino para carne. Más recientemente, otro AA- $\beta$ , el clorhidrato de zilpaterol (Intervet Inc., Millsboro, DE), fue aprobado por la FDA para su uso en el ganado bovino de engorda. Los estudios han demostrado que el clorhidrato de zilpaterol suplementado por 20 a 40 d al final del período de engorda mejora el crecimiento del ganado y la deposición de músculo (Leheska *et al.*, 2009; Montgomery *et al.*, 2009a, b).

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). Sin embargo, es necesario aclarar que aún y cuando un medicamento sea tóxico o perjudicial, o deje residuos en el

organismo, no indica que todos los análogos a estos productos reaccionan de la misma manera; el porqué de este problema no se hace extensivo a otros AA- $\beta$  que tienen autorizada su venta (Ractopamina, Zilpaterol), ya que la respuesta broncodilatadora y cardiovascular es aproximadamente 2000 veces menor que la observada con clenbuterol (Sumano *et al.*, 2002).

Los beneficios por el empleo de promotores de crecimiento son que incrementan la productividad y la eficiencia alimenticia en el ganado, reducen los costos de producción, mejoran la calidad del producto, mejoran la excreción de desechos nitrogenados al medio ambiente y disminuyen la presión sobre ecosistemas frágiles (Sillence, 2004).

### **2.2.2. Mecanismos de acción de los agonistas adrenérgicos- $\beta$ (AA- $\beta$ )**

El mecanismo de un receptor adrenérgico-beta (RA- $\beta$ ) *in vivo* puede ser extremadamente confundido con una parte o incluso con la mayor parte de los efectos finales resultantes de eventos secundarios causados por respuestas hormonales o fisiológicas de numerosos tejidos (Mersmann, 1998). La afinidad del RA- $\beta$  y su composición química determina la actividad biológica de los AA- $\beta$  en cuanto a su absorción, distribución, metabolismo y eliminación de residuos, al igual que ocurre naturalmente con las catecolaminas (Mersmann, 1998).

La función fisiológica de un AA- $\beta$  se hace evidente solo después de haberse ligado a un RA- $\beta$ , de los cuales se conocen tres subtipos de receptores:  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  y  $\beta_3$ , y estos difieren en el largo de la cadena de aminoácidos (Strosberg, 1993). Mersmann (1998) indica que los RA- $\beta$  se han encontrado en la mayoría de los mamíferos; no obstante, su distribución y proporciones son variables de un tejido a otro en las diferentes especies animales. Sin embargo, se describe la presencia del  $\beta_1$  en el miocardio, además en el

músculo liso intestinal y los receptores  $\beta_2$  presentes en el sistema nervioso central, en el conducto bronquial y en músculo uterino (Mersmann, 1998).

Estas moléculas orgánicas (RA- $\beta$ ), al ligarse con los AA- $\beta$ , forman un complejo agonista-receptor, el cual estimula a la proteína Gs que a su vez estimula a la enzima adenil ciclasa, mecanismo por el cual se incrementan los niveles de adenosin monofosfato cíclico (AMPC), mensajero químico intracelular relacionado con la regulación de la proteína kinasa A (PKA), liberando la subunidad catalítica que fosforila a numerosas proteínas intracelulares (Mersmann, 2002; Domínguez-Vara, 2009). Estas realizan una amplia gama de funciones, como permitir la entrada de Ca hasta influir en la síntesis de proteínas, clave para el funcionamiento celular (Sumano *et al.*, 2002). Mersmann (2002) menciona que los RA- $\beta$  consisten en una proteína que atraviesa la membrana celular siete veces, formando tres asas intracelulares y tres extracelulares a las que se unen la adrenalina y noradrenalina. Estas hormonas son causantes del estímulo del receptor ocasionando una respuesta (Luna *et al.*, 1990), que puede ser una modificación del metabolismo, elevación en los títulos de somatotropina y tiroxina, de forma inversa en hormonas como insulina y el factor de crecimiento de la insulina tipo 1 (Zamiri *et al.*, 1995).

Los AA- $\beta$  también pueden activar células no musculares como las células pancreáticas, las cuales al ser estimuladas por dosis agudas de AA- $\beta$  liberan insulina, hormona anabólica con potentes efectos sobre el metabolismo de la proteína muscular creando un ambiente ideal para estimular la acumulación de proteínas (Yang y McElligott, 1989). Varias actividades de proteasa a menudo se reducen, o bien la concentración de inhibidores de la proteasa se incrementa por el tratamiento con AA- $\beta$  (Wang y Beermann, 1988; Sainz *et al.*, 1993). Debido a la gran variedad en los tipos de células de mamíferos con RA- $\beta$  en la superficie de la membrana, es posible que existan múltiples efectos de un

RA- $\beta$  por un AA- $\beta$  específico. Entre los efectos indirectos se menciona el aumento del flujo sanguíneo en algunas regiones del cuerpo. Un aumento en el flujo sanguíneo al músculo esquelético puede mejorar el proceso de hipertrofia mediante la entrega de cantidades mayores de sustratos y fuentes de energía para la síntesis de proteínas (Domínguez-Vara *et al.*, 2009). Eisemann *et al.* (1988) reportaron un aumento del flujo sanguíneo hacia las extremidades posteriores del ganado que recibió una administración aguda y crónica de un AA- $\beta$ . Sin embargo, no todos los AA- $\beta$  generan una respuesta similar en todas las especies debido a la variación de algunos receptores de una especie a otra, generada por una inadecuada activación de los receptores o la baja presencia de éstos en el tejido blanco (músculo y grasa). Por lo tanto, es complicado predecir con claridad el efecto en el metabolismo energético de un AA- $\beta$  (Domínguez-Vara *et al.*, 2009).

### **2.2.3. Uso de agonistas adrenérgicos- $\beta$**

Después de 50 años de desarrollo, los agentes anabólicos y/o repartidores exógenos siguen siendo el medio más eficaz y fiable para alterar la deposición de grasa y producción de carne magra en el ganado. Dichos compuestos pueden ser usados con un mínimo impacto en el bienestar animal y en la salud del consumidor (Sillence *et al.*, 2004).

En los ovinos su uso podría ser muy acertado porque no han sido forzados a un método de selección para crecimiento rápido, por lo que la expresión de la tasa de crecimiento puede ser menor que en las especies sometidas a una alta presión de selección genética para su rápido crecimiento (Mersmann, 2002). Sin embargo, hasta el momento no se ha establecido una dosis o periodo de administración.

En un estudio realizado por Nourozi *et al.* (2008) con ovejas raza Moghani, se experimentó con tres concentraciones de metaproteronol y terbutalina (5, 10, 20 mg/kg

MS), indicando que metaproterenol provoca una repartición de nutrientes, resultando en una mayor eficiencia de la alimentación, aumento del peso la canal y reducción de la grasa en la región de la cola. El metaproterenol fue más eficaz sobre los parámetros de engorda y características de la canal que terbutalina (Nourozi *et al.*, 2008).

Al evaluar el efecto de dos AA- $\beta$  sobre el rendimiento y características de la canal en comparación con el testigo (T), el promedio de ganancia y eficiencia alimenticia diaria mejoraron con clorhidrato de ractopamina (CR), pero el peso final, ganancia media diaria y eficiencia alimenticia fueron mejores en el grupo suplementado con zilpaterol. No se detectaron diferencias en las características de la canal entre el grupo T y la administración del suplemento ractopamina. Se llegó a la conclusión de que el rendimiento del crecimiento aumentó al suplementar AA- $\beta$  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- $\beta$  clorhidrato de zilpaterol, ya que produjo una mayor respuesta en los corderos de engorde intensiva que el compuesto AA- $\beta$  clorhidrato de ractopamina (López-Carlos *et al.*, 2010; López-Carlos *et al.*, 2011).

López-Carlos *et al.* (2010) experimentaron con 3 niveles de CZ (0.10, 0.20, 0.30 mg/kg PV/d) junto con tres niveles de CR (0.35, 0.70, 1.05 mg/kg PV/d) durante 42 d con ovinos Dr x Kh, observando un incremento lineal entre las diferentes dosis para peso final (PF), ganancia total y GDP, sin embargo, el consumo presentó un efecto cuadrático para CZ y lineal para CR. Los autores concluyeron en recomendar que la dosis para alcanzar el nivel máximo de GDP y CMS es de 0.20 mg/kg PV/d para CZ y de 1.05 mg/kg PV/d para CR debido a que a estos niveles no afectaron el CMS.

Estudios previos han demostrado que AA- $\beta$  como el CZ es un producto positivamente activo en cuanto a ganancia diaria de peso, peso final, peso de la canal,

rendimiento de la canal y área del músculo *Longissimus*, entre otras características de importancia económica (Avendaño *et al.*, 2011; López Carlos *et al.*, 2011). Investigaciones preliminares han demostrado que la modificación de la dosis de AA- $\beta$  durante el periodo de finalización puede ser de gran importancia y utilidad para compensar la desensibilización en los cerdos (See *et al.*, 2004; Canchi *et al.*, 2010), sin embargo, la posibilidad de mejorar la respuesta a los AA- $\beta$  con este enfoque no ha sido investigada en ganado ovino.

La mayoría de los estudios reportados se realizan con la administración de dosis constantes de AA- $\beta$  durante un tiempo establecido para todos los tratamientos, sin embargo, la administración de AA- $\beta$  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  $\beta$ -adrenérgicos (Mills, 2002).

Se ha mencionado también una aparente mejora en la retención de energía, pudiendo ser el efecto directo de la administración de AA- $\beta$  en la dieta expresado en un alta conversión a proteína por el crecimiento de tejido muscular (Ríos-Rincón *et al.*, 2010). En ovinos y bovinos se ha observado que aumenta el peso de los músculos en 40%, pero que la magnitud de la respuesta varía dependiendo del AA- $\beta$  suministrado, así como de la influencia de factores como la especie, la raza, la edad, el sexo y la dieta (Mersmann, 1998).

Domínguez-Vara *et al.*, (2009) concluyen que la implementación en la dieta con AA- $\beta$  modifica el metabolismo celular mejorando la eficiencia productiva y la calidad de la carne en bovinos y ovinos, aunque los resultados pueden variar por diferentes factores.

#### **2.2.4. Residuos de agonistas adrenérgicos- $\beta$ en tejido**

El uso de promotores de crecimiento en la producción pecuaria se ha convertido en una herramienta complementaria para la producción de carne, generando beneficios económicos. No obstante, el empleo de alguna de estas sustancias podría llegar a ocasionar problemas de salud en los consumidores (Jiménez-Servín de la Mora *et al.*, 2011). Sin embargo, no se han documentado efectos tóxicos en bovinos sobredosificados, al igual que en humanos que han ingerido productos cárnicos derivados del uso de estos agentes (Sumano *et al.*, 2002). Por otra parte, en México, entre los años 2002 a 2008, se han notificado 2,130 casos de intoxicación por clenbuterol. Jalisco, Distrito Federal, Guanajuato, Zacatecas y Michoacán, son las entidades que más casos han presentado (85.35% del total), siendo Jalisco el estado con mayor número de casos con 35.25%, seguido del Distrito Federal con 23.94%. Ha habido un aumento de casos por año, sin embargo, en 2008 disminuyeron debido, en parte, al fortalecimiento en la búsqueda y notificación de la enfermedad (Jiménez-Servín de la Mora *et al.*, 2011).

Entre las ventajas o beneficios que esta sustancia puede proporcionar están: el aumento de masa corporal, la disminución de grasa en el cuerpo; a las personas que tienen un problema respiratorio, les ayuda abriéndoles los bronquios para una mejor respiración. Algunas de las desventajas son que a las mujeres a edad temprana les perjudica en su desarrollo hormonal haciendo que su periodo empiece antes, y en el caso de los hombres puede producir la aparición de seno parecido al de las mujeres.

Entre los efectos secundarios del clenbuterol se encuentran: los dolores de cabeza, temblores musculares, calambres, nerviosismo, insomnio y sudoración excesiva, así como aumento del apetito, náuseas y palpitaciones. Los residuos de clenbuterol pueden afectar

las funciones de los pulmones y el corazón en seres humanos que ingieren carne o hígado de animales a los que les ha sido administrado clenbuterol (Sumano *et al.*, 2002).

La eliminación por vía intravenosa de estos promotores de crecimiento es predominantemente renal, mientras que las dosis vía oral son eliminadas por biotransformación (Morgan, 1990), la cual está determinada también por factores ambientales o genéticos y por la interacción con otros medicamentos, por lo que los efectos pueden cambiar de un individuo a otro (variación inter-individual) o inclusive en el mismo individuo (variación intra-individual) a diferentes dosis (Brès *et al.*, 1985).

Los AA- $\beta$  como clenbuterol, salbutamol, terbutaline y CR se unen a la melanina en pelo y tejido pigmentado del ojo y pueden ser detectados en estos tejidos por más tiempo del que se detectan en cualquier otro como músculo y vísceras (Smith, 2002).

Para fines de control de residuos y especialmente para análisis confirmatorio, el tejido de la retina es el más adecuado debido a la persistencia de los residuos en esta matriz y porque el riesgo de contaminación externa es muy pequeña debido al estado autónomo de este compartimiento. Por lo tanto, la retina es recomendable como la matriz de destino para la identificación y control de esta sustancia prohibida (Stachel *et al.*, 2005).

Sin embargo, la retina presenta el inconveniente que sólo está disponible después de la matanza del animal. Por otra parte, la orina es recomendable como objetivo de análisis para el control de las explotaciones debido a su fácil disponibilidad (Stachel *et al.*, 2005).

### **2.3. Clorhidrato de Zilpaterol en la engorda ovina**

#### **2.3.1. Comportamiento en corral**

Se ha informado sobre mejoras en la tasa de crecimiento por la administración oral de AA- $\beta$  en finalización de los corderos (Aguilera-Soto *et al.*, 2008; Estrada- Angulo *et al.*,

2008; López-Carlos *et al.*, 2010). Estudios realizados en ovinos que recibieron CZ resultaron en 60% mejor ganancia de peso, siendo GDP y CA los parámetros principalmente afectados por los AA- $\beta$  (Salinas-Chavira *et al.*, 2004). Sin embargo, cabe mencionar que existen estudios realizados con ovinos alimentados con CZ (Anaya *et al.*, 2005; López *et al.*, 2003; Salinas-Chavira *et al.*, 2006; Mondragón, 2008), donde no se mejoró la respuesta productiva. Las inconsistencias en los resultados pueden tener su origen en que hasta el momento no se ha determinado la dosis del CZ en ovinos, por lo que se han realizado diferentes estudios para determinar los tiempos y las cantidades a suplementar del AA- $\beta$  CZ.

Avendaño *et al.* (2011) reportan un efecto significativo al aplicar una dosis constante de 10 mg/d/animal durante 32 d en el comportamiento en corral (PF y GDP), sin embargo, López-Carlos *et al.* (2010) utilizaron tres niveles de CZ (0.10, 0.20, 0.30 mg/kg PV/d), concluyendo que para alcanzar el nivel máximo de GDP es necesario suministrar 0.20 mg/kg PV/d, sin afectar el CMS.

Por otra parte, Macías-Cruz *et al.* (2010) reportaron un efecto similar en ambos tratamientos sobre el comportamiento en corral de ovejas suplementadas y no suplementadas con CZ sometidas a estrés por calor después de un periodo de alimentación de 34 d.

### **2.3.2. Características de la canal**

Los aditivos se han utilizado como promotores del crecimiento animal y uno de ellos, el clorhidrato de zilpaterol, ha demostrado mejorar la eficiencia de la ganancia de peso mediante la estimulación de receptores adrenérgicos- $\beta$  en las membranas celulares (Cañas y Mersmann, 1991). Numerosos estudios han demostrado el efecto positivo que

brinda el adicionar CZ en la alimentación de animales en producción. López-Carlos *et al.* (2010) reportaron un aumento de 3% en el rendimiento de la canal caliente y 5% más en el rendimiento de la canal fría en corderos Rambouillet suplementados con 0.3 mg de CZ/Kg de MS. Macías-Cruz *et al.* (2010) indicaron que las variables peso de la canal caliente y fría, rendimiento de la canal, conformación y área de ojo de costilla fueron mayores para las ovejas suplementadas con 10 mg ZH/d en condiciones de estrés por calor. Resultados similares fueron encontrados por Avendaño-Reyes *et al.* (2011) en el peso caliente y fría de la canal, rendimiento de la canal y la puntuación de conformación, los cuales se mejoraron en el grupo tratado con 10mg/oveja/d en comparación con el grupo no tratado.

Ríos-Rincón *et al.* (2010) reportaron aumentos por la suplementación de CZ en el peso de la canal de 6.9%, en el rendimiento de la canal de 2.3% y reducción en grasa renal, pélvica y cardíaca (KPH) de 11.4%. Por lo tanto, los autores concluyen que es recomendable suplementar CZ durante los últimos 30 d de la engorda a un nivel de 0.18 mg/Kg de peso corporal/d, ya que aumentó notablemente el rendimiento de la canal en corderos. Por su parte, Salinas-Chavira *et al.* (2006) no encontraron efecto en el músculo de ovejas Pelibuey al adicionar 10 ppm/CZ/d en pastoreo durante los últimos 20 y 30 d, siendo el único efecto encontrado la reducción de la grasa subcutánea en los animales suplementados, por lo que se concluye que el adicionar CZ durante 20 d es suficiente para expresar dicho efecto en condiciones de pastoreo.

El efecto que se observa de hipertrofia del músculo, ya sea porque se reduce su degradación o por que se aumenta la síntesis de proteína muscular al utilizar AA- $\beta$  en la dieta, se relaciona posiblemente con los niveles de calpaína, proteína que ha sido implicada en un inicio como un posible paso para la degradación muscular. Por tanto, se establece la teoría de que dicha proteína pudiera ser la reguladora de la degradación de proteína

muscular. Wheeler y Koohmaraie (1992) encontraron que alimentar con AA- $\beta$  se incrementa la actividad de la calpastatina del músculo, reduciéndose de ese modo la proteólisis postmortem y la terneza.

La suplementación con AA- $\beta$  ha aumentado la masa proteica del músculo esquelético que a menudo se asocia con una disminución de la masa de tejido adiposo (Byrem *et al.*, 1998; Mersmann, 1998, 2002). Sin embargo, al aumentar el periodo de retiro por 6 ó 12 d se afecta negativamente el rendimiento de la canal, aumento de la grasa KPH, pero no existe efecto sobre el marmoleo.

### **2.3.3. Rendimiento en cortes primarios**

Los promotores del crecimiento se utilizan en varios países para mejorar el rendimiento del ganado, el aumento de la eficiencia magra y el rendimiento de la carne mientras se esfuerza por mantener la calidad de la misma. Sin embargo, Avendaño-Reyes *et al.* (2011) encontraron un efecto del CZ en el rendimiento de cortes, donde el cuello fue más ligero y el lomo tendió a ser mayor para corderos suplementados con ZH que en corderos T; el resto de los cortes no se afectaron por efecto del ZH. 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 T, 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. Por lo que los autores concluyen que la causa de encontrar un efecto constante a aumentar en los cuartos traseros se debe a la dominancia en porcentaje de fibras tipo II, las

cuales muestran una mayor respuesta al estímulo del CZ. Shook *et al.* (2009) coinciden con lo mencionado mencionado por Dikeman (2007) y Plascencia *et al.* (2008), al encontrar una mayor respuesta por los cuartos traseros que en los del cuarto delantero, difiriendo solamente en no encontrar efectos negativos en otros cortes de la canal.

Aunque los agonistas adrenérgicos-beta 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). Se ha observado que la suplementación de ganado para engorda con CZ por 30 o 40 d antes del sacrificio aumentó la resistencia al corte (Holmer *et al.*, 2009). La suplementación de novillos por 30-50 d en Sudáfrica aumentó la fuerza de corte en 20 a 28% (Strydom y Nel, 1999; Strydom *et al.*, 2007). Avendaño-Reyes *et al.* (2006) evaluaron y compararon los efectos de la suplementación de dos AA- $\beta$ , el clorhidrato de ractopamina (300 mg/novillo/d) y clorhidrato de zilpaterol (60 mg/novillo/d) durante los últimos 33 d en una dieta de alto contenido de grano, encontrando que aunque el esfuerzo de corte fue mayor en el grupo suplementado con CZ, la clasificación general de la dureza de la carne no mereció la calificación de carne "dura".

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. Localización del área de estudio**

El experimento se desarrolló en las instalaciones de la unidad Experimental Ovina del Instituto de Ciencias Agrícolas, en la Universidad Autónoma de Baja California, ubicadas al norte de Baja California, estado localizado al noroeste de México (latitud 114.6° y longitud 32.8°). Esta zona del país cuenta con clima extremo, tanto en la época de invierno como en verano (-8°C a 50°C respectivamente). El experimento se desarrolló de febrero a abril de 2012 con el fin de tener un punto termoneutral sobre las condiciones climáticas, con un promedio esperado de 21°C en la época de primavera.

#### **3.2. Trato de los animales experimentales**

El presente estudio se realizó utilizando las indicaciones señaladas en las normas locales para el cuidado 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; NOM-EM-015-ZOO-2002: disposiciones técnicas para el control del uso de los beta agonistas en animales). Además, las técnicas y procedimientos empleados estuvieron de acuerdo con las disposiciones de la Guía para el Cuidado y Uso de Animales Agrícolas de Investigación y Enseñanza (FASS, 2010).

#### **3.3. Animales y manejo**

Se utilizaron 24 corderos machos cruzados Dorper x Pelibuey, los cuales tenían una edad y peso promedios de 4 meses y 30.93±2.63 kg, respectivamente. El estudio tuvo una duración total de 47 d, de los cuales 15 d fueron de adaptación y 32 d de periodo

experimental (30 d de consumo del promotor de crecimiento y 2 d de retiro). A la llegada de los animales se les aplicó desparasitantes externo e interno (Ivermectina; Sanfer Laboratorio, Ciudad de México, México; 0.5 ml/animal), además de una aplicación vía intramuscular profunda de vitaminas A, D, E (Vigantol ADE Fuerte; Bayer, Ciudad de México, México; 1 ml /animal). Se alojaron inicialmente en un corral de adaptación donde se les proporcionó una dieta de 100% de alfalfa, la cual gradualmente se modificó a la dieta base para finalización. El Cuadro 1 muestra los ingredientes que componen la dieta base y su análisis bromatológico. Después del periodo de adaptación, los corderos se colocaron en corraletas individuales (0.60 m de ancho x 1.5 m de largo) que contaban con bebedero y comedero individual, además, de sombra. Los corrales estuvieron ubicados de norte a sur con doble fila, resultando en un total de 24 corraletas individuales.

#### **3.4. Tratamientos y procedimiento experimental**

Al inicio del estudio se pesaron individualmente los corderos y este peso se usó como factor de bloqueo. De acuerdo al peso inicial, se formaron grupos de 3 animales, a los cuales se les asignaron aleatoriamente los 3 tratamientos, formándose 8 bloques con 3 animales cada uno. El estudio se dividió en dos periodos para facilitar la evaluación del tratamiento CZ15 del día 1 al 15 y del día 16 al 30, además de una evaluación del periodo completo del día 1 al 30. Así, los tratamientos fueron: 1) corderos alimentados sólo con dieta base sin AA- $\beta$  (T); 2) corderos alimentados con dieta base y suplementados con 10 mg de CZ/d durante 30 d (CZ30); y 3) corderos alimentados con dieta base y suplementados con 20 mg de CZ/d durante los últimos 15 d del experimento (CZ15). Esta dieta se proporcionó en los horarios 07:00 y 17:00 h. A 24 h de ofrecido el alimento se retiró el rechazo individualmente y se pesó para calcular el alimento consumido. Los bebederos se limpiaron diariamente durante los 32 d del periodo experimental. Los

animales se pesaron a los 15 d del experimento y al final de éste, además se calculó la GDP (dividiendo el peso obtenido del d 1 al 30 entre el tiempo del estudio), GPT (restando peso inicial al peso final) y el consumo de alimento se registró de manera diaria. Por último, se calculó la conversión alimenticia (dividiendo el consumo de alimento entre peso ganado).

**Cuadro 1.** Ingredientes y composición química de la dieta base usada en la alimentación de ovinos de pelo en durante el estudio.

<b>Ingredientes %</b>	<b>T</b>	<b>CZ30</b>	<b>CZ15</b>
Trigo molido	61.8	61.8	61.8
Heno de alfalfa	28.0	28.0	28.0
Harina de soya	4.0	4.0	4.0
Melaza	4.0	4.0	4.0
Sal común	0.2	0.2	0.2
Fosfato de calcio	1.0	1.0	1.0
Piedra caliza	1.0	1.0	1.0
CZ, mg/animal/d	0.0	10.0	20.0
<b>Composición química (en base MS)</b>			
PC, %	14.87	14.87	14.87
MS,%	92.58	92.58	92.58
Humedad,%	7.42	7.42	7.42
Cenizas,%	6.61	6.61	6.61
FDN,%	24.47	24.47	24.47
FDA,%	11.13	11.13	11.13

T= Sin CZ; CZ15=Suplementación de CZ los últimos 15 d; CZ30=Suplementación de CZ por 30 d; FDA=Fibra detergente ácida; FDN=Fibra detergente neutra; PC=Proteína cruda; CZ=Clorhidrato de Zilpaterol; MS=Materia seca.

### **3.5. Características de la canal**

El sacrificio inició a las 08:00 h del día 33 del experimento, por lo cual todos los corderos fueron ayunados 24 h previas. Los animales se transportaron al Taller de Carnes del mismo ICA-UABC, donde fueron sacrificados por el método de degüelle. La sangre fue colecta para registrar su peso. Después del sacrificio, se limpiaron las canales retirando piel, patas, cabeza, testículos, sangre, corazón, riñón, hígado, bazo, pulmón, tracto gastrointestinal, y la grasa KPH. Todos estos órganos y viseras fueron pesados individualmente por cordero. En el caso del tracto gastrointestinal, éste se pesó lleno y vacío. El peso de canal caliente (PCC) también se registró para posteriormente almacenar la canal en un cuarto frío por 24 h a 4° C. Al término del almacenamiento, la canal se pesó nuevamente para registrar el peso de la canal fría (PCF), asimismo se evaluó conformación y longitud de canal. Se evaluó la conformación de la canal tomando como valor 1 los animales con pobre conformación y 10 los animales con excelente conformación, siguiendo la metodología de Smith (2001). La longitud de la canal se midió a lo de la línea media dorsal, iniciando en la última vértebra cervical y finalizando en la última vértebra sacra. Posteriormente, se realizó un corte entre la 12<sup>a</sup> y 13<sup>a</sup> costilla para medir el área del ojo de la costilla (AOC), la cual se registró utilizando una imagen del músculo para ser calculada con un medidor de área foliar de bancada (Marca LI-COR, Modelo LI-3100C). El grosor de la grasa dorsal (mm) se midió utilizando una regla fabricada en acero inoxidable colocada perpendicularmente sobre la 12<sup>a</sup> costilla, a dos tercios hacia fuera de la línea media dorsal; dicha medición se realizó en el lado derecho de la canal (USDA, 1992). La longitud de la pierna (cm) se midió de la zona dorsal de la pierna a la zona de los tarsos, mientras que el diámetro de la pierna (cm) se midió utilizando alrededor de la parte media de la pierna; dichas mediciones se realizaron con ayuda de una cinta métrica.

Para la medición del rendimiento en cortes primarios se obtuvieron los pesos (kg) de los cortes y se expresaron en base al PCC. Las canales fueron seccionadas en los cortes primarios (cuello, paleta, costillar, lomo largo, lomo corto, faldilla y pierna), los cuales fueron pesados para calcular su rendimiento expresando su peso en porcentaje del PCC. De la misma forma, los pesos de las vísceras se expresaron como porcentajes del peso final.

### **3.6. Variables de respuesta medidas**

Las variables de respuesta medidas en corral fueron: peso inicial, peso a 15 d, peso final, GPT, GDP, consumo de alimento y conversión alimenticia. Mientras que las variables evaluadas en canal fueron: PCC y PCF rendimiento en canal, AOC, conformación, espesor de la grasa dorsal, grasa KPH, longitud de la canal, profundidad del tórax, longitud y perímetro de la pierna. Las vísceras analizadas fueron: sangre, piel, cabeza, testículos, patas, corazón, riñón, hígado, bazo, pulmón, rumen-omaso-abomaso, intestinos, tracto-gastro-intestinal. Finalmente, los cortes fueron: cuello, paleta, costillares, costilla, lomo largo, lomo, lomo corto, faldilla y pierna.

### **3.7. Análisis estadístico**

Las variables de respuesta se sometieron a un análisis de varianza bajo un diseño de bloques completamente al azar, donde el factor de bloqueo fue el peso inicial. Para las diferencias entre medias se utilizaron contrastes ortogonales, comparando: a) el promedio de los grupos tratados con CZ (CZ15 y CZ30) vs el grupo T (CZ vs T), y b) entre los grupos tratados (CZ15 vs CZ30). Se usó un nivel de error de 5% y las tendencias se consideraron a probabilidades de entre 0.05 y 0.10. Los datos se analizaron con el procedimiento Mixed (PROC MIXED) del programa estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2004).

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Comportamiento productivo.

En el cuadro 2 se presentan los resultados del comportamiento productivo en corral. Al comparar T vs CZ no se encontró ningún efecto en peso a 15 y 30 d. Sin embargo, el pesos a 15 d se observó tendencia ( $P=0.09$ ) a ser mayor en el grupo CZ15 comparado con el grupo CZ30 al igual que el peso a 30 d presento una tendencia ( $P=0.07$ ). Al evaluar el periodo del día 1 al 15, no se encontraron diferencias ( $P>0.05$ ) en GPT, GDP, consumo de alimento, ni conversión alimenticia. Por otra parte, al evaluar el periodo 16 a 30 d, se observa que la GPT y GDP tendieron ( $P=0.07$ ) a ser mayores en los animales suplementados con CZ en relación con los corderos T. La conversión alimenticia fue mejorada ( $P<0.05$ ) en el periodo del 16 al 30 d por ovinos CZ en relación a los T y dentro de los grupos suplementados, el grupo CZ15 obtuvo mejor ( $P<0.05$ ) conversión alimenticia en relación a CZ30. Por último, al evaluar el periodo completo del día 1 al 30, no se encontraron diferencias ( $P>0.05$ ) al comparar corderos T con los corderos CZ. Sin embargo, al comparar las estrategias de suplementación, de 1 a 30 d se detectaron tendencias ( $P=0.09$ ) a obtener un mayor GPT y GDP en el grupo CZ15 en relación al CZ30.

### 4.2. Características de la canal

El Cuadro 3 indica los resultados para las distintas variables relacionadas con características de la canal. Se encontró una diferencia ( $P<0.05$ ) a favor de los animales CZ al compararlos con los T en PCC, PCF, rendimiento en canal y AOC. La grasa KPH se redujo ( $P<0.05$ ) en CZ al compararlo con T, asimismo, una tendencia ( $P=0.10$ ) y ( $P=0.05$ ) a mejorar la longitud y el perímetro de la pierna respectivamente. No se encontraron diferencias ( $P>0.05$ ) en el resto de las variables.

**Cuadro 2.** Comportamiento productivo de corderos finalizados bajo diferentes estrategias de alimentación con clorhidrato de zilpaterol.

Variables	Tratamientos			E.E.	Contrastes <i>P</i> =	
	T	CZ15	CZ30		T vs CZ	CZ15 vs CZ30
<b>Peso, Kg</b>						
Inicial	31.20	32.36	31.94	0.23	0.004	0.20
15 d	35.76	36.60	35.18	0.55	0.86	0.09
Final	38.78	41.88	39.05	1.00	0.19	0.07
<b>Día 1 al 15</b>						
Ganancia total, kg	5.81	5.53	4.52	0.46	0.19	0.14
GDP, kg d <sup>-1</sup>	0.387	0.369	0.301	0.03	0.19	0.14
CMS, kg d <sup>-1</sup>	1.37	1.34	1.26	0.06	0.41	0.40
CMS/GDP	3.61	3.83	4.35	0.37	0.31	0.34
<b>Día 16 al 30</b>						
Ganancia total, kg	3.03	5.28	3.88	0.66	0.07	0.15
GDP, kg d <sup>-1</sup>	0.202	0.352	0.258	0.44	0.07	0.15
CMS, kg d <sup>-1</sup>	1.52	1.52	1.39	0.08	0.52	0.27
CMS/GDP	6.11	3.92	5.72	0.6	0.04	0.02
<b>Día 1 al 30</b>						
Ganancia total, kg	8.84	10.81	8.39	0.93	0.51	0.09
GDP, kg d <sup>-1</sup>	0.294	0.360	0.280	0.03	0.51	0.09
CMS, kg d <sup>-1</sup>	1.44	1.43	1.33	0.06	0.40	0.23
CMS/GDP	5.23	4.18	4.88	0.41	0.19	0.25

CMS = Consumo de materia seca; GDP= Ganancia diaria de peso; T= Testigo; CZ15=Suplementación de CZ los últimos 15 d; CZ30=Suplementación de CZ por 30 d; CZ=Promedio de los grupos suplementados (CZ15+CZ30/2).

De la misma forma, la longitud y el perímetro de la pierna fueron mayores ( $P < 0.05$ ) en los animales suplementados con CZ que en los animales sin suplementar. Entre animales de los grupos CZ15 y CZ30 no se observaron diferencias importantes ( $P > 0.05$ ) en ninguna característica de la canal evaluada.

#### **4.3. Porcentaje de viseras y órganos**

Los porcentajes de órganos viscerales en corderos finalizados y suplementados con CZ se presentan en el Cuadro 4. Con excepción de la piel, no se encontró diferencia entre los corderos T y CZ en los porcentajes de órganos viscerales. Corderos T tuvieron mayor ( $P < 0.05$ ) porcentaje de piel que los corderos suplementados con CZ. Por otra parte, al comparar CZ15 contra CZ30, se detectó solo una tendencia ( $P = 0.08$ ) en el peso de la cabeza a favor de CZ30. No se encontró ninguna diferencia adicional ( $P > 0.05$ ) en el resto de estas variables viscerales al comparar corderos CZ15 con CZ30.

#### **4.4. Rendimientos de cortes primarios**

El Cuadro 5 muestra el rendimiento de los diferentes cortes. Se observa que el rendimiento del corte paleta mostró una diferencia a favor ( $P < 0.05$ ) del grupo T al compararlo con CZ. También se observó una tendencia ( $P = 0.06$ ) para el corte costillares en favor del grupo suplementado con CZ. Los otros cortes primarios no presentaron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre grupo T y CZ. Sin embargo, al comparar los tratamientos CZ15 vs. CZ30 no se encontró diferencia ( $P > 0.05$ ) en ningún de los cortes analizados.

**Cuadro 3.** Características de canal en corderos finalizados bajo diferentes estrategias de alimentación con clorhidrato de zilpaterol.

Variables	Tratamientos			E.E.	Contrastes <i>P</i> =	
	T	CZ15	CZ30		T vs CZ	CZ15 vs CZ30
Peso de canal caliente (kg)	17.45	19.53	18.50	0.41	<0.01	0.10
Peso de canal fría (kg)	17.20	19.23	18.28	0.43	0.01	0.14
Rendimiento en canal (%)	48.62	50.73	51.28	0.81	0.03	0.64
Área del ojo de la costilla (cm <sup>2</sup> )	13.39	16.39	16.60	0.64	<0.01	0.82
Conformación	6.75	6.94	6.94	0.23	0.51	0.999
Espesor de grasa dorsal (mm)	4.28	5.25	3.65	0.67	0.87	0.11
Grasa KPH (%)	8.99	6.18	6.23	0.58	0.002	0.96
Longitud de la canal (cm)	63.13	62.88	61.38	0.98	0.42	0.30
Profundidad del tórax (cm)	16.23	16.76	16.94	0.27	0.77	0.65
Longitud de la pierna (cm)	34.19	35.44	35.50	0.58	0.10	0.94
Perímetro de la pierna (cm)	44.25	46.63	45.82	0.76	0.05	0.46
Engrasamiento	2.50	3.13	2.88	0.31	0.20	0.57

T= Testigo; Z15=Suplementación de CZ los últimos 15 d; Z30=Suplementación de CZ por 30 d; CZ=Promedio de los grupos suplementados (CZ15+CZ30/2); EE= Error estándar.

**Cuadro 4.** Porcentaje de órganos viscerales en corderos finalizados bajo diferentes estrategias de alimentación con clorhidrato de zilpaterol.

Variables	Tratamientos			E.E.	Contrastes (valor de p)	
	T	CZ15	CZ30		T vs CZ	CZ15 vs CZ30
Sangre (%)	4.69	4.41	4.44	0.15	0.15	0.89
Piel (%)	9.40	8.29	8.39	0.26	0.005	0.77
Cabeza (%)	6.01	5.73	6.02	0.11	0.32	0.08
Testículos (%)	1.87	1.69	1.78	0.09	0.29	0.53
Patas (%)	2.40	2.42	2.29	0.09	0.70	0.34
Corazón (%)	0.46	0.44	0.47	0.02	0.88	0.32
Riñón (%)	0.33	0.33	0.33	0.01	0.92	0.95
Hígado (%)	2.33	2.10	2.23	0.11	0.25	0.45
Bazo (%)	0.24	0.22	0.21	0.02	0.26	0.57
Pulmón (%)	2.01	1.84	1.74	0.11	0.13	0.51
Rumen-omaso-abomaso (%)	3.10	3.07	2.87	0.15	0.49	0.38
Intestino (%)	2.84	3.11	2.77	0.25	0.76	0.37
Tracto gastrointestinal (%)	5.95	6.17	5.65	0.32	0.93	0.26

T= Testigo; Z15=Suplementación de CZ los últimos 15d; Z30=Suplementación de CZ por 30d; CZ=Promedio de los grupos suplementados (CZ15+CZ30/2); EE= Error estándar.

**Cuadro 5.** Rendimiento de cortes primarios en corderos finalizados bajo diferentes estrategias de alimentación con clorhidrato de zilpaterol (valores en % del peso de canal caliente).

Cortes	Tratamientos			E.E.	Contrastes (valor de p)	
	T	CZ15	CZ30		T vs CZ	CZ15 vs CZ30
Cuello	5.72	5.53	6.26	0.35	0.70	0.17
Paleta	29.55	27.62	27.57	0.61	0.02	0.95
Costillar	19.28	20.21	19.97	0.33	0.06	0.61
Costilla	9.73	10.23	10.09	0.30	0.26	0.74
Lomo largo	9.56	9.97	9.85	0.29	0.35	0.78
Lomo	17.72	16.92	17.90	0.92	0.78	0.47
Lomo corto	12.04	12.48	12.64	0.32	0.21	0.72
Faldilla	5.66	5.68	5.35	0.27	0.65	0.39
Pierna	27.46	28.73	28.41	0.52	0.10	0.67

T= Testigo; CZ15=Suplementación de CZ los últimos 15 d; CZ30=Suplementación de CZ por 30d; CZ=Promedio de los grupos suplementados (CZ15+CZ30/2); EE= Error estándar.

## V. DISCUSIÓN

### 5.1. Comportamiento productivo.

En el presente estudio se observó que la adición de CZ no mejoró la ganancia de peso ni tampoco alteró el consumo de alimento. Similarmente, Macías-Cruz *et al.* (2010) reportaron que el zilpaterol no afectó el crecimiento de corderos de pelo bajo condiciones de estrés calórico. En condiciones termoneutrales, López-Carlos *et al.* (2010) también encontraron que la suplementación de zilpaterol no mejoró la GDP ni afectó el consumo de alimento de los corderos durante su etapa de finalización. No obstante, otros estudios si han reportado una mayor GDP y GPT, pero sin efecto en el consumo de alimento por la suplementación de zilpaterol (Macías-Cruz *et al.*, 2013). Es posible que esta diferencia en resultados se deba a factores ambientales o genéticos. Moody *et al.* (2000) mencionan que al utilizar un AA- $\beta$ , generalmente se obtienen resultados positivos en la tasa de crecimiento, sin embargo, las variaciones en los resultados son comunes debido a que factores metabólicos y endocrinológicos pueden interactuar con los receptores los agonistas, y así promover fallas en el ajuste entre receptores y producto (CZ).

Cabe mencionar que en el presente estudio, la conversión alimenticia no fue afectada por CZ después de 30 d de tratamiento, no obstante, se encontró que en los últimos 15 d, los corderos alimentados con CZ necesitaron 1.3 kg menos de alimento para incrementar en 1 kg su peso vivo, lo cual puede ser explicado por la eficiencia alimenticia exhibida por los corderos alimentados solamente durante los últimos 15 d con el doble de la dosis recomendada. Esto sugiere que a mayor dosis de CZ, la conversión alimenticia se reduce mejorando la productividad por animal. Por su parte, en el periodo del estudio del

día 16 al 30, se observó una tendencia a aumentar la GPT y la GDP en favor de los animales suplementados con zilpaterol al final del periodo de engorda (CZ15).

Al evaluar diferentes tiempos de suplementación se encontró una disminución en conversión alimenticia en los animales suplementados por 15 d con una dosis doble. Además de expresar tendencias aumentar para peso a los 15 d, peso final, así como GPT y GDP. Estos datos difieren de lo reportado por López-Carlos *et al.* (2011), quienes mencionan no haber encontrado diferencias en conversión alimenticia al suplementar zilpaterol en diferentes periodos de tiempo, pero sí encontraron una diferencia significativa en GPT y una tendencia en GDP, al igual que lo reportado en el presente estudio.

## **5.2. Características de la canal**

Los efectos obtenidos por la suplementación de CZ en rasgos de la canal muestran un aumento en el PCC, PCF, rendimiento de la canal y área del AOC, asimismo, una tendencia a aumentar la longitud y perímetro de la pierna en el tratamiento de CZ. Similares resultados han sido obtenidos por Avendaño-Reyes *et al.* (2011) y Mondragón *et al.* (2010) al adicionar en la dieta de engorda CZ en ovinos de pelo. Esto puede ser un efecto ocasionado por AA- $\beta$  en la célula muscular (miocito) al unirse con su receptor (RA- $\beta$ ), incrementando la producción y retención de proteína, favoreciendo la hipertrofia muscular, mayormente en músculos del cuarto trasero del animal (Li *et al.*, 2000; Castellanos *et al.*, 2006). Por otra parte, en el presente estudio se redujo significativamente el porcentaje de grasa KPH al adicionar CZ a la dieta de finalización de los corderos, lo cual coincide con lo mencionado por Mondragón *et al.* (2010). Dicho resultado de grasa KPH puede deberse a que la administración de AA- $\beta$  aumenta la lipólisis y reduce la lipogénesis (Mersmman, 1998). Congruente con estos resultados, Estrada-Ángulo *et al.* (2008), Robles-Estrada *et al.* (2009) y Ríos-Rincón *et al.* (2010) reportaron la presencia de

menor grasa KPH en corderos suplementados con CZ. Aunque también existen varios estudios que indican que CZ no afecta la deposición de grasa corporal en ovinos (Salinas-Chavira *et al.*, 2004; Macías-Cruz *et al.*, 2010); situación que muestra lo conflictivo que es encontrar una respuesta consistente sobre el efecto de este agonista-beta en las características de canal.

Por otra parte, la comparación de estrategias de suplementación no detectó diferencias entre adicionar por 30 d 10 mg/animal/d en relación a 20 mg/animal/d durante 15 d, resultados que difieren de lo reportado por López-Carlos *et al.* (2011), quienes encontraron un aumento en PCC y rendimiento en canal caliente, además de una tendencia a disminuir el rendimiento en canal fría cuando alimentaron a los corderos durante un periodo menor a 14 d. Sin embargo, no reportaron diferencias en PCF y AOC. Por otra parte, en becerros de engorda en corral, Elam *et al.* (2009) observaron un aumento lineal en AOC, siendo mayor en los animales suplementados por 40 d comparado con 0, 20 y 30 d. Estas inconsistencias pudieran tener una explicación debido a una variación en el número, afinidad o especificidad de los receptores  $\beta$ -adrenérgicos presentes en el tejido muscular (Mersmann, 1998). Debido a variaciones de este tipo, los efectos producidos por el suministro de un AA- $\beta$  en el metabolismo de los nutrientes son difíciles de comprender (Domínguez-Vara *et al.*, 2009). Los receptores AA- $\beta$  también varían dentro de un determinado tejido entre las especies. Por último, también se ha señalado una variación en la secuencia de aminoácidos dentro del receptor a través de las especies (Lazalde-Cruz, 2009). Como consecuencia de la variación en la estructura, subtipo de receptor y distribución en tejidos y especies, la multitud de efectos fisiológicos controlados por RA- $\beta$ , y el uso de diferentes AA- $\beta$  hacen que el entender los efectos farmacológicos observados con la administración oral sean difíciles de esclarecer (Mersmann, 1998).

### **5.3. Porcentaje de vísceras y órganos**

En el presente estudio, los corderos alimentados con CZ registraron menor porcentaje de piel. Estos resultados difieren de lo encontrado por Macías-Cruz *et al.* (2010) y Avendaño-Reyes *et al.* (2011), quienes no encontraron efecto de CZ sobre el peso de piel. Sin embargo, sí encontraron que CZ redujo el peso de cabeza y peritoneo cuando se expresó como porcentaje del peso final. Dichas inconsistencias pueden ser causa de la ausencia de receptores  $\beta$ -2 en vísceras, ya que por lo general éstos son encontrados en músculo, según lo describe la literatura (Sillence y Matthews, 1994). Por otra parte, al comparar los tiempos de suplementación solo se detectó una tendencia a aumentar el porcentaje de peso de la cabeza en los animales del grupo CZ30. Al utilizar el estímulo de un AA- $\beta$ , se espera un aumento en la síntesis de proteína muscular, una disminución de la degradación de esta proteína, o una combinación de ambos. Sin embargo, se han reportado efectos regionalizados de CZ, ya que ha aumentado el porcentaje de peso en zonas como los cuartos traseros de la pierna y no en otras regiones anatómicas (Macías-Cruz *et al.*, 2010). Igualmente, Shook *et al.* (2009) mencionaron que la posible causa de un efecto dirigido mayormente en algunas zonas se debe a una mayor presencia de la fibra de tipo II en los músculos de los cuartos traseros, un tipo de fibra que es más sensible a la presencia de CZ.

### **5.4. Rendimientos de cortes primarios.**

Al evaluar el efecto de CZ en los cortes primarios se encontró que solamente el rendimiento de paleta fue afectado, aunque negativamente, por suplementar corderos con CZ. Resultados similares han sido reportados por Macías-Cruz *et al.* (2010), quienes

reportaron una diferencia significativa a favor del grupo sin suplementar con CZ. Por otra parte, Avendaño-Reyes *et al.* (2011) indicaron ningún efecto en rendimiento en paleta después de adicionar CZ por 30 d. Sin embargo, Shackelford *et al.* (1992) señalaron que adicionando un AA- $\beta$ 2, el porcentaje de pierna y paleta aumentaron. Es importante mencionar que en diferentes estudios de bovinos de engorda (Hilton *et al.*, 2010; Rathmann *et al.*, 2009), al comparar los grupos con y sin suplemento de CZ, se observó que con CZ se aumentaron la mayoría de los cortes primarios (p.ej. cuartos traseros, pierna, costillares y lomo). No obstante, se desconoce el porqué del aumento en los cortes de cuartos delanteros hombros y cuello en animales sin adición de CZ en su dieta (Macías-Cruz *et al.*, 2010). Por otra parte, posiblemente la reducción en el porcentaje de paleta por efecto de CZ se debe a la presencia de un menor número de fibras musculares de tipo II en esta zona, dado que se conoce que este tipo de fibras es más sensible a la estimulación de los AA- $\beta$ 2. Otro efecto observado en los resultados de cortes fue una tendencia a aumentar el rendimiento de los costillares en corderos tratados con CZ. Macías-Cruz *et al.* (2010) reportan un aumento en el rendimiento del corte de costillares en corderas suplementadas con CZ. Existe escasa información en cortes de corderos, razón por lo cual es difícil encontrar una explicación sobre este resultado. Sin embargo, dicho efecto puede ser causa de la afinidad del agonista por el receptor  $\beta$  el acoplamiento con el sistema transductor de señales, factores que pudieran alterar el transporte del fármaco al sitio del receptor o un número limitado de receptores  $\beta$  tipo II (Sumano *et al.*, 2002).

## VI. CONCLUSIONES

La suplementación de CZ en la dieta mejoró el comportamiento productivo al reducir la conversión alimenticia después de alimentar los corderos por 32 d. Además, suplementación con CZ disminuyó el porcentaje de grasa KPH y aumentó el peso de la canal caliente y fría, el rendimiento de la canal y área del ojo de la costilla, lo cual es benéfico para productores que comercializan su producto en canal. Aunque cabe mencionar, la adición de CZ redujo el rendimiento de paleta, además de que tendió a incrementar el rendimiento de costillares, sin afectar ningún otro corte.

Al comparar las dos estrategias de suplementación, se concluye que suministrar CZ en dosis doble por la mitad del tiempo provocó un aumento en conversión alimenticia y una tendencia a aumentar en el peso a 15 d, peso final, GPT y GDP, sin afectar el consumo de alimento. Sin embargo al evaluar características de la canal, porcentaje de órganos viscerales y de rendimiento en cortes primarios, no se observaron diferencias entre estas dos formas de suplementar CZ.

Por lo tanto, se concluye que la suplementación de una dosis de 20 mg/d de Clorhidrato de Zilpaterol en la dieta durante los últimos 15 d del periodo de finalización es recomendable para obtener mayores ganancias en corral en corderos de razas de pelo, sin embargo, es necesario realizar estudios de mayor profundidad y considerar otros factores para valorar más objetivamente la adición de este promotor de crecimiento por el pobre efecto observado en características de la canal y rendimiento en cortes.

## VII. 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.
- Aguila-Tepato, E. 2012. Efecto del clorhidrato de zilpaterol sobre el comportamiento productivo y las características de la canal en corderas de pelo finalizadas en corral. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California.
- 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.
- Anaya, A. D. L.; G. M. Guevara y S. O. Argudin. 2005. Comportamiento productivo de ovinos engordados en corral utilizando clorhidrato de zilpaterol en el alimento. XIX Reunion de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Tampico, Tamps., México. Pp 3-1. 324-326.
- 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., 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., V. Torres-Rodríguez, F. J. Meraz-Murillo, C. Pérez-Linares, F. Figueroa-Saavedra, and P. H. Robinson. 2006. Effects of two  $\beta$ -adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 84:3259–3265.
- Baker, P. K., R. H. Dalrymple, D. L. Ingle, 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.

- Beermann, D. H., D. E. Hogue, V. K. Fishell, R.H. Dalrymple, and C. A. Ricks. 1986. Effects of cimaterol and fishmeal on performance, carcass characteristics and skeletal muscle growth in lambs. *J. Anim. Sci.* 62:370-380.
- 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.
- Brès, J., Clauzel, A.M., Pistre, M.C., Rachmat, H., Bressolle, F. 1985. Metabolism of beta-adrenergic substances. Therapeutic implications. *Bull. Eur. Physiopathol. Respir.* 21:19-34.
- Byrem, T. M., D. H. Beermann, and T. F. Robinson. 1998. The  $\beta$ -agonist cimaterol directly enhances chronic protein accretion in skeletal muscle. *J. Anim. Sci.* 76:988–998.
- Canchi, D. R., N. Li, K. A. Foster, P. V. Preckel, A. P. Schinckel, and B. Richert. 2010. Optimal control of desensitizing inputs: The case of paylean. *Am. J. Agr. Econ.* 92:56–69.
- Castellanos-Ruelas A.F., J.G. Rosado-Rubio, L.A. Chel-Guerrero, D.A. Betancur-Ancona. 2006. Empleo del zilpaterol en novillos con alimentación intensiva en Yucatán, México. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 14:56-59.
- Chikhou, F. H., A. P. Moloney, P. Allen, J. F. Quirke, F. H. Austin, and J. F. Roche. 1993a. Long-term effects of cimaterol in Friesian steers: I. Growth, the efficiency of gain, and selected carcass traits. *J. Anim. Sci.* 71:906-913.
- De Lucas T.J. y Arbiza A.S. 2006. Situación y perspectivas, la producción de carne ovina en México. *Bayvet*, 21:22-28.
- 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  $\beta$ -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.* (16-3):278-284.
- Dunshea, F. R., D. N. D'Souza, D. W. Pethic, G. S. Harper, and R. D. Warner. 2005. Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat Sci.* 71:8-38.
- Eisemann, J. H., G. B. Huntington, and C. L. Ferrell. 1988. Effects of dietary clenbuterol on metabolism of the hindquarters in steers. *J. Anim. Sci.* 66:342-353.

- 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.
- Etherton, T. D., and S. B. Smith. 1991. Somatotropin and beta agonists: Their efficacy and mechanisms of action. *J. Anim. Sci.* 69:2–26.
- FAO. 2010. [http://www.3tres3.com/buscando/fao-evolucion-mundial-delconsumo-de-carne\\_30869/](http://www.3tres3.com/buscando/fao-evolucion-mundial-delconsumo-de-carne_30869/). Consultado 8 de enero de 2013.
- Garcés, Y. P., M. R. Zinn, A. M. Rebolledo y C. C. Abreu. 1998. Efectos del clorhidrato de zilpaterol sobre la ganancia de peso y características de la canal de toretes finalizados en pastoreo. Memoria de la Reunión Científica de la XXXIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Querétaro, México.
- Garza, F. J. D., C. J. H. Ramírez., T. H. Montgomery y F. J. Garza. 1997. Comportamiento productivo y características de canal en vaquillas de engorda suplementadas con zilpaterol en condiciones comerciales. XXXII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Veracruz, México.
- Hamby, P. L., J. R. Stouffer, and S. B. Smith. 1986. Muscle metabolism and real-time ultrasound measurement of muscle and subcutaneous adipose tissue growth in lambs fed diets containing a beta-agonist. *J. Anim. Sci.* 63:1410–1417.
- Hanrahan, J. P., J. F. Quirke, W. Bomann, P. Allen, J. C. Mc- Ewan, J. M. Fitzsimons, J. Kotzian, and J. F. Rouche. 1986.  $\beta$ -Agonists and their effects on growth and carcass quality. *Recent Adv. Anim. Nutr.* 125–138.
- Hilton, G. G., A. J. Garmyn, T. E. Lawrence, M. F. Miller, J. C. Brooks, T. H. Montgomery, D. B. Griffin, D. L. VanOverbeke, N. A. Elam, W. T. Nichols, M. N. Streeter, J. P. Hutcheson, D. M. Allen, and D. A. Yates. 2010. Effect of zilpaterol hydrochloride supplementation on cutability and subprimal yield of beef steer carcasses. *J Anim Sci.* 88:1817-1822.
- 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.
- Jiménez-Servín de la Mora L. A., J. G. Ramos., H. Sumano-López., H. Fragoso-Sánchez. 2011. Vigilancia sanitaria en el uso ilícito del clenbuterol y su coordinación intersectorial en dos entidades de México. *Vet. Méx.* 42:11-25.
- Johnson, B.J., Chung, K.Y., 2007. Alterations in the physiology of growth of cattle with growth-enhancing compounds. *Vet. Clin. Food. Anim.* 23:321–332.

- 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, 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.
- Lazalde-Cruz, I. R. 2009. Efecto del tiempo de suministro del agonista Clorhidrato de Zilpaterol (Zilmax©) a 20, 25 y 30 días sobre comportamiento productivo y características de la canal en vaquillas finalizadas en corral. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California.
- 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.
- Lopez, Z. R.; S. O. Argudin y A. D. Anaya. 2003. Efecto de un  $\beta$ -adrenérgico solo y combinado, sobre aumento de peso, grasa dorsal y area de rib-eye en ovinos Tabasco. *Memorias XXVII Congreso Nacional de Buiatria.* 240-241.
- Luna P., J. Molina, C. Ma. Lesprón, J. Romero, U. Beltrán, and C. O. González. 1990. Bloqueadores beta y anestesia. *Rev. Mex. Anest.* 13:215-223.
- Macías-Cruz. U., F. D. Álvarez-Valenzuela, J. G. Rodríguez, A. Correa-Calderón, T. S. C. Medina, L. R. Molina, A. R. González, M. F. Lucero, and L. Avendaño-Reyes. 2007. Comportamiento productivo en corral de cruas de corderos Pelibuey bajo condiciones desérticas. En *memorias de la XVII Reunión Internacional sobre Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos.* Baja California, México 419-422.

- 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.
- Martínez-González S., J. Aguirre-Ortega, A. A Gómez-Danés, M. Ruíz-Félix, C. Lemus Flores, H. Macías-Coronel, L. A Moreno-Flores, S. Salgado-Moreno, M. H. Ramírez-Lozano. 2010. Tecnologías para mejorar la producción ovina en México. *Revista Fuente*.
- Mersmann, H.J. 1989. Influence on of infused  $\beta$ -adrenergic agonists porcine blood metabolites and catecholamines. *J. Anim. Sci.* 67:2633-2645
- 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.
- Mersmann, H.J. 2002. Beta adrenergic receptor modulation of adipocyte metabolism and growth. *J. Anim. Sci.* 80:24-29.
- 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.
- Moloney, A. P., P. Allen, R. Joseph, and V. Tarrant. 1991. Influence of beta-adrenergic agonists and similar compounds on growth. *Elsevier Applied Sci., NY USA.* 7. Pp 455–513.
- Moloney A. P., P. Allen, D. B. Ross, G. Olson and E. M. Convey. 1990. Growth, feed efficiency and carcass composition of finishing Friesian steers fed the adrenergic agonist 1-644,969. *J. Anim. Sci.* 68:1269-1277.
- Mondragón, A. J. 2008. Efecto de la concentración de clorhidrato de zilpaterol sobre el crecimiento, características de la canal y calidad de la carne de ovinos en engorda intensiva. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México.
- 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.
- Montgomery, J. L., C. R. Krehbiel, J. J. Cranston, D. A. Yates, J. P. Hutcheson, W. T. Nichols, M. N. Streeter, E. Johnson, R. S. Swingle, and T. H. Montgomery. 2009b. Dietary zilpaterol hydrochloride. I. Feedlot performance and carcass traits of steers and heifers. *J. Anim. Sci.* 87:1013–1023.
- Moody, D.E., Hancock, D.L., Anderson, D.B., 2000. Phenethanolamine repartitioning agents. Ed. *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. NY, USA, pp. 65–95.
- Morón-Fuenmayor O. E., L. Zamorano-García, F. Ysunza y N. F. González-Méndez. 2002. Efecto del clorhidrato de zilpaterol y la vitamina D3 sobre la calidad de la carne en novillas comerciales. *FCV-LUZ*. Vol. XII. 6:725-729.
- Morgan, D.J., 1990. Clinical pharmacokinetics of beta-agonists. *Clin. Pharmacokinet.* 18: 270-294.
- Muciño-Castillo G. 2014. Evaluación nutricional de harina de nopal en dietas para borregos. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.
- Nourozi M., M. Abazari, M. Raisianzadeh, M. Mohammadib, A. ZareShahne.2008. Effect of terbutaline and metaproterenol (two beta-adrenergic agonists) on performance and carcass composition of culled Moghani ewes. *Small Ruminant Res.* 74:72–77
- 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.
- Plascencia, A., N. Torrentera, and R. A. Zinn. 1999. Influence of the  $\beta$ -agonist, zilpaterol, on growth performance and carcass characteristics of feedlot steers. *Proc. Western Sect. Am. Soc. Anim. Sci.* 50:331–334.
- Pringle, T.D., C.R. Calkins, M. Koohmaraie, and S.J. Jones. 1993. Effects over time of feeding a beta-adrenergic agonist to wether lambs on animal performance, muscle growth, endogenous muscle proteinase activities, and meat tenderness. *J. Anim. Sci.* 71:636-644.
- PROGAN 2010. Programa Nacional Ganadero. SAGARPA. <http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Programas/Paginas/PROGRAM.aspx>
- Rathmann R. J., J. M. Mehaffey, T. J. Baxa, W. T. Nichols, D. A. Yates, J. P. Hutcheson, J. C. Brooks, B. J. Johnson, and M. F. Miller. 2009. Effects of duration of zilpaterol hydrochloride and days on the finishing diet on carcass cutability, composition,

- tenderness, and skeletal muscle gene expression in feedlot steers. *J Anim Sci* 87:3686-3701.
- 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.
- 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 ( $\beta$ 2-agonist) on performance, carcass characteristics and visceral organ mass in hairy lambs fed all-concentrate diets. *J. Appl. Anim. Res.* 38:1, 33-38.
- SAGARPA, 2005. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.  
<http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Estadisticas/Lists/Estadisticas/Attachments/2/Estimaci%C3%B3n%20del%20Consumo%20Nacional%20Aparente%201990-2005%20Carne%20de%20ovino.pdf>. Consultada el día 3 de enero del 2015.
- Sainz, R. D., Y. S. Kim, F. R. Dunshea, and R. G. Campbell. 1993. Effects of ractopamine in pig muscles: Histology, calpains and b-adrenergic receptors. *Aust. J. Agric. Res.* 44:1441-1448.
- Salinas-Chavira J., M. Domínguez-Muñoz, R. Díaz-Martínez, P. Cruz-Bautista, M. F. Montañó-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.* 29:1, 25-28.
- 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.
- 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.
- Schlupp, A., Anielski, P., Thieme, D., Müller, R.K., Meyer, H., Ellendorff, F., 2004. The beta-agonist clenbuterol in mane and tail hair of horses. *Equine Vet. J.* 36:102-103.
- 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.
- SIAP, 2011. Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera. Información de la Delegación de SAGARPA. México, D.F.

- Sillence, M. N. 2004. Technologies for the control of fat and lean deposition in livestock. *Vet. J.* 167:217-218.
- Sillence, M. N., and M. L. Matthews. 1994. Classical and atypical binding sites for  $\beta$ -adrenoceptor ligands and activation of adenylyl cyclase in bovine skeletal muscle and adipose tissue membranes. *Br. J. Pharmacol.* 111:866-872.
- Sistema de Producto Ovinos, 2009. Plan Rector del Sistema Producto Ovinos. Grupo de Trabajo del Plan Rector del SP Ovinos. Con apoyo de información de SIAP-SAGARPA y la Asociación Mexicana de Criadores de Ovinos. Septiembre de 2009. México, D.F.
- Smith, G. C., D. B. Griffin, and J. H. Kenneth. 2001. Meat evaluation handbook revision committee. American Meat Science Association, USA. 117-137.
- Soto, C.L, Delgado M, Cuellar A. 2007. Situación de la ovinocultura en México. <http://www.Engormix.com/s-articles>. Consultado en 2007.
- Soto, D. C. and E. M. Delgado. 2010. Situación actual de la ovinocultura en México. *Rev. Acont. Ovino-Caprino.* 46:43-46.
- Stachel, C.S., W. Radeck, and P. Gowik. 2005. Zilpaterol-a new focus of concern in residue analysis. *Anal. Chim. Acta.* 493:63-67.
- 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.
- Strydom, P. E., Frylinck, L. and G. L. Marais. 2007. Supplemental vitamin D3 and electrical stimulation to reduce the effect of beta agonists on meat quality. In: *Proc. 53rd International Congress of Meat Science and Technology*, pp. 273-274. Beijing, China.
- Strydom, P. E., and M. F. Smith. 2010. Effects of duration of zilpaterol hydrochloride supplementation on growth performance, carcass traits and meat quality of grain-fed cull cows. *Animal* 4:653-660.
- Strydom, P.E., L. Frylinck, J.L. Montgomery, and M.F. Smith. 2009. The comparison of three b-agonists for growth performance, carcass characteristics and meat quality of feedlot cattle. *Meat Sci.* 81:557-564

- Sumano, L. H. C. L. Ocampo y O. L. Gutiérrez. 2002. Clembuterol y otros  $\beta$ -agonistas, ¿una opción para la producción pecuaria o un riesgo para la salud pública? *Veterinaria-México*, 33. 2.
- Shackelford, S. D., J. W. Edwards, E. K. Smarr, and J. W. Savell. 1992. Retail cut yields of Rambouillet wether lambs fed the  $\beta$ -adrenergic agonist L-644, 969. *J. Anim. Sci.* 70:161-168.
- 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. Agr. Food Chem.* 54.
- 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.
- Velázquez-Morales, J. V. 2010. Comportamiento productivo y características de la canal de corderas de pelo suplementadas con clorhidrato de zilpaterol en condiciones de estrés calórico. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California.
- Wang, S.Y., and D. H. Beermann. 1988. Reduced calcium-dependent proteinase activity in cimaterol-induced muscle hypertrophy in lambs. *J. Anim. Sci.* 66:2545-2550.
- Wheeler, T. L., and M. Koohmaraie. 1992. Effects of the  $\beta$ -adrenergic agonist L644,969 on muscle protein turnover, endogenous proteinase activities, and meat tenderness in steers. *J. Anim. Sci.* 70:3035.
- Williams, P.E.V., Pagliani, L., Innes, G.M., Pennie, K., Harris, C.I., Garthwaite, P. 1987. Effects of a  $\beta$ -agonist (clembuterol) on growth, carcass composition, protein and energy metabolism of veal calves. *Br. J. Nutr.* 57:417-428.
- Yang, YT, and MA McElligott. 1989. Multiple actions of the  $\beta$ -adrenergic agonists on skeletal muscle and adipose tissue. *Biochem. J.* 261:1-12.
- Zamiri, M. J., and J. Izadifard. 1995. Effects of metaproterenol, a beta-adrenergic agonist, on feedlot performance and body composition of two fat-tailed breeds of sheep. *Small Ruminant Res.* 18:263-271.