

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Instituto de Ciencias Agrícolas



**COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS DE
LA CANAL EN CORDEROS DE PELO FINALIZADOS CON
IMPLANTES ESTEROIDALES Y CLORHIDRATO DE
ZILPATEROL**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL

PRESENTA

MARCO A. CONTRERAS SILVA

DIRECTOR

Dr. ULISES MACÍAS CRUZ

La presente tesis **“COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL EN CORDEROS DE PELO FINALIZADOS CON IMPLANTES ESTEROIDALES Y CLORHIDRATO DE ZILPATEROL”** realizada por el **C. Marco A. Contreras Silva**, y dirigida por el **Dr. Ulises Macías Cruz**, ha sido evaluada y aprobada por el Consejo particular abajo indicado, como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL

COMITÉ PARTICULAR

Presidente/Director de Tesis



Dr. Ulises Macías Cruz

Sinodal



Dr. Leonel Avendaño Reyes

Sinodal



Dr. Abelardo Correa Calderón

“POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE”

Ejido Nuevo León, Mexicali Baja California México, octubre de 2020.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a mis padres, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado en ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro. A mi Padre por ser mi ejemplo y mi guía; a mi Madre por ser mi fuerza y mi impulso.

Sencillo no ha sido el proceso, sin embargo, gracias a mis maestros y asesores por transmitirme sus conocimientos y dedicación, Dr. Leonel Avendaño Reyes y Dr. Abelardo Correa Calderón. He logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de mi tesis con éxito y obtener una afable titulación profesional, por tal motivo extendiendo este agradecimiento a mi director de tesis Dr. Ulises Macías Cruz.

Al CONACYT por brindarme una beca de incalculable valor estas años de estudio.

Al Instituto de Ciencias Agrícolas de la UABC por ser el lugar donde he desarrollado esta Maestría y siempre se ha mostrado con las puertas abiertas.

Gracias a mi Familia por motivarme a seguir con mis estudios, de igual manera a mi Esposa e Hija por confiar siempre en mí, por su paciencia y amor incondicional.

DEDICATORIAS

Lleno de emoción, amor y motivación, dedico este proyecto, a cada uno de los seres queridos, quienes son mis pilares para seguir adelante con nuevos retos.

A mis padres, Adriana Silva y Antonio Contreras, porque son la motivación de mi vida, mi ejemplo a seguir y mi orgullo de ser.

A mi esposa Isabel Sánchez e hija Sofía Contreras Sánchez, porque son la razón de sentirme orgulloso de culminar mi meta, por confiar en mí y por permitirme ser parte de su orgullo.

ÍNDICE TEMÁTICO

ÍNDICE DE CUADROS	v
RESÚMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. LITERATURA CITADA	3
2.1. Engorda de ovinos de pelo.....	3
2.2. Parámetros productivos de corderos engordados en corral.....	5
2.3. Promotores de crecimiento en la producción animal.....	8
2.4. Clorhidrato de zilpaterol en la engorda de ovinos.....	10
2.5. Implantes esteroidales en la engorda de ovinos.....	13
2.6. Uso combinado de clorhidrato de zilpaterol e implantes esteroidales.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Sitio de estudio y manejo pre-experimental.....	18
3.2. Diseño y manejo experimental.....	18
3.3. Composición química de la dieta.....	19
3.4. Evaluación del comportamiento productivo.....	21
3.5. Evaluación de la canal y cortes primarios.....	21
3.6. Análisis estadístico.....	22
IV. RESULTADOS	23
4.1. Efecto de clorhidrato de zilpaterol.....	23
4.2. Efecto del implante esteroideal.....	23
V. DISCUSIÓN	27
5.1. Efecto del clorhidrato de zilpaterol.....	27
5.2. Efecto del implante esteroideal.....	29
VI. CONCLUSIONES	31
VII. LITERATURA CITADA	32

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ingredientes y composición química de la dieta experimentales.....	20
Cuadro 2. Comportamiento productivo de corderos de pelo tratados con dos tipos de promotores de crecimiento, clorhidrato de zilpaterol e implante esteroidales.....	24
Cuadro 3. Características de la canal en corderos de pelo tratados con dos tipos de promotores de crecimiento, clorhidrato de zilpaterol e implantes esteroidales..	25
Cuadro 4. Rendimiento de cortes primarios en corderos tratados con dos tipos de promotores de crecimiento, clorhidrato de zilpaterol e implantes esteroidales..	26

RESUMEN

Se utilizaron 40 corderos machos Dorper x Pelibuey (peso vivo [PV] inicial= 34.8 ± 0.24 kg) para evaluar los efectos de clorhidrato de zilpaterol (CZ, 0 y 0.15 mg/kg de PV) e implantes esteroidal (IE, sin y con) sobre comportamiento productivo, características de la canal y rendimiento de cortes primarios. Los corderos fueron asignados en arreglo factorial 2 x 2 bajo un diseño de bloques completamente al azar a los tratamientos: 1) sin CZ e IE, 2) sin CZ y con IE, 3) con CZ y sin IE y 4) con CZ e IE. Cada animal fue implantado con 52.5 mg de acetato de trembolona y 7.5 mg de 17β estradiol. La interacción CZ x IE no afectó ninguna de las variables de estudio. Mientras que IE no afectaron el comportamiento productivo, la suplementación de CZ solamente aumentó ($P < 0.05$) la tasa de crecimiento y la eficiencia alimenticia durante el periodo que se ofreció. Ambos promotores de crecimiento aumentaron ($P < 0.05$) el rendimiento de canal y el área del *Longissimus toracis*, sin ningún efecto sobre deposición de grasa corporal. Los rendimientos de cortes primarios no fueron afectados por suplementación de CZ e IE. Se concluye que no hay un efecto aditivo o sinérgico entre la suplementación de CZ e IE sobre comportamiento productivo, características de la canal y rendimiento de cortes primarios en corderos de engorda. Ambos promotores aumentaron la masa muscular pero sólo CZ mejoró el comportamiento productivo.

Palabras claves: Corderos de engorda, promotores de crecimiento, canal, *Longissimus dorsi*.

ABSTRACT

Forty Dorper x Pelibuey male lambs (initial body weight [BW] = 34.98±0.24 kg) were used to evaluate the effects of zilpaterol hydrochloride (ZH, 0 and 0.15 mg/kg BW) and steroid implants (SI, without and with) on feedlot performance, carcass characteristics and primary cut yields. Lambs were assigned in a 2 x 2 factorial arrangement under randomized complete block design to treatments: 1) without ZH and SI, 2) without ZH and with SI, 3) with ZH and without SI and 4) with ZH and SI. Each animal was implanted with 52.5 mg of trembolone acetate and 7.5 mg of estradiol-17 β . The ZH x SI interaction did not affect any study variable. While SI did not affect productive performance, ZH supplementation only increased (P<0.05) growth rate and feed efficiency during the offering period. Both growth promoters increased (P<0.05) carcass dressing and *Longissimus toracis* muscle area, with no effect on body fat deposition. Primary cut yields were unaffected by both ZH and SI. In conclusion, ZH supplementation and SI did not show an additive or synergistic effect on feedlot performance, carcass characteristics and primary cut yields in fattening lambs. Both promoters increased muscle mass but only ZH supplementation improved feedlot performance.

Keywords: Fattening lambs, growth promoter, carcass, *Longissimus dorsi*.

I. INTRODUCCIÓN

En México, la demanda de carne de cordero no es abastecida por la producción nacional, lo cual ha provocado que alrededor del 33% de la carne consumida sea importada de países (Cuellar et al., 2012). Aunado a esto, la producción de cordero para abasto es fluctuante a través de los meses del año, así como la conformación corporal y el peso vivo al momento de la venta, lo cual se debe a que parte de los sistemas de producción ovina son basados en pastoreo de agostaderos y poca atención se pone a la finalización del cordero (SAGARPA, 2016). En este sentido, la producción de carne ovina se ha convertido en los últimos años en una actividad que está en desarrollo y transitando de una producción de traspatio a una de tipo comercial. Esto ha traído como consecuencia la búsqueda de estrategias de alimentación que permitan promover la expresión del potencial genético de los corderos de engorda, tales como el uso de promotores de crecimiento.

El clorhidrato de zilpaterol (CZ) y los implantes esteroidales (IE) que contienen acetato de trembolona (ATB) y estradiol 17β (E_2), son dos promotores de crecimiento autorizados en los animales domésticos en varios países del continente americano, dado que las cantidades de residuos que quedan en tejido después de su administración no son suficientes para comprometer la salud del consumidor (Dikeman, 2007). Ambos promotores actúan promoviendo la síntesis de proteína en tejido muscular (Mersmann, 1998; Dikeman, 2007; Walker et al., 2010; Dayton y White, 2014), lo cual afecta positivamente el comportamiento en corral y las características de la canal con importancia económica, tales como peso de canal caliente, rendimiento en canal y área del ojo de la costilla (*Longissimus toracis*) (Johnson et al., 1998; McClure et al., 2000; López-Carlos et al., 2011; Macías-Cruz et al., 2013a, 2013b; Ortiz et al., 2013; Rojo-Rubio et al., 2018). No obstante, los efectos del CZ sobre rasgos de crecimiento y canal son más consistentes que cuando se utiliza el IE en corderos de engorda.

Los mecanismos de acción por los cuales CZ e IE producen un aumento en la síntesis de proteína muscular, y consecuentemente hipertrofia muscular, son

diferentes (Parr et al., 2014). Los IE con ATB+E₂ actúan principalmente uniéndose a los receptores de esteroides en el citoplasma para estimular la síntesis del factor de crecimiento insulínico tipo I (IGF-I) y la hormona de crecimiento; hormonas que estimulan la proliferación de células satelitales que son encargadas de aumentar la síntesis de proteína en las fibras musculares (Dayton et al., 2014). En el caso del CZ, el cual es un agonista adrenérgico β_2 (AA- β_2), éste se une a receptores adrenérgicos β_2 localizados en la superficie celular para promover una hipertrofia de las fibras musculares a través de incrementar la síntesis de proteína (miosina y actina) y reducir la proteólisis, al mismo tiempo que interactúa con receptores adrenérgicos β (RA- β) del tejido graso para estimular lipólisis y reducir la lipogénesis provocando una redistribución del sustrato energético para la formación de tejido muscular (Mersmann, 1998; Mills, 2002). Algunos estudios también reportan que tejido de órganos y vísceras pueden ser re-direccionados para la síntesis de proteína y, por lo tanto, masa muscular (Dávila-Ramírez et al., 2014; Montgomery et al., 2009).

Considerando que CZ e IE potencializan la formación de masa de músculo esquelético por diferentes vías, algunos trabajos realizados en bovinos de carne reportaron que la administración combinada de ambos compuestos resulta en un efecto aditivo favorable para mejorar peso vivo y de canal (Baxa et al., 2010; Parr et al., 2014). Aunque esto no ha sido demostrado en ovinos. Por lo tanto, el objetivo fue evaluar los efectos de clorhidrato de zilpaterol e implantes esteroidales sobre el comportamiento productivo, las características de la canal y los rendimientos de cortes primarios en corderos finalizados en corral.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Engorda de ovinos en México

La producción de ovinos a nivel mundial ha mostrado un cambio radical en cuanto a su objetivo de producción. La alta demanda de carne de ovinos en un mercado que tradicionalmente exigía lana es el motivo principal del sistema cambiante en la ovinocultura e incremento en el inventario mundial. Se calcula que el inventario mundial de esta especie incrementó 9% entre el 2010 y 2016, y al 2017 se cuantificó una población de alrededor 1,202.4 millones de cabezas (FAOSTAT, 2018).

En México, este cambio de objetivo de producción no ha sido la excepción, e incluso en la actualidad se muestra mayor interés por la producción de leche ovina que por la misma lana, siendo el objetivo principal la producción de carne de cordero para el platillo típico mexicano, la barbacoa. En el caso de la región norte del país, la producción de cordero lechal también está en aumento por la demanda alta existe del cabrito. Así, la actividad ovina en el país ha presentado un repunte en la última década; dos situaciones se combinan para esta tendencia en la producción de carne ovina, la primera es que el precio de la carne de cordero en el mercado tiene un precio competitivo comparado con carnes de otras especies, y la segunda se asocia con la incapacidad de la producción nacional para abastecer el mercado nacional (Partida de la Peña et al., 2013). Todo lo anterior ha llevado a que una mayor cantidad de productores estén interesados en incursionar y ver la industria de la ovinocultura como una actividad de producción primaria y no complementaria a otras actividades agropecuarias.

El inventario ovino en México aumentó de 6.04 a 8.5 millones de cabezas entre 2000 y 2014, lo cual representa un crecimiento de alrededor del 29%. Al 2017 se contaba con inventario de 8.9 millones de cabeza y estos ovinos produjeron 61,600 t de carne (SIAP, 2018). Mismos datos del SIAP (2018) indican que la producción de carne ovina ocupa el cuarto lugar, justamente atrás de la producción de carne bovina (28.78 %), de aves (47.94 %) y de cerdos (21.52 %).

De esta manera, la industria ovina en México está dedicada en su mayoría a la engorda de corderos para abasto en la actualidad. Un gran número de productores basan sus ingresos económicos en la rentabilidad de esta actividad, principalmente aquellos localizados en la región centro del país como es donde el producto más se consume y la canal tiene mejor precio en el mercado. Así la inversión para esta industria tanto gubernamental como privada ha estado constante crecimiento, con el objeto de adoptar tecnologías que ayuden a incrementar la ganancia diaria de peso (GDP) con un menor consumo de alimento, llevando estas mejoras a periodos de engorda más cortos y la intensificación de la producción de carne ovina (Camacho-Ronquillo et al., 2018).

También es cierto que muchos pequeños productores siguen con sistemas de engorda ovina tradicionales por la falta de capital para invertir, los cuales comúnmente se encuentran distribuido en el sureste y norte del país (PGN, 2018). Este tipo de productor tradicional basa su sistema en el aprovechamiento de los recursos naturales que las zonas agroecológicas donde habitan les provee, por lo que son sistemas de engorda de tipo extensivo con poca o nula inversión en insumos, presentando periodo de engorda largo y carne de baja calidad como no incluyen en la dieta ningún suplemento de grano o aditivo (Esqueda y Gutiérrez, 2009; Partida de la Peña et al., 2013).

Cabe mencionar que una adopción tecnológica observada en la mayor parte de los productores, es el hecho de buscar integrar en los rebaños sementales puros o cruzados de aptitud cárnica (Cárdenas-Villegas y Cortez-Romero, 2012). Algunos otros productores, también han optado por seleccionar los corderos de mejor crecimiento para usarlos como sementales (Martínez-González et al., 2010). Esto ha representado una mejora genética significativa en los parámetros productivos de la engorda ovina, tales como ganancia de peso y eficiencia alimenticia (Vázquez-Soria et al., 2011). Los productores con mayor liquides económica han adquirido sementales y hembras de registro, asociadas para mejorar la producción de corderos al destete y el potencial de crecimiento de los mismo (Macías-Cruz et al., 2010). Así, los esquemas de cruzamiento han permitido aprovechar todos los recursos zoogenéticos ovinos en pro de mejorar tanto producción y calidad ovina.

Actualmente, resulta común encontrar corderos en los sistemas de engorda predominantemente procedentes de cruzas, ya sea de razas de pelo o lana solamente, o bien, la combinación de ambas (Vázquez-Soria et al., 2011).

En ambos ovinos de pelo y de lana, existen razas que genéticamente son caracterizadas por presentar un excelente comportamiento productivo, y otras donde este comportamiento es relativamente bajo; no obstante con mayor capacidad reproductiva. Las ovejas de pelo como Pelibuey, Blackbelly y St. Croix producen corderos de bajos pesos al nacimiento y con lento crecimiento pre-destete y post-destete (Notter, 2000). En cambio, los corderos Dorper y Katahdin presentan altos pesos al nacer y crecimiento acelerado (Wildeus, 1997; Cloete et al., 2000; Notter et al., 2004; Godfrey y Weis, 2005; Burke y Apple, 2007). De tal manera que bajo los sistemas de producción actuales de México es común observar esquemas de cruzamientos entre ovejas Pelibuey ó Blackbelly con sementales Dorper o Katahdin para aprovechar el efecto de heterosis, y así, producir mayor cantidad de corderos con un comportamiento productivo satisfactorio.

2.2. Parámetros productivos de corderos engordados en corral

La evaluación de los parámetros productivos en los corderos de engorda tiene gran importancia, ya que son de gran apoyo en la toma de decisiones del manejo del rebaño general, así como al momento de la adopción de nuevas tecnologías en los sistemas de producción de corderos para abasto. Los ovinocultores que venden corderos en pie están interesados por indicadores productivos tales como consumo de alimento diario, GDP, eficiencia alimenticia y peso al final antes de sacrificio. Sin embargo, los productores que venden kilogramos de carne ovina en canal, resulta más relevante la medición de parámetros productivos asociados con la canal, siendo los de mayor importancia peso de canal caliente, peso de canal fría y rendimiento en canal. Muy pocos productores en México están interesados en evaluar otros parámetros asociados con rendimiento de cortes primario o calidad de la carne, como esto generalmente tiene relevancia en un mercado de cortes, el cual ha

mostrado poco avance en el país. México es un país donde más del 80 % de la carne se come en barbacoa o birria, según la región (Martínez-González et al., 2010).

La industria de carne ovina en el país demanda corderos jóvenes (< 6 meses de edad), con peso vivos de sacrificio entre 40 y 45 kg, y que su fenotipo tenga apariencia de una raza pura de línea cárnica, o bien cruza con alguna raza de este tipo (Trejo-Téllez et al., 2011; Camacho-Ronquillo et al., 2018). También se prefiere al cordero macho que a la hembra. Cualquier inconsistencia en estas características, los compradores, que generalmente son intermediarios, buscan la forma de pagar menos por el producto cuando la venta es en pie. Cuando la venta es en canal, los compradores ponen gran atención en la conformación de la canal y el peso de la misma, de igual manera en el peso al sacrificio, ya que todo esto se refleja en el rendimiento en barbacoa que tendrán las canales (Hernández-Martínez et al., 2013). Considerando las demandas de calidad de cordero que debe producirse para alcanzar los mejores pagos por el producto, esto ha llevado a que los productores de ovinos busquen engordar en corral a pesar del aumento en los gastos de producción. En este sentido, a continuación se describen los parámetros productivos que presentan los corderos de engorda en corral en México.

Los parámetros de comportamiento productivo que presentan corderos de cruza razas de pelo x razas de lana (Pelibuey, Blackbelly o Katahdin x Sullolk, Dorset o Charollais, otros), o bien cruza de razas de pelo (Pelibuey o Blackbelly x Dorper o Katahdin), son los siguientes. En promedio durante el período de desarrollo post-destete y hasta su salida para venta o sacrificio, los corderos consumen 1.1 kg/d (0.7 a 1.6 kg/d) de alimento y presentan una ganancia de peso de 224 g/d (150 a 350 g/d), lo cual da como resultado que estos corderos tengan una conversión alimenticia de 5.4:1 (3.6:1 a 10.3:1), es decir, necesitan consumir 5.4 kg de alimento para incrementar en un kilogramo su peso vivo (Pineda et al., 1998; Bustamante et al., 2002; Fimbres et al., 2002; Macedo y Aguilar, 2005; Salinas et al., 2006; Kawas et al., 2007; Canton et al., 2009; Macedo et al., 2009; Ruíz et al., 2009). Regularmente, los corderos de pelo inician y finalizan en esta etapa con un peso vivo de 20 y 40 kg, respectivamente.

Las variaciones en el comportamiento productivo de los corderos de pelo en el post-destete son atribuidas principalmente a factores como raza, sexo y alimentación. Los corderos Dorper y Katahdin mostraron un pesos superior al sacrificio que los St. Croix cuando estos fueron alimentados con dietas altas en forraje, no obstante los Dorper tendieron a presentar mejor tasa de crecimiento que los Katahdin y St. Croix (147 vs 127 ó 119 g/d; Burke y Apple, 2007). Similarmente, se reportó mayor peso final (37 vs 35 kg) y GDP (275 vs 246 g) en corderos Dorper que en Pelibuey, pero el consumo diario de alimento fue similar, mostrando mejor eficiencia alimenticia los Dorper (Ruiz et al., 2009). Igualmente, se ha demostrado que los corderos tienen mejor comportamiento productivo en corral que las corderas (Macías-Cruz et al., 2010a); misma situación se ha observado cuando se comparan corderos engordados con dietas integrales altas en grano comparado con aquellos alimentado con dieta fibrosa (Burke y Apple, 2007; Flores-Mar et al., 2017). Por lo tanto, estos resultados demuestran la habilidad de algunas razas para convertir el alimento en masa muscular, siendo aquellas razas que genéticamente a través de los años se sometieron a alta presión de selección sobre algunas características productivas de importancia bioeconómica (Snowder y Forgarty, 2009).

En relación a las características de la canal, los corderos se sacrifican a un peso promedio de 35 kg (24.7 a 45.5 kg) y presentan un rendimiento en canal de 53% (44.5 a 55.5 %). El peso de la canal caliente y fría para este tipo de ovinos se ubica entre los 13.2 y 25.3 kg, y entre 12.9 y 23.1 kg, respectivamente. El área del ojo de la costilla y grasa dorsal, características importantes para estimar el grado de calidad de la canales, presentan valores promedio de 4.5 cm² (1.1 a 16.3 cm²) y 4.0 mm (3.1 a 5.0 mm), respectivamente. Por otra parte, Las canales de los ovinos de pelo se caracterizan por ser pequeñas y de menor calidad que las de razas de lana cuando son comparadas a edades similares (Bradford y Fitzhugh, 1983; Canton et al., 1992; Wildeus, 1997). Esto se debe a la lenta tasa de crecimiento y al peso maduro tan reducido que registran, el cual está directamente relacionado con el peso óptimo de sacrificio que es aproximadamente el 66% del peso adulto (Wildeus, 1997). Las ovejas de razas Pelibuey y Blackbelly alcanzan su peso adulto entre 40 y 50 kg (Canton et al., 1992), las Dorper y Katahdín entre 60 y 70 kg, y las de lana

entre 70 y 90 kg (Notter, 2000). Así, los pesos óptimos al sacrificio de los corderos de razas de pelo son inferiores al registrado en los corderos de lana, consecuentemente, los componentes de la canal también presentan pesos y tamaños reducidos.

Finalmente, a la fecha es tangible el hecho que los productores han podido mejorar significativamente los parámetros productivo de los corderos de engorda en México. Esto está asociado principalmente a la implementación de dos estrategias productivas: 1) mejoramiento genético a través de esquemas de cruzamiento incorporando sementales de razas cárnicas, y 2) el uso de sistemas de engorda intensiva en corral con dietas altas en granos y forraje de calidad. No obstante, esto sigue siendo insuficiente para satisfacer la demanda de carne ovina en el país, por lo que se sigue en la búsqueda de otras tecnologías que ayuden acelerar el crecimiento y mejorar la deposición de masa muscular de los corderos de engorda, al mismo tiempo que los hace más eficientes para depositar los nutrientes dietarios en masa corporal. En este sentido, el uso de promotores de crecimiento en la engorda de corderos ha comenzado a ser un foco de atención en la actualidad.

2.3. Promotores de crecimiento en la producción animal

La demanda de proteína de origen animal se encuentra en un constante aumento como la población humana también sigue creciendo. Así, la producción de productos de origen animal cobra gran relevancia en el tema de seguridad alimentaria de todos los países del mundo, incluyendo México. Sin embargo, también es cierto que, con el problema del calentamiento global y cambio climático, la disponibilidad de recursos naturales cada vez son más limitados para sostener un crecimiento producción de carne basada en un aumento en el inventario cabezas de ganado (Campbell et al., 2016). Dada esta problemática mundial, la industria cárnica busca constantemente alternativas para promover un crecimiento rápido y eficiente de los animales, lo cual se refleje en mejor ganancia de peso en canal y una disminución en el contenido de grasa en la misma (Herago y Agonafir, 2017).

El uso de promotores de crecimiento ha sido una alternativa que ha mostrado mejorar crecimiento y deposición de masa corporal en los diferentes animales domésticos, incluyendo los ovinos de engorda. Los promotores de crecimiento son sustancias naturales o sintéticas con actividad farmacológica que se administran a los animales sanos a través de los piensos para acelerar la ganancia de peso y mejorar los índices de transformación de los alimentos (Herago y Agonafir, 2017). No obstante, a pesar de sus beneficios productivos, la mayoría de estas sustancias presentan restricción en su uso en muchos países del mundo (mayormente países Europeos) por considerarlas tóxicas para la población. Su residualidad en tejidos y el abuso en su administración al ganado, ha conllevado que algunas personas desarrollen algunas patologías que comprometen su salud (Courtheyn et al., 2002). En México, la mayoría de los promotores de crecimiento actuales son permitidos, siempre y cuando se sigan las normatividades de uso.

Los promotores de crecimiento existentes en mercado y que se han empleado en la engorda de corderos, pueden clasificarse en base a su mecanismo de acción como: aditivos de alimento, implantes hormonales, hormona de crecimiento (somatotropina bovina), agentes metabólicos repartidores de nutrientes (agonistas adrenérgicos β ; AA- β) y probióticos (Herago y Agonafir, 2017). Los aditivos alimenticios son sustancias que mejoran el crecimiento de los ovinos porque ayudan a cubrir la necesidad de un nutriente específico o favorecen el estado de salud; algunos ejemplos de este tipo de aditivos se encuentran los antibióticos, ácidos orgánicos (metabolitos secundarios de plantas) y enzimas exógenas (Lee, 2010). Por su parte, los implantes hormonales son dispositivos que almacenan hormonas de tipo esteroidal, sintéticas y/o naturales, las cuales ejercen de manera directa una mejora en la síntesis de proteína a nivel de fibras musculares y, consecuentemente, incrementa el crecimiento y la eficiencia alimenticia de los corderos (López-Baca et al., 2019). La hormona de crecimiento mejor conocida comercialmente como somatotropina bovina es una hormona proteica que funciona como promotor de crecimiento por estimular el metabolismo para incrementar la síntesis de proteína y reducir la lipogénesis (Dohoo et al., 2003). En el caso de agentes repartidos de nutrientes, se encuentran los AA- β que promueven el crecimiento en los corderos por

causar una hipertrofia muscular al movilizar nutrientes de dieta y tejido graso principalmente para la síntesis de proteína muscular; también ejercen un efecto anti-lipogénico y anti-proteolisis por ser similares a las catecolaminas (Mersmann, 1998; Ortíz-Rodea et al., 2016). Finalmente, los probióticos son cultivos de microorganismos, generalmente bacterias u hongos, que son ofrecidos en agua o alimento; estos promueve un mejor crecimiento por mejorar la actividad de la flora microbiana ruminal en los corderos (Khalid et al., 2011).

Una descripción más amplia se realizará a continuación del uso del AA- β_2 CZ, así como del implante esteroidal. Ambos productos han mostrado ser efectivos como promotores de crecimiento en corderos de engorda cuando su aplicación se hace sola. Aunque estudios en bovinos sugieren que podrían tener un efecto aditivo.

2.4. Clorhidrato de zilpaterol en la engorda de ovinos

Existen diferentes compuestos AA- β que son usados en la alimentación de los animales domésticos para mejorar el crecimiento y las características de la canal (Mersmann, 1998; Dominguez-Vara et al., 2010). En cuanto a estructura química, todos los AA- β son similares por contener un anillo, sin embargo, difieren en relación a la afinidad que tienen con los RA- β_1 , RA- β_2 y RA- β_3 (Bersmann, 2002). Considerando que la proporción de cada tipo de RA- β varía entre tejidos e incluso entre especie, no todos los AA- β tienen la misma eficacia para funcionar como promotores de crecimiento en todas las especies (Domínguez-Vara et al., 2010). Los RA- β_1 predominan en animales monogástricos (67 % en músculo esquelético y 73 % en tejido adiposo), mientras que los RA- β_2 son más abundantes en rumiantes (99 % en músculo esquelético y 90 % en tejido adiposo) (Johnson et al., 2014). El CZ es un AA- β_2 por lo cual se usa más como promotor de crecimiento en ganado bovino y ovino (Delmore et al., 2010).

El CZ es uno de los dos AA- β permitidos como promotor de crecimiento en engorda de ganado, y esto se debe a que es 12 veces menos potente que el popular AA- β clenbuterol (Avendaño-Reyes et al., 2006), el cual está prohibido actualmente (Domínguez-Vara et al., 2010). Adicionalmente, se ha reportado que su residualidad

es baja en los diferentes tejidos que puede consumir el humano, por lo que se sugiere que no es tóxico en las personas que consumen regularmente carne ovina. Shelver y Smith (2006) reportaron que después de 10 d de alimentar a los corderos con CZ, encontraron 29.8, 20.6 y 13,5 ng/g de tejido de hígado, riñón y músculo, respectivamente; no obstante, después de dos días de haber dejado de ofrecer el AA- β , ellos determinaron una tasa de eliminado del CZ de 95 % en los diferentes tejidos. Por lo tanto, se recomienda alimentar a los corderos durante los últimos 30 d del periodo de engorda con el producto, seguido de un periodo de retiro de 48 h antes de sacrificio.

Los mecanismos de acción a través de los cuales el CZ mejora el comportamiento productivo y las características de la canal son diversos en ganado de engorda. En corderos de engorda se ha demostrado que el principal mecanismo está asociado con la capacidad del AA- β para funcionar como redistribuidor de nutrientes dietarios y de tejidos corporales energéticos (grasa y algunos órganos) para promover una hipertrofia en tejido de músculo estriado (Ortíz-Rodea et al., 2016). Así, el CZ consumido por los corderos se une a RA- β_2 ubicados en el tejido adiposo y de músculo estriado para ejercer sus funciones de redistribuido de nutrientes (Delmore et al., 2010). El CZ en tejido adiposo modifica el metabolismo para generar una acción lipolítica al mismo tiempo que evita que los nutrientes dietarios se conviertan en tejido lipídico (lipogénesis); mientras tanto, el CZ que se unió con los RA- β_2 en músculo, incrementa la síntesis de proteína y reduce la proteólisis, situación que conduce a una hipertrofia muscular (Avendaño-Reyes et al., 2018; Rojo-Rubio et al., 2018). Cabe mencionar que todos los sustratos energéticos derivados del tejido graso y la dieta son re-direccionados al tejido muscular para la formación de masa muscular magra (Delmore et al., 2010). Actualmente, también se ha demostrado que el CZ incrementa el crecimiento muscular a través de mejorar la eficiencia metabólica del mismo, específicamente aumentando la oxidación de glucosa (Barnes et al., 2019).

En términos generales, los corderos de engorda finalizados con suplementación de CZ presentan mejorar comportamiento productivo en corral y características de importancia económica, con ligeras alteraciones negativas en la

calidad de la carne (Macías-Cruz et al., 2013a; Ortíz-Rodea et al., 2016; Avendaño-Reyes et al., 2018). La mayoría de estudios reportan un aumento en la GDP, la eficiencia alimenticia y peso al sacrificio por efecto de suplementar los corderos con CZ (Estrada-Ángulo et al., 2008; López-Carlos et al., 2010; Avendaño-Reyes et al., 2018; Rojo-Rubio et al., 2018). Sin embargo, otros estudios, siendo los menos, que no han encontrado afectación alguna del CZ en el comportamiento productivo de los corderos de engorda (Macías-Cruz et al., 2010b; 2016; Barnes et al., 2019). Los efectos benéficos del CZ en el comportamiento productivo han sido más notorios en corderos que en corderas. De tal manera que corderos machos alimentados con CZ muestran incrementos en GDP, consumo de materia seca, eficiencia alimenticia y peso final de 28, 3, 25 y 5 %, respectivamente (porcentajes calculado a partir de los estudios citados en el párrafo).

Los beneficios de incluir CZ en la dieta de corderos de engorda han sido más consistentes a nivel de canal, por lo que rasgos de importancia económica de la canal siempre presentan mejoras. Las canales de corderos alimentados con CZ presentan un aumento de 6 % en peso de canal caliente (PCC), 8 % en peso de canal fría (PCF), 4 % en rendimiento en canal y 15 % en área del ojo de la costilla (AOC), así como una reducción de alrededor del 20 % en la deposición de grasa riñonal-pelvica-corazón (KPH, por sus siglas en inglés) (Mondragón et al., 2010; López-Carlos 2010, 2011; Dávila-Ramírez et al., 2014; Partida et al., 2015; Rojo-Rubio et al., 2018). En caso de corderas, el CZ acentúa más los efectos benéficos en PCC, PC, rendimiento en canal y AOC, pero menos evidente en relación a movilización de reservas grasas (grasa KPH y grasa dorsal) (Macías-Cruz et al., 2010b, 2013b; Avendaño-Reyes et al., 2011; Dávila-Ramírez et al., 2015).

Por otra parte, si bien CZ mejora el rendimiento en canal y el PCF en canales de ovinos, algunos estudios han demostrado que estos efectos no se reflejan en mejores rendimientos de todos los cortes primarios. En este sentido, los resultados del impacto del CZ en el rendimiento de cortes primarios son contradictorios hasta el momento. En corderos, Dávila-Ramírez et al. (2014) observaron que CZ aumentó el rendimiento de pierna y redujo el rendimiento de lomo plano, sin afectar el rendimiento de los cortes cuello, costilla, lomo, paleta y faldilla de la costilla; sin

embargo, Rojo-Rubio et al. (2018) encontraron que este AA- β_2 no modificó el rendimiento de ninguno de los cortes primarios en corderos. Estas inconsistencias entre estudio se han relacionado con la distribución de RA- β_2 y fibras tipo II en cada uno de los cortes primarios (Macías-Cruz et al., 2010b). Esto sugiere la necesidad de seguir estudiando este aspecto cuando se emplea dicho promotor de crecimiento.

2.5. Implantes esteroidales en la engorda de ovinos

Diversas sustancias con funciones de hormonas esteroidales han sido aprobadas desde 1950 a la fecha para usarlas como promotores de crecimiento, tanto en ovinos como en ganado bovino (Reinhardt, 2007). Estas sustancias incluyen desde las hormonas esteroidales normales que sintetiza el cuerpo (estrógenos, progesterona y testosterona), así como las versiones sintéticas de dichas hormonas (Herago y Agonafir, 2017). Todas ellas mejoran significativamente la capacidad de los animales para ganar peso y hacer un uso más eficiente de los nutrientes dietarios consumidos, lo cual conduce a un mayor volumen de producción de carne con un menor costo de producción (Reinhardt, 2007).

Las drogas hormonales esteroidales empleadas como promotores de crecimiento se preparan como pellets, los cuales se implantan en la piel ubicada en la región central de la oreja, al lado anverso, y no requieren retirarlos antes de sacrificio. Los pellets son elaborados para promover una liberación lenta de las hormonas, con una acción efectiva máxima de 150 días (Harrison et al., 1983). Se ha documentado que las hormonas esteroidales presentan un pico rápido en sangre entre 2 y 5 días post-implantación, sin embargo, después se presentan ligeros incrementos paulatinos durante el periodo de efectividad del implante, llegando a ser máximo a los 90 d (Reinhardt, 2013). Esto explica porque se recomienda re-implantar a este tiempo aun cuando el implante puede seguir liberando la hormona hasta los 150 días. Aunque cabe mencionar que, a diferencia de otros promotores de crecimiento, los IE al parecer no comprometen la salud del humano, ya que la cantidad de hormona que aporta el pellet es muy pequeña en relación a la cantidad de hormona que secretan de manera natural. Por lo tanto, tanto carne proveniente de

animales implantados o no, contienen residuos de estas hormonas esteroidales (Preston, 1999; Sang-Hee et al., 2010; Smith y Johnson, 2020).

Cabe mencionar que en el mercado existen diferentes tipos de implantes con distintas combinaciones y dosis de hormonas esteroidales. No obstante, la regla para decidir que implante usar será acorde al sexo y etapa de crecimiento del animal de engorda. Así, se busca que a través del implante se suplemente la hormona en cual el animal presente un déficit, o bien se requiera reemplazar (Reinhardt, 2013). Si se va implantar hembras, se recomienda que el implante lleve andrógenos naturales o sintéticos como el ATB, pero no se recomiendan estrógenos porque de manera natural ya los produce (Reinhardt, 2007).

Los implantes que contienen ATB combinado E_2 son ampliamente utilizados para finalizar el ganado, y los resultados han sido muy satisfactorios para GDP, eficiencia alimenticia y deposición de canal magra (Preston, 1999). No obstante, mientras que en la industria de la engorda de carne bovina son ampliamente usados, en la engorda de corderos son menos empleados. De hecho, la mayoría de estudios existente son de los años 80's y 90's, justamente en el periodo donde se usó al ovino como modelo para comprender su modo de acción y viabilidad para administrarse masivamente en bovinos de engorda. Resulta importante aclarar, que una limitante de emplear esto implantes en los corderos, es el hecho que su periodo de engorda es relativamente corto en relación a los bovinos. Para estos últimos prácticamente hay programas bien consolidados de implantación desde el destete hasta que alcanzan el peso al sacrificio (Dayton y White, 2014; Johnson y Beckett, 2014).

Los implantes que combinan estrógenos y andrógenos son más efectivos como promotores de crecimiento que implantes que tiene solo ATB o E_2 (Reinhardt, 2007). La principal razón de esta diferencia en el mecanismo de acción radica en que las vías por las cuales promueven el crecimiento en los animales es diferente, pero se complementan para mejorar la funcionalidad de ambos tipos de hormonas (Dayton y White, 2014). Los estrógenos promueven un aumento en la síntesis y liberación de la hormona crecimiento y el factor de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-

1, por sus siglas en inglés) a nivel hepático, las cuales a su vez estimulan la síntesis de proteína muscular. Por su parte, los andrógenos tiene un efecto directo a nivel de músculo promoviendo la síntesis de proteína al mismo tiempo que reduce la proteólisis (Reinhardt, 2007). Resulta importante señalar que el andrógeno sintético ATB es 50 veces más potente que los andrógenos naturales, y en consecuencia, son más efectivos para promover la formación de tejido muscular que cualquier otro implante que contenga sólo una hormona (Herago y Agonafir, 2017). Actualmente, se conoce que los implantes que contienen tanto ATB y E₂ ejercen mecanismos más complejos para promover la formación de músculo.

Los implante esteroidal que contienen ATB y E₂ actúan principalmente uniéndose a los receptores de esteroides en el citoplasma para estimular la síntesis del IGF-I y la hormona de crecimiento; hormonas que estimulan la proliferación de células satelitales que son encargadas de aumentar la síntesis de proteína en la fibras musculares (Dayton, White 2014). Adicionalmente, este tipo de implante aumenta la expresión de dos genes relacionados con el crecimiento, *GREB1* (regulación del crecimiento por estrógeno en cáncer de mama 1) y *WISP2* (proteína de vía de señalización inducible Wnt-1 2) en corderos castrados; ambos genes son objetivos genéticos comunes para las vías de señalización de estrógenos y andrógenos, por lo que contribuye a la interacción positiva entre ATB y E₂ (Kongsuwan et al., 2012).

Cabe mencionar que los resultados en comportamiento productivo y características de la canal por el uso del implante con ATB y E₂ en ovinos de engorda es controversial, no así en bovinos. Ortíz et al. (2013) reportaron un aumento del 8 % en GDP y una disminución en la conversión alimenticia del 13 % por implantar corderos enteros con ATB y E₂. Sin embargo, en otro estudio donde usaron corderos castrados (Galbraith et al., 1997) o enteros (Greyling et al., 1993) no mostraron mejoras en comportamiento productivos y características de la canal debido a un tratamiento con testosterona natural+E₂ o ATB+E₂. Usando corderos castrados, Grandadam et al. (1975) reportaron 26 % más de GDP pero ninguna diferencia en peso y rendimiento de canal por implantar ATB y E₂. Similarmente en corderos castrados, Johnson et al. (1998) observaron un incremento en la GDP y la eficiencia

alimenticia de 25 y 23 %, respectivamente, implantando ATB+E₂ durante 24 días. Yasin y Galbraith (1981) demostraron que los corderos castrados presentan un mejor GDP, eficiencia alimenticia, peso de canal y rendimiento en canal al implantarse ATB+E₂ porque tienen una mayor síntesis de proteína y reducen la lipogénesis. Finalmente, se ha demostrado que el implante de ATB+E₂ para mejorar comportamiento productivo en corderos castrados pero no en corderas. Todos estos resultados sugieren que la efectividad del implante ATB+E₂ en ovinos de engorda es dependiente del sexo, siendo mejor implantar corderos castrados que machos o hembras.

2.6. Uso combinado de clorhidrato de zilpaterol e implantes esteroidales

En bovinos de engorda se ha demostrado que el CZ mejora su eficacia como promotor de crecimiento cuando se administra en la fase de finalización de ganado implantado, principalmente con ATB+E₂ (Dayton y White, 2014). La mayoría de estudios indican que el efecto que se produce por combinar estos dos tipos de promotores de crecimiento es aditivo (Baxa et al., 2010; Parr et al., 2014). Cabe mencionar que en ovinos no se ha evaluado el uso combinado de estos dos promotores de crecimiento, por lo que resulta una estrategia práctica de estudiar en beneficio de encontrar una nueva herramienta para mejorar el crecimiento y la calidad de la carne de los corderos de engorda en México.

Recientemente, un estudio evaluó la combinación de un implante de zeranol (no esteroideal) colocado por alrededor de 70 días combinado con 18 o 25 días de suplementación de CZ antes de sacrificio (Webb et al., 2018). Los autores indicaron un efecto aditivo al combinar estos dos promotores de crecimiento sobre la GDP de los corderos durante el periodo de 70 d, aunque durante el periodo de 18 o 25 días donde estuvo presente el implante y la suplementación de CZ, la GDP fue similar entre corderos alimentados solo con CZ y tratados con CZ+ zeranol. El PCC pero no el rendimiento en canal mejoró con la administración de ambos promotores de crecimiento. Dados estos antecedentes, es muy posible que los corderos crezcan aún más si se usara CZ combinado con implante de ATB+E₂, ya que estudios previos

han reportado una mayor efectividad de este implante comparado a cuando implantan con zeranol (Ortíz et al., 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Sitio de estudio y manejo pre-experimental

El estudio se realizó en la Unidad de Producción Ovina del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), la cual está situada en la región del Valle de Mexicali, Baja California, al noroeste de México. Todo el manejo e incluyendo el sacrificio se realizó de acuerdo a las normas oficiales mexicanas aprobadas por SENASICA (NOM-062-ZOO-1999: Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales doméstico; NOM-051-ZOO-1995: Trato humanitario en la movilización de animales; y NOM-033-ZOO-1995: Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres).

El experimento tuvo una duración de 78 días, 15 días de periodo de adaptación y 63 días de periodo experimental (prueba de comportamiento). Así, en el periodo de adaptación los animales fueron desparasitados con 0.7 mL de ivermectina (Sanfer Laboratorio, Ciudad de México, México) y tratados con 1.0 mL de vitamina A-D-E (Vigantol ADE Fuerte; Bayer, Ciudad de México, México). Además, se adaptaron a corraletas individuales y a la dieta experimental base, la cual fue formulada para cubrir los requerimientos nutricionales de corderos de engorda en finalización (energía metabolizable= 2.8 Mcal/kg de materia seca y proteína cruda= 16 %) (NRC, 2007). En el Cuadro 1 se muestran ingredientes y composición química de la dieta base.

3.2. Diseño y manejo experimental

Se utilizaron 40 corderos enteros de la cruce Dorper x Pelibuey, de 4.5 meses edad, los cuales fueron pesados al inicio del periodo experimental (peso vivo [PV] inicial= 34.95 ± 0.24 kg) para asignarlos bajo diseño de bloques completamente al azar con arreglo factorial 2 (0 y 0.15 mg de CZ/kg de PV) x 2 (con y sin IE) a los siguientes tratamientos: 1) sin CZ y IE, 2) sin CZ y con IE, 3) con CZ y sin IE, y 4) con CZ y IE. Los corderos tratados con IE fueron implantados en la oreja con tres pastillas (52.5 mg de ATB y 7.5 mg de E₂; Revalor®, Laboratorio Intervet, México) durante los 63 días que duró la prueba de comportamiento en corral, mientras que

los corderos suplementados con CZ (Grofactor®, Laboratorio Virbac, México) fueron alimentados con el agonista β -2 del día 31 al 60 (30 días) y después se retiró los últimos tres días de la prueba. La dosis de CZ fue ajustada cada semana considerando una GDP de 250 g/d (d 38 y 52) o pesando directamente el animal (d 31 y 45). Cabe mencionar que al inicio del experimento se calculó la cantidad total aproximada de CZ a utilizar durante el experimento y dicha cantidad se mezcló con trigo molido a razón de tener 6 mg de CZ mezclados en 27 g de trigo. Así, la mezcla que contenía la dosis de CZ que le correspondía a cada animal fue ofrecida diariamente antes de la alimentación de la mañana para asegurar el consumo del agonista. Posteriormente, se ofreció la dieta basal a las 7:00 y 17:00 h en una proporción de 50:50, respectivamente. La disponibilidad del agua fue *ad libitum*. Los corderos permanecieron encerrados en corraletas individuales equipadas con comedero, bebedero y sombra durante todo el periodo experimental.

3.3. Composición química de la dieta

Se colectaron muestras de alimento en cada ocasión que se mezcló dieta y estas fueron secadas en estufa de aire forzado durante 24 h a 60° C. Al final del experimento, todas las muestras fueron mezcladas y molidas para obtener una sub-muestra que fue utilizada para determinar composición química de la dieta. Los compuestos bromatológicos determinados a la muestra fueron materia seca, materia orgánica, cenizas, PC y extracto etéreo (AOAC, 1990). Adicionalmente, se determinó fibra detergente neutra, fibra detergente ácida, hemicelulosa, celulosa y lignina (Goering y Van Soest, 1970; Van Soest et al., 1991). Los contenidos de energías (digestible, metabolizable, neta de mantenimiento y neta de ganancia) de la dieta fueron calculados con fórmula (NRC, 1985).

Cuadro 1. Ingredientes y composición química de la dieta experimental base.

Ingredientes (basado en tal como se ofrece)	%
Paja de trigo	16.0
Heno de alfalfa	14.0
Trigo molido	54.0
Harina de soya	12.0
Aceite de soya	2.5
Sal en gano	0.5
Fosfato de dicálcico	0.7
Piedra caliza	0.3
Composición química (basado en materia seca)	%
Materia seca	90.8
Materia orgánica	92.6
Cenizas	7.4
Proteína cruda	15.0
Extracto etéreo	7.6
Fibra detergente neutral	44.1
Fibra detergente ácida	14.7
Hemicelulosa	29.4
Celulosa	10.2
Lignina	4.5
Aporte energético	Mcal/kg
Energía metabolizable	2.9
Energía neta de mantenimiento	1.9
Energía neta de ganancia	1.3

3.4. Evaluación de comportamiento productivo

Los corderos se pesaron individualmente al día 1, 31 y 61 de la prueba de comportamiento, justamente antes de ofrecer el alimento por la mañana. La cantidad de alimento ofrecido y rechazado también fue pesado diariamente antes de la alimentación de la mañana. Con esta información se calculó la ganancia de peso total (GPT), la GDP, el consumo de alimento y la eficiencia alimenticia para los siguientes periodos de prueba: d 1 a 30, d 31 a 60 y d 1 a 60.

3.5. Evaluación de la canal y cortes primarios

Todos los corderos fueron llevados al taller de carne del ICA-UABC al finalizar la prueba de comportamiento para sacrificarlos (después de 12 h de ayuno). Cuando los corderos llegaron al taller se registró el PV individual, y posteriormente se procedió a sacrificarlos por el método de degüello. Se registró el PCC después de retirar piel, cabeza, patas, órganos y vísceras del cuerpo del animal. El peso de tracto gastrointestinal lleno y vacío, así como el peso de las grasas de KPH, omental y mesentérica también fueron registradas. Posteriormente, las canales se colocaron en un cuarto frío a 4 °C por 24 h para poder registrar el PCF, la longitud de la canal, la circunferencia de cuello, la profundidad del tórax, y la longitud y el perímetro de la pierna. La conformación de la canal también se evaluó usando una escala de 8 puntos (1= mala y 8= excelente; Smith et al., 2001). Finalmente, la canal fue trozada por la línea media y el lomo del lado derecho fue cortado entre la 12va y 13va para medir área del músculo *Longissimus thoracis* (MLT) con una cuadrícula de puntos (64 mm), asimismo el espesor de la grasa dorsal con un calibrador vernier. Cabe mencionar que el pH del MLT también fue evaluado a los 45 min y 24 h post-mortem con un potenciómetro que tenía un electrodo de penetración (Hanna Instruments, model HI 98140, Woonsocket, RI, USA). Después de la evaluación del MLT, las medias canales derechas fueron seccionadas en los siguientes cortes primarios de acuerdo a una metodología ya establecida (Avendaño-Reyes et al., 2011): cuarto delantero, cuarto trasero, cuello, paleta, costillar, lomo largo, lomo plano, faldilla y pierna.

A partir de la información colectada se calculó PV vacío para poder estimar el rendimiento en canal y el porcentaje de cada una de las grasas medidas. El PV vacío se obtuvo por diferencia entre peso de tracto gastrointestinal lleno y vacío, mientras que el rendimiento en canal expresando el PCC como porcentaje del PV vacío. Similarmente, el peso de cada una de las grasas corporales medidas fue expresado como porcentaje del PV vacío. Los rendimientos de los cortes primarios se obtuvieron expresando el respectivo peso de cada uno de ellos como porcentaje del peso de la media canal derecha.

3.6. Análisis estadístico

Todos los datos se sometieron a un análisis de varianza en arreglo factorial 2 x 2 bajo un diseño de bloques completamente al azar, donde el modelo incluyó los efectos de bloque, suplementación de CZ, colocación de IE y la interacción entre suplementación de CZ y colocación de IE. Se consideró que la corraleta fue la unidad experimental. Las medias fueron comparadas con una prueba de Tukey, declarando significancia a $P \leq 0.05$ y tendencias cuando $0.05 < P \leq 0.10$. Los análisis se realizaron usando el procedimiento GLM y la opción tukey lines del programa estadístico SAS (SAS 2004).

IV. RESULTADOS

En general, ninguna de las variables de comportamiento en corral, características de la canal y rendimientos de cortes primarios fueron afectadas ($P \geq 0.11$) por la interacción entre suplementación de CZ y colocación de IE. Consecuentemente, a continuación se presentan los resultados por cada factor principal.

4.1. Efecto de clorhidrato de zilpaterol

La suplementación de CZ solamente afectó el comportamiento productivo de los corderos durante los 30 días que se ofreció (Cuadro 2). Los corderos alimentados con CZ presentaron mayor ($P \leq 0.05$) GPT, GDP y la eficiencia alimenticia que corderos alimentados sin CZ. El consumo de alimento no fue afectado por suplementación de CZ en ninguno de los periodos de estudio. Los corderos suplementados con CZ también mostraron mayor ($P \leq 0.05$) PCC, PCF, rendimiento en canal, área del MLT, pH a 24 h post-mortem del MLT y perímetro de pierna comparado con corderos no alimentados con CZ (Cuadro 3). La suplementación de CZ tendió a incrementar la profundidad del torax ($P = 0.09$) y la longitud de la pierna ($P = 0.06$) en las canales. Finalmente, la adición de CZ a la dieta no afectó ($P \geq 0.12$) conformación de la canal, pH a 45 min post-mortem del MLT, deposición de grasa interna (KPH, omental y mesentérica) y de cobertura, largo de canal, perímetro de cuello y rendimientos de cualquier corte primario (Cuadro 4).

4.2. Efecto del implante esteroidal

Por otra parte, la implantación de los corderos con IE no afectó ($P \geq 0.78$) el comportamiento productivo en los primeros 30 días, últimos 30 días o en el periodo experimental general (Cuadro 2). En características de la canal, los IE solamente afectaron ($P \leq 0.03$) el rendimiento en canal y el área del MLT, siendo estos efectos positivos (Cuadro 3). En el caso de rendimiento de cortes primarios, el porcentaje de

cuello tendió ($P=0.06$) a reducir debido al IE, sin observarse ninguna otra alteración ($P\geq 0.13$) en los demás rendimientos de los cortes (Cuadro 4).

Cuadro 2. Comportamiento productivo de corderos de pelo tratados con dos tipos de promotores de crecimiento, clorhidrato de zilpaterol (CZ) e implante esteroidales (IE).

	CZ (mg/kg de PV) ¹			IE ²			Valor de <i>P</i>		
	0	0.15	EE	SIN	CON	EE	CZ	IE	CZxIE
Peso vivo (kg)									
d 1	35.01	34.95	0.24	34.99	34.97	0.24	0.84	0.95	0.87
d 30	42.97	42.10	0.45	42.46	42.59	0.46	0.18	0.84	0.54
d 60	49.95	50.03	0.57	49.94	50.05	0.57	0.92	0.90	0.97
Ganancia de peso (kg)									
d 1 a 30	7.95	7.16	0.51	7.47	7.64	0.51	0.28	0.82	0.61
d 30 a 60	6.99	7.84	0.35	7.48	7.34	0.35	0.05	0.78	0.27
d 1 a 60	14.94	15.13	0.62	14.95	15.11	0.61	0.82	0.85	0.96
Ganancia diaria de peso (g/d)									
d 1 a 30	265	239	17.2	249	255	16.5	0.28	0.82	0.61
d 30 a 60	232	261	10.4	249	245	11.7	0.05	0.78	0.28
d 1 a 60	249	252	10.1	249	252	10.3	0.82	0.85	0.96
Consumo de alimento (kg)									
d 1 a 30	1.63	1.62	0.05	1.63	1.62	0.05	0.86	0.90	0.49
d 30 a 60	1.66	1.58	0.06	1.63	1.61	0.06	0.38	0.79	0.79
d 1 a 60	1.64	1.61	0.05	1.63	1.62	0.05	0.68	0.98	0.75
Eficiencia alimenticia									
d 1 a 30	166	150	9.4	159	157	9.4	0.25	0.88	0.34
d 30 a 60	142	168	6.3	155	154	6.9	<0.01	0.96	0.27
d 1 a 60	154	160	4.6	157	156	4.6	0.35	0.99	0.81

¹Corderos alimentados diariamente con 0 o 0.15 mg de CZ/kg de peso vivo (PV).

²Corderos no implantados (SIN) e implantados en la oreja con 52.5 mg de acetato de trembolona+7.5 mg de 17 β estradiol (CON).

Cuadro 3. Características de la canal en corderos de pelo tratados con dos tipos de promotores de crecimiento, clorhidrato de zilpaterol (CZ) e implantes esteroidales (IE).

Variables ¹	CZ (mg/kg de PV) ²			IE ³			Valor de P		
	0	0.15	EE	SIN	CON	EE	CZ	IE	CZxIE
PCC (kg)	23.96	25.17	0.29	24.26	24.87	0.28	<0.01	0.15	0.77
PCF (kg)	23.38	24.61	0.29	23.72	24.27	0.29	<0.01	0.19	0.72
RC (%)	54.71	57.34	0.41	55.20	56.86	0.43	<0.01	0.01	0.91
Conformación	7.35	7.54	0.12	7.42	7.47	0.12	0.27	0.80	0.80
<i>Músculo Longissimus toracis</i>									
Área (cm ²)	12.60	14.17	0.57	12.42	14.35	0.57	0.05	0.03	0.05
pH 45 min	6.75	6.71	0.02	6.73	6.72	0.02	0.25	0.78	0.90
pH 24 h	5.81	5.92	0.03	5.84	5.89	0.03	0.02	0.27	0.46
Deposición de grasa corporal									
EGD (cm)	3.15	2.72	0.23	2.85	3.03	0.23	0.20	0.58	0.81
KPH (%)	2.27	2.01	0.14	2.15	2.13	0.14	0.21	0.93	0.52
Omental (%)	3.00	2.73	0.17	2.99	2.74	0.17	0.26	0.32	0.41
Mesentérica	1.95	1.72	0.10	1.91	1.76	0.10	0.12	0.34	0.52
(%)									
Medidas zoométricas (cm)									
LC	63.25	63.86	0.48	63.82	63.29	0.48	0.37	0.43	0.81
PC	37.22	37.14	0.62	36.75	37.61	0.62	0.92	0.33	0.31
PT	15.56	16.08	0.20	15.76	15.88	0.21	0.09	0.69	0.31
LP	28.26	29.04	0.27	28.63	28.67	0.28	0.06	0.93	0.79
PP	44.98	47.00	0.55	46.09	45.88	0.57	0.02	0.79	0.24

¹ PCC= Peso de canal caliente, PCF= Peso de canal fría, RC= Redimiento en canal, KPH= Grasa depositada en corazón-riñón-pelvis, EGD= Espesor de grasa dorsal, LC= Largo de canal, PC= Perímetro del cuello, PT= Profundidad del torax, LP= Largo de pierna, PP= Perímetro de pierna.

² Corderos alimentados diariamente con 0 o 0.15 mg de CZ/kg de peso vivo (PV).

³ Corderos no implantados (SIN) e implantados en la oreja con 52.5 mg de acetato de trembolona+7.5 mg de 17 β estradiol (CON).

Cuadro 4. Rendimiento de cortes primarios en corderos tratados con dos tipos de promotores de crecimiento, clorhidrato de zilpaterol (CZ) e implantes esteroidales (IE).

Variables ¹ (%)	CZ (mg/kg de PV) ²			IE ³			Valor de <i>P</i>		
	0	0.15	EE	Sin	Con	EE	ZH	IE	CZxIE
Cuarto delantero	53.62	53.57	0.38	53.18	54.01	0.38	0.91	0.13	0.62
Cuarto trasero	46.37	46.43	0.38	46.82	45.99	0.38	0.91	0.13	0.62
Cuello	4.37	4.23	0.21	4.60	4.00	0.21	0.63	0.05	0.98
Costillar	9.55	9.82	0.19	9.46	9.90	0.20	0.35	0.13	0.88
Lomo	12.02	11.78	0.20	11.81	11.99	0.20	0.41	0.53	0.52
Paleta	30.47	29.93	0.42	29.77	30.63	0.43	0.38	0.16	0.75
Pierna	26.91	27.31	0.41	27.40	26.82	0.41	0.50	0.32	0.84
Lomo plano	9.23	9.59	0.16	9.35	9.47	0.16	0.13	0.60	0.86
Faldilla del lomo	7.44	7.34	0.21	7.60	7.17	0.21	0.74	0.17	0.92

¹ El peso de cada corte primario fue expresado como porcentaje del peso de la media canal.

² Corderos alimentados diariamente con 0 o 0.15 mg de CZ /kg de peso vivo.

³ Corderos no implantados (SIN) e implantados en la oreja con 52.5 mg de acetato de trembolona+7.5 mg de 17 β estradiol (CON).

V. DISCUSIÓN

La alimentación de ganado con CZ en la etapa de finalización ha mostrado mejorar el crecimiento y la eficiencia alimenticia en corral (Avendaño-Reyes et al., 2016; Meraz-Murillo et al., 2017), y de hecho algunos estudios sugieren que el efecto de CZ como promotor de crecimiento es mayor cuando se administra en becerros implantados con ATB+E² (Baxa et al., 2010; Parr et al., 2014). En este sentido, el presente estudio planteó la hipótesis de que el crecimiento y las características de la canal con importancia económica podrían ser mayormente mejoradas en corderos si se administraba en forma combinada CZ e IE, en lugar de hacerlo de forma individual. Sin embargo, los resultados obtenidos no apoyan dicha hipótesis, ya que la interacción entre suplementación de CZ e IE no fue significativa. No hay una explicación para este hallazgo, dado que este es el primero estudio realizado en ovinos al respecto. Posiblemente, diferencias en el metabolismo entre ovinos y bovinos podría estar relacionado con esta discrepancia entre los resultados de cada especie.

5.1. Efectos del clorhidrato de zilpaterol

La suplementación de CZ mostró mejorar el crecimiento y la eficiencia alimenticia sin alterar el consumo de alimento en los corderos durante el periodo que se ofreció. El CZ también resultó ser efectivo en aumentar la deposición de músculo en la canal, como peso y rendimiento de canal y área del MLT fueron mayores en los corderos alimentados con CZ. Estos resultados coinciden con varios estudios donde han evaluado este AA β_2 sobre el comportamiento productivo y las características de la canal de corderos de cruce de pelo (López-Carlos et al., 2011; Mondragón et al., 2010; Macias-Cruz et al., 2013a; Rojo-Rubio et al., 2018). Sin embargo, también difieren parcialmente de otras investigaciones (López-Carlos et al., 2010; Dávila-Ramírez et al., 2014) donde no encontraron efecto alguno en comportamiento en corral pero sí mejoras en las características de la canal que también se observó en el presente estudio. Estas discrepancias entre resultados pueden deberse a variaciones genéticas inherentes a los animales usados (Nourozi et al., 2008) y/o condiciones

ambientales (Macias-Cruz et al., 2013b). Mersmann (1998) menciona que el mecanismo de acción *in vivo* de los AA- β_2 puede ser muy sensible a otros eventos secundarios que alteren fisiológicamente y/o endocrinológicamente los tejidos donde abundan los receptores β , los cuales pueden resultar insensibilizados o reducidos en cantidad.

Los AA- β_2 como el CZ son caracterizados por actuar como promotores de crecimiento en los animales porque promueven la redistribución de nutrientes hacia la formación de masa muscular (Mersmann et al., 1998). Así, parte del tejido graso (efecto de lipólisis y reducción de lipogénesis) y de algunos órganos o vísceras son direccionados como sustratos energéticos para estimular la síntesis de proteína en músculos esquelético, lo cual, acompañado de una reducción en la proteólisis en este tejido, promueve la hipertrofia muscular en animales alimentados con CZ (Mersmann et al., 1998; Dikeman, 2007). En este estudio, el aumento en el peso de la canal y área del MLT debido a CZ, sugiere que este AA- β_2 mejoró la deposición de músculo en el cuerpo de los corderos, lo cual repercutió favorablemente en la GDP y el rendimiento en canal. Dado que el consumo de alimento y la deposición de grasa interna no fueron afectados por CZ, se podría deducir que los corderos alimentados con CZ se volvieron más eficientes para aprovechar los nutrientes dietarios en la formación de músculo esquelético, pero no hubo una movilización de tejido graso para re-direccionar sustrato energético a la formación de músculo.

Esta falta de efecto de CZ sobre tejido graso en los corderos tiene gran relevancia, ya que algunos estudios previos han encontrado una reducción en la cantidad de grasa KPH debido al AA- β_2 (Davila-Ramírez et al., 2014; Rojo-Rubio et al., 2018). En el presente estudio se utilizó CZ de Grofactor®, un producto genérico; mientras que en los estudios publicados usaron CZ de zilmax®, el producto de patente. Se conoce que la molécula de CZ es ambos productos es muy similar, pero se encuentran fijados al vehículo de diferente manera (Avendaño-Reyes et al., 2016). Consecuentemente, la biodisponibilidad y el mecanismo de acción de la molécula de CZ en los corderos, podrían variar ligeramente entre productos debido a su acomodo en el vehículo, tal como lo sugieren nuestros resultados.

Los rendimientos de corte primarios no fueron afectados por CZ en los corderos, lo cual coincide con reportes de otros estudios (Macías-Cruz et al., 2016; Rojo-Rubio et al., 2018). Se esperaba que CZ mejorara el rendimiento de cortes como lomo y pierna, los cuales son abundantes en fibras musculares tipo II, y este AA- β_2 ha demostrado estimular el desarrollo de ellas (Walker et al., 2010). Posiblemente, el desarrollo que alcanzan estas fibras musculares debido a CZ no es suficiente para reflejarse en un mayor rendimiento del corte. Esta hipótesis debe probarse en futuros trabajos.

5.2. Efectos del implante esteroidal

Los resultados mostraron que los implantes de ATB+E₂ no actúan como promotores de crecimiento en ovinos de pelo finalizados en corral, a pesar de que algunos estudios en ganado de engorda (Guiroy et al., 2002; Baxa et al., 2010) y en ovinos (Johnson et al., 1998; McClure et al., 2000; Ortíz et al., 2013) han reportado la efectividad de ellos para aumentar la tasa de crecimiento y la eficiencia alimenticia. No obstante, también existen investigaciones donde no han reportado efectos de implantes esteroidales sobre comportamiento en corral de ovinos de engorda. Un estudio donde trataron corderos Ile France de post-destete con laurato de nandrolona por 90 días, no observaron diferencia en peso final y consumo de alimento entre tratado y no tratados (Greyling et al., 1993). Similarmente, Yasin y Galbraith (1981) indicaron que la implantación de 57.5-70.0 mg de AT combinado con 8.1-12 mg de E₂ durante 63 días, no condujo a mejorar el comportamiento en corral de corderos Greyface. En corderas cruzadas de Targhee x Hampshire tampoco han detectado cambios en la tasa de crecimiento por la colocación de un IE que contenía 60 mg de AT y 12 mg de E₂ (McClure et al., 2000). Cabe mencionar que no hay una explicación a esta falta de respuesta productiva de los corderos al tratamiento con IE que contienen tanto AT y E₂; posiblemente factores ambientales y/o genéticos pueden estar afectando la acción del IE, por lo que se recomienda seguir investigando al respecto.

Por otra parte, si bien peso, conformación y mediciones zoométricas de la canal, así como deposición de grasa y rendimiento de cortes primarios no fueron afectadas por el IE aplicado, el rendimiento en canal y el área del MLT fueron mejorados por la administración de ATB+E₂ a través del implante. Esto sugiere que los IE usados fueron efectivos para promover la síntesis de proteína en músculo de los corderos de pelo, quizás no a una tasa de síntesis tan elevada como los resultados de comportamiento productivo han referido en otros estudios hechos en corderos (Johnson et al., 1998; McClure et al., 2000). La administración de ATB+E₂ promueven la hipertrofia muscular, y consecuentemente, una mayor masa de musculo a través activar diferentes mecanismos endocrinológicos y celulares para acrecentar la síntesis de proteína y disminuir la degradación de la misma (McClure et al., 2000). Se ha reportado que estos IE aumentan la producción de factores de crecimiento insulínico tipo 1 (IGF-I) y ARNm de IGF-I en fibras musculares para favorecer la proliferación de células satelitales, las cuales, al dividirse y fusionarse con las fibras para donar sus núcleos, ayudan a incrementar la síntesis de proteína (Dayton y White, 2014; Parr et al., 2014).

Cabe señalar que los efectos de los IE que contienen ATB+E₂ sobre características de canal en corderos son contradictorios a través de la escasa literatura que existe al respecto, mientras que no se encontró ningún estudio que reportara los efectos de este IE en cortes primarios de esta especie. En coincidencia parcial con los resultados de este estudio, Yasin y Galbraith (1981) reportaron un aumento en el rendimiento en canal y ganancia de peso de canal pero con una marcada disminución en la deposición de grasa corporal en corderos Greyface tratados con ATB+E₂ comparado con un grupo testigo. Sin embargo, otros estudios no reportaron beneficio de IE (ATB+E₂) sobre el peso y el rendimiento de canal en cordero de raza de lana (Grandadam et al., 1975; McClure et al., 2000).

VI. CONCLUSIONES

Se concluye que los promotores de crecimiento CZ e IE (ATB+E₂) no actúan en forma aditiva o sinérgica para mejorar el comportamiento productivo y las características de la canal de corderos de pelo finalizados en corral. De hecho, ambos promotores de crecimiento por separado mostraron ser efectivos en aumentar la formación de masa muscular, sin embargo, esto solamente se reflejó en mejor tasa crecimiento y eficiencia alimenticia en corderos alimentados con CZ.

VII. LITERATURA CITADA

- AOAC. 1990. Official methods of analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, USA.
- Avendaño-Reyes L, FJ Meraz-Murillo, C Pérez-Linares, F Figueroa-Saavedra, A Correa-Calderón, FD Álvarez-valenzuela, JE Guerra-Liera, G López-Rincón, U Macías-Cruz. 2016. Evaluation of the efficacy of grofactor, a beta-adrenergic agonist based on zilpaterol hydrochloride, using feedlot finishing Bulls. *J. Anim. Sci.* 94:2954-2961.
- Avendaño-Reyes L, NG Torrentera-Olivera, A Correa-Calderón, G López-Rincón, SA Soto Navarro, R Rojo Rubio, JE Guerra-Liera, U Macías-Cruz. 2018. Daily optimal level of a generic beta-agonist based on zilpaterol hydrochloride for feedlot hair lambs. *Small Ruminant Res.* 165:48-53.
- Avendaño-Reyes L, U Macías-Cruz, FD Álvarez-Valenzuela, E Águila-Tepato, NG Torrentera-Olivera, SA 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* 89:4188-4194.
- Avendaño-Reyes L, VF Torres-Rodríguez, F Meraz-Murillo, C Pérez-Linares, F Figueroa-Saavedra, PH 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.
- Barnes TL, CN Cadaret, KA Beede, TB Schmidt, JL Petersen, DT Yates. 2019. Hypertrophic muscle growth and metabolic efficiency were impaired by chronic heat stress, improved by zilpaterol supplementation, and not affected by ractopamine supplementation in feedlot lambs. *J. Anim. Sci.* 97(10):4101-4113.
- Baxa TJ, JP Hutcheson, MF Miller, JC Brooks, WT Nichols, MN Streeter, DA Yates, BJ Johnson. 2010. Additive effects of a steroidal implant and zilpaterol hydrochloride on feedlot performance, carcass characteristics, and skeletal

muscle messenger ribonucleic acid abundance in finishing steers. *J. Anim. Sci.* 88:330-337.

Bradford GA, HA Fitzhugh. 1983. Hair sheep: A general description. Fitzhugh, H.A. and Bradford eds. In *Hair Sheep of Western Africa and the Americas: A Genetic Resource for the Tropics*. A Winrock International Study, Western Press. Boulder, CO, USA. Pp. 3-22.

Bustamante GJJ. 2002. Crecimiento y finalización de corderos con dietas a base de grano. *Boletín Técnico No. 1*. Ed. INIFAP, México.

Burke JM, JK Apple. 2007. Growth performance and carcass traits of forage-fed hair sheep wethers. *Small Ruminant Res.* 67:264-270.

Camacho Ronquillo JC, JE Hernández Hernández, OA Villareal Espino-Barros, FJ Franco Guerra, CA Camacho Becerra. 2018. Análisis económico de la engorda de ovinos en una granja integral en el Estado de Puebla, México. *Rev. Mex. Agronegoc.* 42:1-10.

Campbell BC, SJ Vermeulen, PK Aggarwal, C Corner-Dolloff, E Girvetz, AM Loboguerrero, J Ramírez-Villegas, T Rosenstock, L. Sebastian, P. K. Thornton, E. Wollenberg. 2016. Reducing risks to food security from climate change. *Glob. Food Sec.* 11:34-43.

Canton CJG, A Velázquez M, A Castellanos R. 1992. Body composition of pure and crossbred Blackbelly sheep. *Small Ruminant Res.* 7:61-66.

Canton JG, QR Bores, RJ Baeza, FS Quintal, RR Santos, CC Sandoval. 2009. Growth and efficiency of pure and F1 Pelibuey lambs crossbred with specialized breeds for production of meat. *J. Anim. Vet. Adv.* 8:26-32.

Cárdenas-Villegas S, C Cortez-Romero. 2012. Aplicación de biotecnología reproductiva para el mejoramiento genético de rebaños de ovinos. *Agroproductividad* 5:25-33.

Cloete SWP, MA Snyman, MJ Herselman. 2000. Productive performance of Dorper sheep. *Small Ruminant Res.* 36:119-135.

- Courtheyn D, B Le Bized, G Brambilla, HF De Brabander, E Cobbaert, M Van de Wiele, J Vercammen, K De Wasch. 2002. Recent developments in the use and abuse of growth promoters. *Anal. Chim. Acta* 473:71-82
- Cuellar OJA, JP Tortora, GA Trejo, RP Román. 2012. La producción ovina mexicana. Particularidades y complejidades. Ed. FESCuautitlan UNAM, SAGARPA
- Dávila-Ramírez JL, U Macías-Cruz, NG Torrentera-Olivera, H González-Ríos, SA Soto-Navarro, R Rojo-Rubio, L Avendaño-Reyes. 2014. Effects of zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation on carcass characteristics of hair-breed ram lambs under heat stress conditions. *J. Anim. Sci.* 92(3):1184-1192.
- Dávila-Ramírez JL, U Macías-Cruz, NG Torrentera-Olivera, H González-Ríos, E.A. Peña-Ramos, SA 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(6):3189-3196.
- Dayton WR, ME White. 2014. Role of satellite cells in anabolic steroid-induced muscle growth in feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 92:30-38.
- Delmore RJ, JM Hodgen, JB Johnson. 2010. Perspective on the application of zilpaterol hydrochloride in the United States beef industry. 88(8):2825-2828.
- Dikeman ME. 2007. Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. *Meat Sci.* 77:121-135.
- Dohoo IR, K Leslie, L DesCôteaux, A Fredeen, P Dowling, A Preston, W Shewfelt W. 2003. A meta-analysis review of the effects of recombinant bovine somatotropin: 1. Methodology and effects on production. *Can. J. Vet. Res.* 67: 241-251.
- Domínguez-Vara IA, J Mondragón-Ancelmo, M González Ronquillo, F Salazar-García, JL Bórquez-Gastelum, A. Aragón-Martínez. 2009. Los B-agonistas adrenérgicos como modificadores metabólicos y su efecto en la producción, calidad e inocuidad de la carne de bovinos y ovinos: una revisión. *Ciencia Ergo Sum* 16(3):1-8.

- Esqueda CMH, R Gutiérrez. 2009. Producción de ovinos de pelo bajo condiciones de pastoreo extensivo en el norte de México. INIFAP. Libro técnico No. 3.
- Estrada-Ángulo A, A Barreras-Serrano, G Contreras, JF Obregón, JC Robles-Estrada, A Plascencia, RA Zinn. 2008. Influence of level of zilpaterol chlorhydrate supplementation on growth performance and carcass characteristics of feedlot lambs. *Small Ruminant Res.* 80:107-110.
- FAOSTAT. 2018. Data of live animals. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA>. (Accesado: 20 de marzo de 2020).
- Fimbres H, G Hernández-Vidal, JF Picón-Rubio, JR Kawas, CD Lu. 2002. Productive performance and carcass characteristics of lambs fed finishing ration containing various forage levels. *Small Ruminant Res.* 43:283-288.
- Flores-Mar J, RA Zinn, J Salinas-Chavira. 2017. Influence of forage NDF level and source in growing-finishing diets on growth performance of feedlot lambs. *Acta Agr. Scand. A-An.* 67:3-4
- Galbraith H, SB Singh, JR Scaife. 1997. Response of castrated male sheep to oestrogenic and androgenic compounds implanted alone or in combination. *Anim. Sci.* 64(2):261-269.
- Godfrey RW, AJ Weis. 2005. Post-weaning growth and carcass traits of St. Croix White and Dorper x St. Croix White Lambs fed a concentrate diet in the U.S. Virgin Islands. *Sheep Goat Res. J.* 20:32-36.
- Goering HK, PJ Van Soest. 1970. Forage Fiber Analyses (Apparatus, Reagents, Procedures, and Some Applications). *Agric. Handbook No. 379*. ARS-USDA, Washington, DC. 1970.
- Grandadam JA, JP Scheid, A Jobard, H Dreux, JM Boisson. 1975. Results obtained with trembolone acetate in conjunction with estradiol 17 β in veal calves, feedlot bulls, lambs and pigs. *J. Anim. Sci.* 3:969-977.

- Greyling JPC, WF Kotzé, GJ Taylor, WJ Hagendijk. 1993. Effect of an anabolic steroid on body measurements in ram lambs. *Small Ruminant Res.* 11:351-357.
- Guiroy PJ, LO Tedeschi, DG Fox, JP Hutcheson. 2002. The effects of implant strategy on finished body weight of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 80:1791-1800.
- Harrison LP, RJ Heitzman, BF Sansom. 1983. The absorption of anabolic agents from pellets implanted at the base of the ear in sheep. *J. Vet. Pharmacol. Therap.* 6:293-303.
- Herago T, A Agonafir. 2017. Growth promoters in cattle. *Adv. Biol. Res.* 11(1):24-34.
- Hernández-Martínez J, MI Ortiz-Rivera, S Rebollar-Rebollar, E Guzmán-Soria, FJ González-Razo. 2013. Comercialización de ovinos de pelo en los municipios de Tejupilco y Amatepec del Estado de México. *Agron. Mesoam.* 24(1):195-201.
- Johnson B, ME White, MR Hathaway, CJ Christians, WR Dayton. 1998. Effect of a combined trenbolone acetate and estradiol implant on steady-state IGF-I mRNA concentration in the liver of wethers and the *longissimus* muscle of steers. *J. Anim. Sci.* 78:491-497.
- Johnson BJ, SB Smith, KY Chung. 2014. Historical overview of the effect of β -adrenergic agonist on beef cattle production. *Asian-Australas J. Anim. Sci.* 27(5):757-766.
- Johnson B, J Beckett. 2014. Application of growth enhancing compounds in modern beef production. American Meat Association, pp. 1-15. Disponible en: <https://meatscience.org/publications-resources/white-papers/docs/default-source/publications-resources/white-papers/application-of-growth-enhancing-compounds-in-modern-beef-production-2015-final>
- Kawas, JR, R García-Castillo, F Garza-Cazares, H Fimbres-Durazo, E Olivares-Sáenz, G Hernández-Vidal, CD Lu. 2007. Effects of sodium bicarbonate and yeast on productive performance and carcass characteristics of light-weight lambs fed finishing diets. *Small Ruminant Res.* 67:157-163.
- Khalid MF, MA Shahzad, M Sarwar, AU Rehman, M Sharif, N Mukhtar. 2011. Probiotics and lamb performance: A review. *Afr. J. Agric. Res.* 6(23):5198-5203.

- Kongsuwan K, MR Knox, PG Allingham, R Pearson, BP Dairymple. 2012. The effect of combination treatment with trenbolone acetate and estradiol-17 β on skeletal muscle expression and plasma concentrations of oxytocin in sheep. *Domest. Anim. Endocrinol.* 43(1):67-73.
- Lee J, S Knowles, G Judson. 2010. *Sheep nutrition*. 4th ed. CAB International: Wallingford, UK, pp. 285-312.
- López-Baca MA, MA Contreras, H González-Ríos, U Macías-Cruz, N Torrentera, M Valenzuela-Melendres, A Muhlia-Almazán, S. Soto-Navarro, L Avendaño-Reyes. 2019. Growth, carcass characteristics, cut yields and meat quality of lambs finished with hydrochloride and steroid implant. *Meat Sci.* 158:107890.
- López-Carlos MA, RG Ramírez, JI Aguilera-Soto, CF Aréchiga, F Méndez-Llorente, H Rodríguez, JM 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 MA, RG Ramírez, JI Aguilera-Soto, A Plascencia, H Rodríguez, CF Arechiga, RM Rincón, CA Medina-Flores, 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.
- Macedo BR, V Arredondo R, R Rodríguez R, JA Rosales S, A Larios G. 2009. Efecto de la adición de un cultivo de levaduras y de la ración sobre la degradación in vitro y productividad de corderos Pelibuey. *Téc. Pec. Méx.* 47:41-53.
- Macedo R, LA Aguilar. 2005. Productive performance of confined Pelibuey lambs fed a mixed diet based on agro-industrial by-products and crop residues. *Livest. Res. Rural Dev.* 17(6). Accesado en Mayo 5, 2020. En: <http://www.lrrd.org/lrrd17/6/mace17065.htm>
- Macías-Cruz U, FD Álvarez-Valenzuela, J Rodríguez-García, A Correa-calderón, NG Torrentera-Olivera, L Molina-Ramírez, L. Avendaño-Reyes. 2010a. Cruzamiento y características de canal en corderos Pelibuey puros y cruzados F1 con razas Dorper y Katahdín en confinamiento. *Arch. Med. Vet.* 42:147-154.

- Macías-Cruz U, FD Álvarez-Valenzuela, NG Torrentera-Olivera, JV Velázquez-Morales, A Correa-calderón, PH Robinson, L Avendaño-Reyes. 2010b. Effect of zilpaterol hydrochloride on feedlot performance and carcass characteristics of ewes lambs during heat-stress conditions. *Anim. Prod. Sci.* 50:983-989.
- Macías-Cruz U, FD Álvarez-Valenzuela, SA Soto-Navarro, E Águila-Tepato, L Avendaño-Reyes. 2013a. Effect of zilpaterol hydrochloride on feedlot performance, nutrient intake, and digestibility in hair-breed sheep. *J. Anim. Sci.* 91(4):1844-1849.
- Macías-Cruz U, L Avendaño-Reyes, FD Álvarez-Valenzuela, N Torrentera-Olivera, CA Meza-Herrera, M Mellado-Bosque, A Correa-Calderón. 2013b. Crecimiento y características de canal en corderas tratadas con clorhidrato de zilpaterol durante primavera y verano. *Rev. Mex. Cien. Pecu.* 4(1):1-12.
- Macías-Cruz U, L Avendaño-Reyes, R Vicente-Pérez, FD Álvarez-Valenzuela, A Correa-Calderón, H González-Ríos, SA Soto-Navarro, M Mellado. 2016. Growth and carcass characteristics of lambs finished with zilpaterol hydrochloride in grazing alfalfa. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 7:243-252.
- Martínez-González S, J Aguirre Ortega, A Gómez Danés, M Ruíz Felix, C Lemus Flores, H Macías Coronel, LA Moreno Flores, S Salgado Moreno, MH Ramírez Lozano. 2010. Tecnologías para mejorar la producción ovina en México. *Rev. Fuente* 2(5):41-51.
- McClure KE, MB Solomon, SC Loerch. 2000. Body weight and tissue gain in lambs fed an all-concentrate diet and implanted with trenbolone acetate or grazed on alfalfa. *J. Anim. Sci.* 78:1117-1124.
- Meraz-Murillo FJ, L Avendaño-Reyes, C Pérez-Linares, F Figueroa-Saavedra, V Torres-Rodríguez, JE 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.* 57(10):2125-2132.

- Mersmann HJ. 1998. Overview of the effects of beta-adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action. *J. Anim. Sci.* 76(1):160-172.
- Mills SE. 2002. Biological basis of the ractopamine response. *J. Anim. Sci.* 80(E-Suppl_2):E28-E32.
- Mondragón J, IA Domínguez-Vara, JM Pinos-Rodríguez, M González, JL Bórquez, A Domínguez, ML Mejía. 2010. Effects of feed supplementation of zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass traits of finishing lambs. *Acta Agr. Scand. A-An.* 60(1):47-52.
- Montgomery GL, CR Krehbiel, JJ Cranston, DA Yates, JP Hutcheson, WT Nichols, MN Streeter, DT Bechtol, E Johnson, T TerHune, TH Montgomery. 2009. Dietary zilpaterol hydrochloride: I. Feedlot performance and carcass traits of steers and heifers. *J. Anim. Sci.* 87:1374-1383.
- Notter DR. 2000. Potential for hair sheep in the United States. *J. Anim. Sci.* 77(Suppl. E):1-8.
- Notter DR, SP Greiner, ML Wahlberg. 2004. Growth and carcass characteristics of lambs sired by Dorper and Dorset rams. *J. Anim. Sci.* 82:1323-1328.
- Nourozi M, M Abazari, M Raisianzadeh, M Mohammadi, 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.
- NRC. 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. Washington (DC): National Academy Press.
- NRC. 1985. Nutrient requirements of sheep. National Academy Press, Washington, DC.
- Ortiz B, A Camacho, NE Villalba, LR Flores, JA Romo, J Aguirre, DE García, R Barajas R. 2013. Efecto de la potencia de los implantes con zeranol o trembolonona+estradiol en la respuesta productiva de ovinos de pelo en engorda intensiva en clima caluroso. *Zootec. Trop.* 31(1):71-77.

- Ortíz Rodea A, M Barbosa Amezcua, JA Partida de la Peña, MG Ronquillo. 2016. Effect of zilpaterol hydrochloride on animal performance and carcass characteristics in sheep. A meta-analysis. *J. Appl. Anim. Res.* 44(1):104-112.
- Parr SL, TR Brown, RRB Ribeiro, KY Chung, JP Hutcheson, BR Blackwell, PN Smith, BJ Johnson. 2014. Biological responses of beef steers to steroidal implants and zilpaterol hydrochloride. *J. Anim. Sci.* 92:3348-3363.
- Partida de la Peña JA, D Braña Varela, H Jiménez Severiano, FG Ríos Rincón, G Buendía Rodríguez. 2013. Producción de carne ovina. Libro n.º. 5 INIFAP. Pp. 1-116.
- Partida de la Peña JA, TA Casaya Rodríguez, MS Rubio Lozano, RD Méndez Medina. 2015. Efecto del clorhidrato de zilpaterol sobre las características de la canal en cruza terminales de corderos Katahdin. *Rev. Vet. Mex.* 2(2):2-13.
- Pineda J, JM Palma, GFW Haenlein, MA Galina. 1998. Fattening of Pelibuey hair sheep and crossbreds (Rambouillet-Dorset X Pelibuey) in the Mexican tropics. *Small Ruminant Res.* 27:263-266.
- PNG. 2018. Estadística pecuaria. *Padrón Ganadero Nacional*. Disponible en: http://www.pgn.org.mx/_programs/busca-form.php. (Accesado: 22 de enero de 2019).
- Preston RL. 1999. Hormone containing growth promoting implants in farmed livestock. *Adv. Drug Deliv. Rev.* 38:123-138.
- Reinhardt C. 2007. Growth-promotant implants: Managing the tools. *Vet. Clin. Food Anim.* 23:309-319.
- Reinhardt CD. 2013. Steroid hormones. *Veterinary manual Merck*. Disponible en: <https://www.merckvetmanual.com/pharmacology/growth-promotants-and-production-enhancers/steroid-hormones>
- Rojo-Rubio R, L Avendaño-Reyes, B Albarrán, JF Vázquez, SA Soto-Navarro, JE Guerra, U Macías-Cruz. 2018. Zilpaterol hydrochloride improves growth performance and carcass traits without affecting wholesale cut yields of hair sheep finished in feedlot. *J. Appl. Anim. Res.* 1:375-379.

- Ruíz NA, JJ Uribe G, JR Orozco H, VO Fuentes H. 2009. The effect of different protein concentrations in the diet of fattening Dorper and Pelibuey lambs. *J. Anim. Vet. Adv.* 8:1049-1051.
- SAGARPA. 2016. Plan rector Sistema Producto Ovino (2015-2014). Disponible en: http://spo.uno.org.mx/wpcontent/uploads/2016/05/plan_rector_ovinos2016.pdf.pdf
- Salinas J, RG Ramírez, MM Domínguez, N Reyes-Bernal, N Trinidad-Lárraga, F Montaña. 2006. Effect of calcium soaps of tallow on growth performance and carcass characteristics of Pelibuey lambs. *Small Ruminant Res.* 66:135-139.
- Sanh-Hee J, K Daejin, L Myung-Woon, K Chang Soo, S Ha Jung. 2010. Risk Assessment of growth hormones and antimicrobial residues in meat. *Toxicol. Res.* 26(4):301-313.
- SAS INSTITUTE. 2004. SAS/STAT: User's guide statistics released 9.1, 2nd Ed. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.
- Shelver WL, DJ Smith. 2006. Tissue residues and urinary excretion of zilpaterol in sheep treated for 10 days with dietary zilpaterol. *J. Agric. Food Chem.* 54(12):4155-4161.
- Smith ZK, BJ Johnson. 2020. Mechanisms of steroidal implants to improve beef cattle growth: a review. *J. Appl. Anim. Res.* 48(1):133-141.
- Smith GC, Griffin DB, Kenneth JH. 2001. Meat evaluation handbook revision committee. American Meat Science Association, Champaign, IL.
- Snowder GD, NM Fogarty. 2009. Composite trait selection to improve reproduction and ewe productivity: A review. *Anim. Prod. Sci.* 49:9-16.
- Trejo-Téllez BI, I Ríos-Carmenado, B Figueroa-Sandoval, FJ Morales-Flores. 2011. Análisis de la cadena de valor del sector ovino en Sallinas, San Luis Potosí, México. *Agrociencias* 2:249-260.
- Van Soest PJ, PJ Robertson, BA Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74(10):223-232.

- Vázquez Soria ED, JA Partida de la Peña, MS Rubio Lozano, D Méndez Medina. 2011. Comportamiento productivo y características de la canal en corderos provenientes de la cruce de ovejas Katahdin con machos de cuatro razas cárnicas especializadas. *Rev Mex. Cienc. Pecu.* 2(3):247-258.
- Walker DK, EC Titgemeyer, TJ Baxa, KY Chung, DE Johnson, SB Laudert, 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.
- Webb EC, J Allen, SD Morris. 2018. Effects of non-steroidal growth implant and dietary zilpaterol hydrochloride on growth and carcass characteristics of feedlot lambs. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 48(4):601-608.
- Wildeus S. 1997. Hair sheep genetic resources and their contribution to diversified small ruminant production in the United States. *J. Anim. Sci.* 75:630-640.
- Yasin ARM, HA Galbraith. 1981. A note on the response of wether lambs to treatment with trenbolone acetate combined with oestradiol-17 β or zeranol. *Anim. Prod.* 32(3):337-340.