

Efecto del clorhidrato de zilpaterol sobre las características de la canal en cruza terminales de corderos Kathadin

José Armando Partida de la Peña^{a*}

0000-0001-6729-8321

Tania Alejandra Casaya Rodríguez^b

0000-0001-6303-0037

María Salud Rubio Lozano^b

0000-0002-7975-4547

Rubén Danilo Méndez Medina^b

0000-0003-0737-7903

^a Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología Animal, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, km 1 Carretera a Colón, Ajuchitlán, 76280, Qro., México

^b Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad Nacional Autónoma de México Avenida Universidad 3000, 04510, DF, México

***Autor para correspondencia:**
Tel: +52-01800-088-2222 Ext. 80218
Correo electrónico:
partida.jose@inifap.gob.mx

Resumen

Se evaluó el efecto de la administración de clorhidrato de zilpaterol (CZ) sobre las características de la canal en los cruzamientos *Katahdin* x *Charollais* (32 KCh) y *Katahdin* x *Dorper* (28 KD). Los corderos se alimentaron con una dieta integral con 14% de proteína cruda (PC) y 2.9 Mcal EM/kg MS. Los datos se analizaron mediante un diseño al azar con arreglo factorial 2 x 2 con dos genotipos (KCh y KD) y 2 niveles de CZ (0 y 0.15 mg/kg de peso vivo). No se presentó interacción entre el genotipo y el CZ. El clorhidrato de zilpaterol incrementó el rendimiento en canal de 52.1 ± 0.3 a $53.7 \pm 0.4\%$ ($P < 0.001$). Los animales que recibieron CZ incrementaron ($P < 0.001$) el área del músculo *Longissimus dorsi* (Ld) en 18.5% y tuvieron 7.5% más músculo, 6.0% menos hueso y 22.4% menos grasa que los corderos del tratamiento testigo ($P < 0.05$). La raza del padre no afectó ninguna de las variables estudiadas. El pH final, el espesor de la grasa subcutánea, la conformación y las mediciones morfológicas de la canal no se modificaron con el uso de CZ.

Palabras clave: Cordero; Zilpaterol; Calidad de canal; Cruzamiento; Katahdin; Charollais; Dorper.

Introducción

Durante la última década la ovinocultura mexicana se ha enfocado, principalmente, en la producción de carne y ha mantenido una tasa de crecimiento anual del 5.11% en promedio, al pasar de 38,196 t en 2002 a 57,692 t en 2012 (SIAP, 2012). En consecuencia, la importación de carne ha disminuido casi en 75% (SIAP, 2012; SAGARPA, 2013). Aunque este crecimiento ha sido muy importante, aún se requieren 32,500 t de carne anualmente para tener una disponibilidad de tan sólo 750 g de carne/persona/año. Esta tendencia en el crecimiento motivó el interés de los criadores de ovinos para introducir a México animales de distintas razas con alto potencial de producción, que permitieran aprovechar la oportunidad de satisfacer la demanda del mercado interno a través del empleo de razas puras o mediante distintos esquemas de cruzamiento en sistemas intensivos. Estudios recientes evaluaron algunos de los modelos de cruzamiento y determinaron un

Recibido: 2014-09-11

Aceptado: 2015-05-07

Publicado: 2015-06-11

Información y declaraciones adicionales en la página 9

© Derechos de autor:
José Armando Partida de la Peña et al. 2015

acceso abierto 



Distribuido bajo una Licencia Creative Commons
Atribución 4.0 Internacional (CC-BY 4.0)

mejor desempeño y una mayor calidad de la canal en los animales cruzados que en los biotipos utilizados en forma tradicional (Hernández *et al.*, 2009; Partida *et al.*, 2009; Ríos *et al.*, 2011).

En particular, los cruzamientos terminales de ovejas de pelo con machos de razas cárnicas especializadas generaron diferentes opciones de calidad para satisfacer las demandas del mercado mexicano (Bores *et al.*, 2007; Ríos *et al.*, 2011; Vázquez *et al.*, 2011), y en algunos de estos estudios destacaron las razas Katahdin, Charollais y Dorper como las más productivas por su velocidad de crecimiento, las propiedades de su canal y los mejores pesos al sacrificio (Bores *et al.*, 2007; Vázquez *et al.*, 2011). En este último aspecto, se sabe que elevar el peso de matanza es vital para incrementar el rendimiento en canal y el tamaño de los cortes de alto valor comercial (Solomon *et al.*, 1980), pero también se incrementa la proporción de grasa corporal en relación con el músculo (Hopkins, 2005; Warris, 2005). Para contrarrestar este fenómeno y mejorar el rendimiento magro, se han evaluado distintos compuestos que modifican el metabolismo animal (Beerman *et al.*, 1995; Dikeman, 2003; Sillence, 2004).

Cuando se comparan los resultados de estudios recientes que evaluaron diferentes agonistas β -adrenérgicos (clorhidrato de zilpaterol, clorhidrato de ractopamina, terbutalina, metaprotenerol, isoprotenerol, BRL35135A, BRL26830, etc.), se observa que el clorhidrato de zilpaterol (CZ) fue la mejor opción para rumiantes, lo cual coincide con los resultados de varios investigadores (Mohamandi *et al.*, 2006; Dikeman, 2007; Nourozi *et al.*, 2008; López *et al.*, 2010; López *et al.*, 2011); pese a esto, los estudios realizados en ovinos han mostrado efectos inconsistentes (Salem, 2013) o contradictorios en el desempeño animal (Salinas *et al.*, 2004; Mondragón *et al.*, 2010; López *et al.*, 2011) y en las propiedades de la canal (Shackelford *et al.*, 1992; Koohmaraie *et al.*, 1996; Salinas *et al.*, 2006; Mondragón *et al.*, 2010). Esta inconsistencia en los resultados podría deberse a una posible interacción entre el agonista β -adrenérgico (β -AA) y el tipo genético del animal (Mohammadi *et al.*, 2006). Se ha visto que existen diferencias en la regulación del metabolismo de los lípidos entre una raza y otra, y el papel de los β -AA en la reducción de los depósitos de grasa podría variar de acuerdo con la selectividad del receptor (Nourozi *et al.*, 2008). La posible interacción entre β -AA y el genotipo también puede afectar la síntesis y retención de proteína muscular (Mondragón, 2008) y modificar el grado de hipertrofia en los diferentes músculos, lo cual podría variar de acuerdo con la raza (Beerman, 2002).

Por todo lo anterior, el objetivo de este análisis fue evaluar el efecto del CZ sobre las propiedades de la canal en cruzamientos terminales de Katahdin x Charollais y Katahdin x Dorper para contribuir con algunas alternativas que puedan auxiliar en el mejoramiento de la producción de carne.

Materiales y métodos

Animales, alojamiento y manejo

Los corderos se criaron en el municipio de Colón, Querétaro, situado a 20°41'40.62" de latitud norte y 100°00'53.52" de longitud oeste, a 1,962 msnm (Goo, 2013); su clima es BSk templado seco, con una precipitación anual de 450 mm y una temperatura media anual de 15-19 °C (García, 1981). Los corderos finalizaron

Cuadro 1. Composición de la dieta de finalización.

Ingrediente	%
Grano de sorgo	47.2
Melaza de caña	20.0
Heno de alfalfa	11.0
Rastrojo de maíz	8.0
Harina de canola	6.5
Pasta de soya	4.0
Premezcla de minerales y urea	3.3
Total	100.0
Análisis calculado	
Energía metabolizable, Mcal/kg MS	2.9
Proteína cruda, %	14.0

La dieta con 6 ppm ZH (grupo tratado; equivalente a 0.15 mg/kg PV/día, aproximadamente) se le suministró a los animales durante 30 días. La complementación con CZ se suspendió tres días antes del sacrificio.

su crecimiento en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal del INIFAP en Ajuchitlán, Qro., ubicado a 2 km del predio del productor cooperante. Se empleó un hato de 200 hembras Katahdin (K) de 51 ± 18 meses de edad y de 6 ± 2 partos en promedio. Las hembras seleccionadas se distribuyeron aleatoriamente en dos lotes de 100 animales cada uno, se sincronizaron con la implantación de esponjas intravaginales de progesterona (Progestpon®, Syntex, S. A., México), seguida de la aplicación de FSH (Folligon®, Merck, Sharp & Dohme, México) y, posteriormente, cada lote se inseminó (por laparoscopia) con semen fresco de cinco carneros de la raza Charollais (Ch) y con cinco de la raza Dorper (D), que no estaban emparentados entre sí.

Entre el nacimiento y el destete (78 ± 6 días) todos los corderos recibieron un alimento comercial (*creep feeding*). Después del destete, los corderos machos se separaron en dos lotes [32 de la cruce K x Ch (KCh) y 28 de la cruce K x D (KD)]. Ambos lotes se sometieron a una etapa de crecimiento (56 ± 13 días) bajo las mismas condiciones de manejo y alimentación, la cual incluyó una dieta integral con 14% de PC y 2.9 Mcal de EM/kg MS (**cuadro 1**), que se proporcionó a libre acceso al igual que el agua de bebida.

Una vez que terminó la fase de crecimiento, los corderos se reagruparon para la etapa de finalización, en la cual se les proporcionó el tratamiento con CZ. A todos los animales se les ofreció la misma dieta que se empleó durante el periodo de crecimiento, pero a los grupos tratados se les incorporaron 6 ppm de CZ (Zilmax®, Intervet, S. A. de C. V., México), que equivalen a 0.15 mg/kg de peso vivo (PV) / día, durante 30 días. A los grupos testigo no se les proporcionó ningún aditivo. Los grupos experimentales quedaron como sigue: Grupo 1 = 14 KD sin CZ; Grupo 2 = 14 KD con CZ; Grupo 3 = 16 KCh con CZ y Grupo 4 = 16 KCh sin CZ.

Al término del periodo de finalización, se seleccionaron 10 animales de cada tratamiento (al azar) para ser sacrificados. De acuerdo con las recomendaciones del laboratorio Intervet, tres días antes del sacrificio se retiró la complementación de CZ para evitar algún riesgo para los consumidores, ya que según se indica, después de 48 h se elimina 90% del producto en la orina y las heces (Zilmax®, Intervet, S. A. de C. V., México). Además, el CZ es tan débil farmacológicamente que se biotransforma y depura con rapidez en los animales, por lo que es imposible considerar que induzca efectos cardiovasculares adversos o de otra índole en el ser humano, aún si se consumen productos de origen animal provenientes de bovinos en los que no hubo un periodo de retiro (Sumano *et al.*, 2002).

Se crió a los corderos bajo condiciones ordinarias de producción animal con el apoyo de un productor cooperante, y el sacrificio se llevó a cabo en el rastro TIF No. 412 en San José el Alto, Querétaro, según los procedimientos industriales para bienestar animal establecidos por las autoridades federales. El estudio se realizó con el apoyo de un productor cooperante, bajo las condiciones normales de la producción ovina comercial.

Tratamiento, sacrificio y mediciones en canal

Después del sacrificio de los animales, las canales se pesaron, orearon (3 h) y conservaron durante 24 h a una temperatura de 4 °C. Las canales se clasificaron de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-FF-106-SCFI-2006. La conformación se evaluó de acuerdo con los siguientes valores: Excelente (+) = 9, Excelente = 8, Excelente (-) = 7, Buena (+) = 6, Buena = 5, Buena (-) = 4, Deficiente (+) = 3, Deficiente = 2, Deficiente (-) = 1. Lo anterior se hizo para crear más opciones de clasificación, como sucede en el sistema europeo de clasificación (SEUROP). A continuación, se realizaron las mediciones morfométricas de las canales que incluyeron: perímetro de la grupa (a nivel de los trocánteres del fémur), profundidad interna del tórax (distancia máxima entre el esternón y la parte dorsal de la canal a nivel de la sexta vértebra torácica), longitud de la canal (de la última vértebra cervical hasta la última vértebra sacra), y se calculó el índice de compacidad de la canal [peso (kg) / longitud total (cm)] siguiendo la metodología descrita por Ruiz de Huidobro *et al.* (2005).

Las canales se dividieron en dos partes iguales. Se les hizo un corte a lo largo de la columna vertebral, después se extrajo el rack de la media canal izquierda a través de un corte entre la 4ª y 12ª vértebra torácica. Sobre esta pieza se midió el color de la carne, el espesor de la grasa subcutánea y el área del músculo *Longissimus dorsi*; también se midió el pH con un potenciómetro provisto con un electrodo de penetración (Hanna Instruments, HI-99163, Woonsocket, RI). El color de la carne y de la grasa perirrenal (CIELAB) se valoró con un colorímetro Minolta CR-410 (Konica Minolta Sensing, Inc., Osaka, Japón) en un ángulo de 2°, con un iluminante D65 y un enfoque de medición de 2 cm aproximadamente. Antes de medir las muestras, la carne se mantuvo durante 1 h a 12 ± 1 °C para permitir su oxigenación. Para determinar el área muscular, se utilizó un rotulador de punta fina, se dibujó el contorno del músculo en papel acetato y se midió la superficie muscular con un planímetro digital "Planix 6" (Tamaya Technics INC Tokio, Japón). También se midió el espesor de la grasa subcutánea con un calibrador Vernier.

La espaldilla izquierda se separó de la canal según la metodología descrita por Vergara (2005), de manera que se cortó a lo largo de las cuatro líneas que se muestran en la figura 1. Se comenzó en el punto V, pasando sobre la apófisis espinosa de la 4ª vértebra cervical (punto U), se siguió a través del cuello y se llegó hasta la punta del pecho (punto P); se continuó la incisión en forma paralela a la línea media hasta el punto E, la cual se localiza entre la 5ª y 6ª articulación costo-condral. El límite posterior (línea D-E) corre perpendicularmente a la línea dorsal y pasa a través del punto C, entre la 5ª y 6ª vértebras cervicales. El límite superior está formado por la línea V-D que corre sobre la columna vertebral. Las espaldillas se envasaron al vacío y se mantuvieron a -18 °C hasta su disección para determinar la composición tisular.

Antes de la disección, las espaldillas se descongelaron durante 24 h en refrigeración, después se separaron y pesaron cada uno de sus componentes (Boccard, 1976). Los desechos (fascias, nervios, tendones, vasos, etc.) se registraron con el hueso y se reportaron como hueso + desechos.

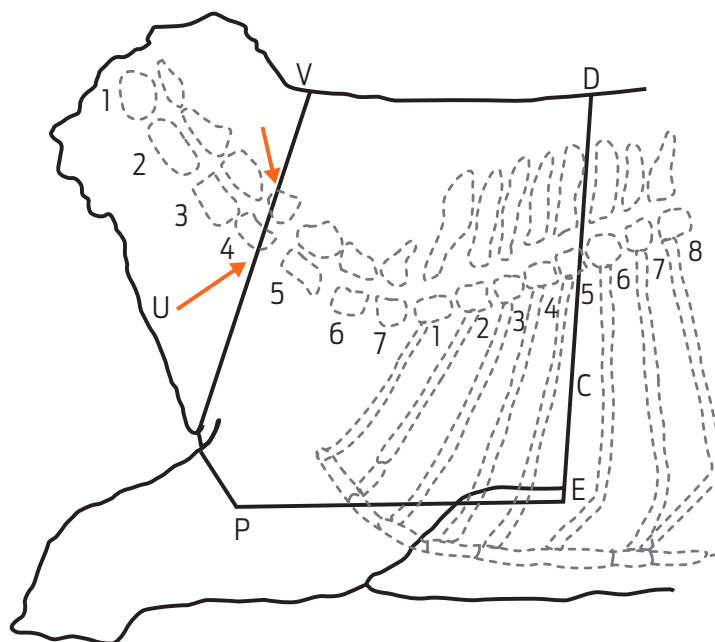


Figura 1. Separación de la espaldilla izquierda [método estandarizado, definido por Boccard y Dummont (1955) y modificado por Colomer-Rocher *et al.* (1988)].

Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante un diseño al azar en un arreglo factorial 2 x 2: dos genotipos (KCh y KD) y dos niveles de CZ (0 y 0.15 mg/kg de PV). El efecto de sexo se excluyó del análisis porque el estudio se condujo en una producción comercial y sólo estaban disponibles los machos. Se empleó el procedimiento de modelo general lineal de SAS 9.1.3 (SAS, 2008) y la diferencia entre medias se determinó con la prueba de Tukey. Para eliminar la variación generada por efectos secundarios, tales como tipo de nacimiento, edad de la madre, etc., se utilizó como covariable el peso de los corderos al momento de iniciar la etapa de finalización (Steel y Torrie, 1980). Los datos de conformación de la canal se analizaron mediante la prueba de Cochran-Mantel-Haenszel. La composición de la espaldilla y el pH se analizaron para determinar su normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Todas las pruebas se realizaron a un nivel de confianza de 95%.

Resultados y discusión

No se observó efecto de la interacción entre los genotipos y el consumo de CZ en ninguna de las variables estudiadas ($P > 0.05$), lo cual puede indicar que el β -AA ejerció el mismo efecto en ambos genotipos. Esto concuerda con los resultados de Montoya *et al.* (2011), quienes no observaron efecto del CZ (0.15 mg/kg de PV) en el desempeño productivo o las características de la canal en cruces de Pelibuey x Blackbelly y Pelibuey x Dorset, por lo que se podría inferir que el CZ podría usarse en diferentes cruzamientos terminales con resultados similares. El cuadro 2 muestra el efecto de la raza del padre y del CZ sobre las características de la canal. Ninguno de los tratamientos afectó el peso de sacrificio (47.8 ± 3.2 kg; $P = 0.971$) ni el peso de la canal caliente (25.4 ± 0.5 kg) por el genotipo ($P = 0.560$) o por la adminis-

Cuadro 2. Efecto de la raza paterna y de la inclusión de clorhidrato de zilpaterol sobre las características de la canal de corderos. (Media $\pm$ EEM)

Variable	Raza paterna			Clorhidrato de zilpaterol (mg/kg PV)		
	Charollais	Dorper	P	0	0.15	P
Peso al sacrificio (kg)	47.9 $\pm$ 0.6	48.0 $\pm$ 0.6	0.917	47.9 $\pm$ 0.6	48.0 $\pm$ 0.6	0.997
Peso de la canal caliente (kg)	25.5 $\pm$ 0.4	25.2 $\pm$ 0.5	0.560	25.0 $\pm$ 0.4	25.7 $\pm$ 0.5	0.197
Rendimiento de la canal fría (%)	53.1 $\pm$ 0.3	52.7 $\pm$ 0.4	0.466	52.1 $\pm$ 0.3	53.7 $\pm$ 0.4	0.001
Conformación de la canal	7.0 $\pm$ 0.2	6.9 $\pm$ 0.2	0.168	6.9 $\pm$ 0.2	7.0 $\pm$ 0.2	0.181
Perímetro de la grupa (cm)	68.5 $\pm$ 0.4	67.9 $\pm$ 0.5	0.337	68.6 $\pm$ 0.5	67.2 $\pm$ 0.4	0.594
Profundidad interna del tórax (cm)	26.5 $\pm$ 0.3	26.2 $\pm$ 0.3	0.423	26.5 $\pm$ 0.3	26.2 $\pm$ 0.3	0.138
Longitud de la canal (cm)	65.7 $\pm$ 0.4	65.1 $\pm$ 0.4	0.188	65.1 $\pm$ 0.4	65.7 $\pm$ 0.4	0.184
Longitud de la pierna (cm)	38.0 $\pm$ 0.3	36.2 $\pm$ 0.3	0.005	37.7 $\pm$ 0.3	36.5 $\pm$ 0.3	0.001
Índice de compacidad	0.38 $\pm$ 0.0	0.38 $\pm$ 0.0	0.429	0.38 $\pm$ 0.0	0.38 $\pm$ 0.0	0.940
Espesor de la GS* (mm)	3.5 $\pm$ 0.20	3.3 $\pm$ 0.2	0.372	3.4 $\pm$ 0.2	3.3 $\pm$ 0.2	0.413
Área de <i>L. dorsi</i> (cm ²)	18.8 $\pm$ 0.4	17.9 $\pm$ 0.5	0.116	16.9 $\pm$ 0.4	19.8 $\pm$ 0.5	0.001

*GS = Grasa subcutánea.

Conformación: 9 = Excelente(+), 8 = Excelente, 7 = Excelente(-), 6 = Buena(+), 5 = Buena, 4 = Buena(-), 3 = Deficiente(+), 2 = Deficiente, 1 = Deficiente(-).

Las interacciones no fueron significativas en ninguna de las variables ($P > 0.05$).

PV = peso vivo.

tración de CZ ($P = 0.197$). El genotipo no afectó el rendimiento de la canal ($52.9 \pm 0.4\%$; $P = 0.466$), pero la complementación con CZ sí aumentó significativamente ($P = 0.001$) esta variable, que pasó de 52.1 ± 0.3 a $53.7 \pm 0.4\%$. Ni el genotipo ni el nivel de CZ modificaron la conformación de la canal, cuyo promedio fue de 7.0 ± 0.2 [equivalente a Excelente (-)]. Los tratamientos tampoco modificaron el perímetro de la grupa, la longitud de la canal o la profundidad del tórax. Por otro lado, el genotipo y el CZ afectaron la longitud de la pierna: fue 5% más larga en los corderos KCh ($P = 0.005$) y 3.3% más larga en los corderos que recibieron CZ ($P = 0.001$).

El incremento del rendimiento en canal de 3.1% ($P = 0.001$), originado por la administración de CZ, significó 0.700 kg más de carne vendible que el tratamiento testigo. Este aumento en el rendimiento en canal coincide con los resultados de varios estudios en los que se empleó CZ (Vergara, 2006; Estrada *et al.*, 2008; López *et al.*, 2010) o clorhidrato de ractopamina (López *et al.*, 2010; Romero, 2011) y básicamente se explica por la hipertrofia muscular originada por un aumento en la síntesis de proteína y una disminución en su degradación (Mersman, 1998; Beerman, 2002), lo que conduce a la reducción en el almacenamiento de grasa corporal (Yang y McElligott, 1989). No obstante esta explicación, se sabe que cada músculo responde de acuerdo con el tipo y la proporción de fibras que lo constituyen (Beerman, 2002), pues la ganancia es más evidente en las fibras tipo II y en las de tipo mixto oxidativo-glucolítico (Li *et al.*, 2000).

El espesor de la grasa subcutánea (3.4 ± 0.2 mm) no varió por la raza del padre ($P = 0.372$) ni por la complementación con CZ ($P = 0.413$). El grupo genético no afectó el área del músculo *Longissimus dorsi* ($P = 0.116$), pero el tratamiento

Cuadro 3. Efecto de la raza paterna y de la inclusión de clorhidrato de zilpaterol sobre los tejidos de la espaldilla de corderos (%). (Media $\pm$ EEM)

Variable	Raza paterna			Clorhidrato de zilpaterol (mg/kg PV)		
	Charollais	Dorper	P	0	0.15	P
Músculo	63.4 $\pm$ 0.4	63.7 $\pm$ 0.5	0.752	61.2 $\pm$ 0.4	65.8 $\pm$ 0.5	0.001
Hueso + desecho	23.8 $\pm$ 0.3	24.0 $\pm$ 0.3	0.307	24.6 $\pm$ 0.2	23.2 $\pm$ 0.3	0.004
Grasa	11.2 $\pm$ 0.5	11.9 $\pm$ 0.5	0.968	12.5 $\pm$ 0.5	9.7 $\pm$ 0.5	0.001
Músculo:grasa	5.7 $\pm$ 0.2	5.4 $\pm$ 0.1	0.860	4.9 $\pm$ 0.1	6.8 $\pm$ 0.2	0.001
Músculo:hueso + desecho	2.7 $\pm$ 0.1	2.7 $\pm$ 0.0	0.530	2.5 $\pm$ 0.1	2.8 $\pm$ 0.1	0.010

Las interacciones no fueron significativas en ninguna de las variables ($P > 0.05$).

PV = peso vivo.

con CZ la incrementó en 17.2% ($P = 0.001$), posiblemente como resultado de un aumento en la deposición de proteína muscular y una disminución en su degradación (Mersman, 1998). Se sabe que el área del músculo *L. dorsi* se correlaciona de manera positiva con la cantidad total de músculo en la canal (Standford *et al.*, 1995; Hopkins *et al.*, 1996) y con la proporción de cortes de alto valor (Bianchi *et al.*, 2000), que pueden representar de 25 a 50% del precio total de una canal en el mercado de cortes finos (Gómez, 2013). Por lo tanto, desde un punto de vista económico, el tratamiento con CZ podría resultar aconsejable.

En el cuadro 3 se muestran los efectos de la raza paterna y del CZ sobre la composición tisular de la espaldilla. No hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) originadas por la raza paterna en ninguna de las variables evaluadas, pero las espaldillas de los animales que recibieron CZ tuvieron 7.5% más músculo, 6.0% menos hueso y 22.4% menos grasa que las de los animales que no lo consumieron ($P < 0.004$). Esto originó una mejor relación músculo:grasa (6.8:1) y músculo:hueso (2.8:1) en la composición de las espaldillas. En resumen, la complementación con CZ incrementó en 0.240 kg la cantidad de tejido muscular en la espaldilla, lo cual equivalió a 1.6 kg de carne adicional en la canal.

El efecto del CZ sobre la composición corporal ha sido ampliamente estudiado en bovinos (Dikeman, 2007; Leheska *et al.*, 2009; Montgomery *et al.*, 2009; Shook *et al.*, 2009) y en ovinos, tanto de pelo (Salinas *et al.*, 2004; Avendaño *et al.*, 2006; Salinas *et al.*, 2006; Estrada *et al.*, 2008; Bores *et al.*, 2010; López *et al.*, 2010) como de lana (Pringle *et al.*, 1993; Mondragón *et al.*, 2010).

A pesar de que la administración de CZ modificó la composición tisular de la canal, no afectó de la misma manera los diferentes depósitos lipídicos, ya que hubo una reducción significativa en la grasa total de la canal, pero no se modificó la cantidad de grasa subcutánea. Esto coincide con un estudio realizado con ovinos a los que se les administró otro β -AA (clorhidrato de cimaterol) durante la etapa de crecimiento (Yang, Mc Elliott, 1989), en el cual se observó que se redujo marcadamente la cantidad del tejido graso en la canal y se elevó la concentración de ácidos grasos no esterificados en el plasma, lo que sugiere una movilización selectiva de los lípidos.

En el cuadro 4 se exponen las variables medidas de calidad instrumental de la carne. Ni el genotipo ni el consumo de CZ ($P > 0.05$) afectaron el pH final, cuyo promedio fue de 5.7 ± 0.3 , lo que corresponde a un valor normal en ovinos

Cuadro 4. Efecto de la raza paterna y de la inclusión de clorhidrato de zilpaterol sobre la calidad instrumental de la carne de corderos. (Media $\pm$ EEM)

Variable	Raza paterna			Clorhidrato de zilpaterol (mg/kg PV)		
	Charollais	Dorper	P	0	0.15	P
pH 24 h	5.7 $\pm$ 0.4	5.7 $\pm$ 0.5	0.605	5.7 $\pm$ 0.0	5.7 $\pm$ 0.5	0.490
Color de la carne						
L*	34.0 $\pm$ 0.6	35.6 $\pm$ 0.6	0.024	37.7 $\pm$ 0.6	31.9 $\pm$ 0.6	0.001
a*	13.4 $\pm$ 0.3	14.9 $\pm$ 0.4	0.007	15.5 $\pm$ 0.4	12.9 $\pm$ 0.4	0.001
b*	5.6 $\pm$ 0.3	6.6 $\pm$ 0.4	0.001	3.7 $\pm$ 0.4	8.4 $\pm$ 0.3	0.435
h*	20.8 $\pm$ 0.9	23.0 $\pm$ 0.9	0.019	28.6 $\pm$ 0.9	15.1 $\pm$ 0.9	0.001
C*	14.7 $\pm$ 0.4	16.4 $\pm$ 0.5	0.004	17.7 $\pm$ 0.8	13.5 $\pm$ 0.5	0.001
Color de la grasa PR**						
L*	74.6 $\pm$ 0.4	74.9 $\pm$ 0.4	0.385	75.6 $\pm$ 0.4	73.8 $\pm$ 0.4	0.001
a*	1.9 $\pm$ 0.3	2.6 $\pm$ 0.3	0.034	1.1 $\pm$ 0.3	3.5 $\pm$ 0.3	0.038
b*	7.0 $\pm$ 0.2	7.7 $\pm$ 0.2	0.372	9.4 $\pm$ 0.2	5.3 $\pm$ 0.2	0.046
h*	71.8 $\pm$ 1.6	70.5 $\pm$ 1.7	0.634	84.1 $\pm$ 1.5	58.2 $\pm$ 1.8	0.001
C*	7.5 $\pm$ 0.3	8.5 $\pm$ 0.3	0.001	9.6 $\pm$ 0.3	6.2 $\pm$ 0.3	0.001

PR** = perirrenal; L* = luminosidad; a* = índice de rojo; b* = índice de amarillo; h* = tono; C* = Croma (saturación).

Las interacciones no fueron significativas en ninguna de las variables ($P < 0.05$).

Escala de color: Índice de rojo (a*) = 60 (rojo) a -60 (verde); índice de amarillo (b*) = 60 (amarillo) a -60 (azul);

luminosidad (L*) = 0 (negro) a 100 (blanco); $h^* = \arctan(b^*/a^*)$ (0 a 360 grados);

$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$ (0 a 200).

(Garrido *et al.*, 2005). El genotipo y el tratamiento con CZ modificaron el color de la carne ($P < 0.05$): la claridad (L*), el índice de rojo (a*), el índice de amarillo (b*), el tono (h*) y la croma o saturación (C*) se elevaron ligeramente en los cruzamientos KD, mientras que la carne proveniente de los animales tratados con CZ tuvo valores más bajos de L*, a*, h* y C* que la de los animales testigo. Así, la carne de los animales tratados con CZ tuvo un color ligeramente más suave que la de los corderos testigo, pero se mantuvo dentro del rango normal. De la misma manera, el uso de CZ afectó el color de la grasa perirrenal ($P < 0.05$), que presentó valores menores en L*, b*, h* y C* y mayores en a* que la del tratamiento testigo.

El efecto del CZ sobre el color de la carne no se ha demostrado de manera consistente: mientras Avendaño *et al.* (2006) y Romero (2011) no observaron ningún efecto del CZ sobre las variables de color, los resultados de Dávila *et al.* (2013) fueron similares a los aquí obtenidos. Al respecto, se sabe que existen algunos factores que inciden sobre el color de la carne, tales como el pH y la temperatura: la combinación de estos dos elementos afecta la desnaturalización de las proteínas, lo que repercute en una modificación significativa del color (Sañudo *et al.*, 1989). Por otro lado, la menor luminosidad en la carne de los animales tratados con CZ podría deberse a la reducción en la cantidad de grasa intramuscular (marmoleo), la cual, por ser de color blanco en animales finalizados con dietas integrales (elaboradas con base en altos niveles de grano), puede originar valores más bajos de claridad (Wulf, Wise, 1999).

Conclusiones

La raza del padre no afectó la mayor parte de las variables evaluadas en la canal; únicamente se observó que en la cruce Katahdin x Dorper se acortaron las piernas y aumentaron los valores en las variables de color de la carne. Los animales tratados con clorhidrato de zilpaterol rindieron más en canal y tuvieron una menor proporción de grasa y de hueso; por lo tanto, se obtuvo más carne magra, con mayor tamaño del área del músculo *Longissimus dorsi*, pero con valores más bajos en el índice de rojo, el tono y la saturación. El clorhidrato de zilpaterol es un producto que está oficialmente autorizado para su uso comercial y podría ser una opción para mejorar las propiedades de la canal, sin riesgo para los consumidores.

Financiamiento

Los autores agradecen a la Fundación Produce Querétaro, A. C., por el financiamiento recibido para la realización de esta investigación. Agradecen también al CONACYT por el la beca otorgada a la estudiante de Maestría en Ciencias.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de interés.

Contribución de los autores

José Armando Partida de la Peña: lideró el proyecto, diseñó el experimento y preparó el manuscrito.

Tania Alejandra Casaya Rodríguez: estudiante de Maestría; recolectó las muestras y analizó los resultados para su tesis.

María Salud Rubio Lozano: participó en los análisis de laboratorio y en la preparación del manuscrito en inglés.

Rubén Danilo Méndez Medina: participó en el diseño del proyecto, en el análisis de los resultados y en la revisión del manuscrito.

Referencias

- 1) Avendaño RL, Torres RV, Meraz MFJ, Perez LC, Figueroa SF, Robinson PH. 2006. Effects of two adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 84:3259-3265.
- 2) Beerman DH, Robinson TF, Hogue DE. 1995. Impact of composition manipulation on lean lamb production in the United States. *Journal of Animal Science*, 73:2493-2502.
- 3) Beerman DH. 2002. β -adrenergic receptor agonist modulation of skeletal muscle growth. *Journal of Animal Science*, 80, Supplement 1:E18-E23.
- 4) Bianchi G, Garibotto G, Caravia V, Castells D, Cassareto A, Bentancur O. 2000. Desempeño de corderos Corriedale y cruce faenados a los 5 meses de edad. 2. Medidas en el *Longissimus dorsi* y en el espesor de la grasa subcutánea y la conformación carnicera en la canal. *Agrociencia*, IV(1):56-63.
- 5) Boccard R, Dumont BL, Lefebvre J. 1976. Etude de la production de la viande chez les ovins X. Relations entre la composition anatomique des différentes régions corporelles de l'agneau. *Annales de Zootechnie*, 25:95-110

- 6) Boccard R, Dumont BL. 1955. Étude de la production de la viande chez les ovins. La découpe des carcasses. Définition d'une découpe de référence. *Annales de Zootechnie*, 3:241-257.
- 7) Bores QR, Baeza RJJ, Quintal FJ, Canul JS. 2007. Composición corporal de corderos F1 de pelo cruzados con razas especializadas para producción de carne. II. Algunas características en la calidad de la carne [summary]. *XLIII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria Sinaloa 2007*:265.
- 8) Bores QR, Rojas RO, Murguía OM. 2010. Uso de β -agonistas en ovinos de pelo. 1. Efecto sobre el comportamiento productivo y composición corporal [summary]. *XLVI Reunión Nacional de Investigación Pecuaria Campeche 2010*:217.
- 9) [CIOMS, ICLAS] Council for International Organization of Medical Sciences (CIOMS) and The International Council for Laboratory Animal Science (ICLAS). *International Guiding Principles*. 2012. <http://www.cioms.ch/images/stories/CIOMS/IGP2012.pdf> [accessed: Dec 28, 2012].
- 10) Colomer-Rocher F, Morand-Fehr P, Kirton AH, Delfa R, Sierra-Alfranca I. 1988. Métodos normalizados para el estudio de los caracteres cualitativos y cuantitativos de las canales ovinas y caprinas. Cuadernos INIA, 17. Madrid, España: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 41 pp. http://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/1424/1/10532-1411_1.pdf
- 11) Dávila RJL, Avendaño RL, Macías CU, Torrentera OG, Zamorano GL, Peña RA, González RH. 2013. Effects of zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation on physicochemical and sensory characteristics of meat from hair lambs. *Small Ruminant Research*, 119(1-3):8-15.
- 12) Dikeman ME. 2007. Effect of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. *Meat Science*, 77:121-135.
- 13) Dikeman ME. 2003. Metabolic modifiers and genetics: Effects on carcass traits and meat quality. *Brazilian Journal of Food Technology*, Special issue 6:1-38.
- 14) Estrada RJC, Barreras SA, Contreras G, Estrada AA, Obregón JF, Plascencia A, Ríos FG. 2009. Effect of two β -adrenergic agonists on finishing performance and carcass characteristics in lamb fed all-concentrate diets. *Journal of Applied Animal Research*, 36(1):33-36.
- 15) Estrada AA, Barreras SA, Contreras G, Obregon JF, Robles EJC, Plascencia A, Zinn RA. 2008. Influence of level of zilpaterol chlorydrate supplementation on growth performance and carcass characteristics of feedlot lambs. *Small Ruminant Research*, 80(1-3):107-110.
- 16) García E. 1981. *Modificaciones al sistema de clasificación climático de Köppen para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. DF, México: Instituto de Geografía, UNAM.
- 17) Garrido MD, Bañon S, Álvarez D. 2005. Medida del pH. In: Cañeque V, Sañudo C. (ed.) *Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes*. Madrid, España: Monografías INIA, Serie ganadera No. 3.
- 18) [Goo] Google. *Google Earth. Image landsat*. Free version. [released: Feb 23, 2011]. US: Department of State Geographer, Data SIO, NOAA, US Navy, NGA, GEBCO. <https://earth.google.es/intl/es/earth/index.html>. [accessed: Oct 31, 2013].

- 19) Gómez MJ. 2013. Red de valor para la industria de la carne ovina en México: Integración productiva [summary]. *I Foro Panamericano Ovino*. Santiago de Querétaro, Qro.
- 20) Hernández CL, Ramírez BJE, Guerrero LMJ, Hernández MO, Crosby GMM, Hernández CLM. 2009. Effect of breeding on carcass and meat quality of Mexican lambs. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 61(2):475-483.
- 21) Hopkins DL. 2005. The relationship between live animal score and carcass fat score in lambs. *Wool Technology and Sheep breeding*, 36(2-3):87-90.
- 22) Hopkins DL, Hall DG, Luff AF. 1996. Lamb carcass characteristics. 3. Describing changes in carcasses of grow lamb using real-time ultrasound and the use of these measurements for estimating the yield of saleable meat. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 36:37-43.
- 23) Koohmaraie M, Shackelford SD, Wheeler TL. 1996. Effects of beta-adrenergic agonist (L-644,969) and male sex condition on muscle growth and meat quality of callipygen lambs. *Journal of Animal Science*, 74:70-79.
- 24) Leheska JM, Montgomery JL, Krehbiel CR, Yates DA, Hutcheson JP, Nichols WT, Streeter M, Blanton JR, Miller MF. 2009. Dietary zilpaterol hydrochloride II. Carcass composition and meat palatability of beef cattle. *Journal of Animal Science*, 87:1384-1393.
- 25) Li YZ, Christopherson RJ, Li BT, Moibi JA. 2000. Effects of a beta-adrenergic agonist (L-644969) on performance and carcass traits of growing lambs in a cold environment. *Canadian Journal of Animal Science*, 80:459-465.
- 26) López CMA, Ramírez RG, Aguilera SJ, Aréchiga CF, Méndez LF, Rodríguez H, Silva JM. 2010. Effect of ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride on growth, diet digestibility, intake and carcass characteristics of feedlot lambs. *Livestock Science*, 131(1):23-30.
- 27) López CMA, Ramírez RG, Aguilera SJI, Plascencia A, Rodríguez H, Arechiga CF, Rincón RM, Medina FCA, Gutiérrez BH. 2011. Effect of two beta adrenergic agonists and feeding duration on feedlot performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Livestock Science*, 138(1-3):251-258.
- 28) Mersmann HJ. 1998. Overview of the effects of β -adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action. *Journal of Animal Science*, 761:160-172.
- 29) Mohammadi M, Abazari M, Nourozi M. 2006. Effects of two beta-adrenergic agonists on adipose tissue, plasma hormones and metabolites of moghani ewes. *Small Ruminant Research*, 63:84-90.
- 30) Mondragón AJ, Domínguez VI, Pinos RJM, González M, Bosques JL, Domínguez A, Mejía ML. 2010. Effect of feed supplementation of zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass traits of finishing lambs. *Acta Agriculturae Scand*, Section A 60:47-52.
- 31) Montoya F, Castañeda R, González M, Buendía R, Basurto G, Partida PA, Jiménez S. 2011. Effects of zilpaterol hydrochloride and genotype on performance of finishing lambs. *Journal of Animal Science*, E-Supplement 1, (89):145.
- 32) Montgomery JL, Krehbiel CR, Cranston JJ, Yates DA, Hutcheson JP, Nichols WT, Streeter MN, Swingle RS, Montgomery TH. 2009. Effects of dietary zilpaterol hydrochloride on feed performance and carcass characteristics of beef steers with and without monensin and tylosin. *Journal of Animal Science*, 87:1013-1023.

- 33) [NMX-FF] *Norma Mexicana*. [Jul 04, 2006]. NMX-FF-106-SCFI-2006. Productos Pecuarios- carne de ovino en canal-clasificación. DF, México: Diario Oficial de la Federación. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2006/nmx-ff-106-scfi-2006.pdf> [accessed: Jun 08, 2013].
- 34) Nourozi M, Abazari M, Raisianzadeh M, Mohammadi M, ZareShahne A. 2008. Effect of terbutalina and metaproterenol (two beta-adrenergic agonists) on performance and carcass composition of culled Moghni ewes. *Small Ruminant Research*, 74(1-3):72-77.
- 35) Partida PJA, Braña VD, Martínez RL. 2009. Desempeño productivo y propiedades de la canal en ovinos Pelibuey y sus cruizas con Suffolk o Dorset. *Técnica Pecuaria en México*, 47(3):313-322.
- 36) Pringle TD, Calkins CR, Koohmaraie M, Jones SJ. 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. *Journal of Animal Science*, 71(3):634-644.
- 37) Ríos FG, Gómez VA, Pinos RJM, García LJC, Estrada AA, Hernández BJ, Portillo JJ. 2011. Effect of breed on performance and carcass characteristics of Mexican hair sheep. *South African Journal of Science*, 41(3):275-279.
- 38) Romero MAM. 2011. *Efecto del clorhidrato de ractopamina en el comportamiento productiva y características de la carne de ovinos en finalización* [tesis doctoral]. Texcoco, Estado de México: Colegio de posgraduados, Universidad Autónoma Chapingo.
- 39) Ruiz de Huidobro F, Miguel E, Cañeque V, Velasco S. 2005. Conformación, engrasamiento y sistemas de clasificación de la canal ovina. In: Cañeque V, Sañudo C. (eds.) *Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes*. Madrid, España: Monografías INIA, Serie ganadera No. 3.
- 40) [SAG] Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Estimación del consumo nacional aparente de carne de ovino 1990-2005. <http://www.sagarpa.gob.mx/Dgg/CNAovi.htm> [accessed: Jan 15, 2014].
- 41) Salem AZM (ed.) 2013. *Nutritional Strategies of Animal Feed Additives*. 1st ed. New York, USA: Nova Science Publishers Inc.
- 42) Salinas CJ, Domínguez MR, Díaz MR, Cruz BP, Montaña GMF, Arzola AC. 2006. Effect of duration of zilpaterol hydrochloride treatment on carcass characteristics and weight gain grazing Pelibuey lambs. *Journal of Applied Animal Research*, 29.
- 43) Salinas C, Ramírez RG, Domínguez M, Palomo CR, López AVH. 2004. Influence of zilpaterol hydrochloride on growth and carcass characteristics of Pelibuey lambs. *Journal of Applied Animal Research*, 26(1):13-16.
- 44) Sañudo C, Sánchez A, Alfonso M. 1998. Small ruminant production system and factor affecting lamb meat quality. *Meat Science*, 49, Supplement 1:383-390.
- 45) [SAS] *SAS/STAT User's Guide* [released 9.1.3] (2008). Cary NC, USA. SAS Inst. Inc.
- 46) Shackelford SD, Edwards JW, Smar EK, Savell JW. 1992. Retail cut yield of Rambouillet wether lambs fed the β -adrenergic agonist L644, 969. *Journal of Animal Science*, 70:161-168.

- 47) Shook JN, VanOverbeke DL, Kimman LA, Krehbiel CR, Holland BP, Streeter MN, Yates DA, Hilton GC. 2009. Effects of zilpaterol hydrochloride withdraw time on beef cutability, composition, and tenderness. *Journal of Animal Science*, 87(11):3677-3685.
- 48) [SIAP] Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera SAGARPA. Resumen Nacional. Producción, precio, valor, animales sacrificados y peso (2012). <http://www.siap.gob.mx/resumen-nacional-pecuario/> [accessed: Feb 10th, 2014].
- 49) Sillence MN. 2004. Technologies for the control of fat and lean deposition in livestock. *Veterinary Journal*, 167(3):242-257.
- 50) Solomon MB, Kemp B, James D, Moody WG, Ely DG, Fox JD. 1980. Effect of breed and slaughter weight on physical, chemical and organoleptic properties of lamb carcasses. *Journal of Animal Science*, 51:1102-1107.
- 51) Stanford K, Clark I, Jones SDM. 1995. Use of ultrasound in prediction of carcass characteristics in lambs. *Canadian Journal of Animal Science*, 75(2):185-189.
- 52) Steel RGD, Torrie JH. 1980. *Principles and procedures of statistics: A biomedicall approach*. New York, USA: McGraw-Hill.
- 53) Sumano LH, Ocampo CL, Gutiérrez OL. 2002. Clenbuterol and other β -agonists, are they an option for meat production or are a threat for public health? *Veterinaria México*, 33(2):139-159.
- 54) Vázquez SET, Partida PJA, Rubio LMS, Méndez MD. 2011. Comportamiento productivo y características de la canal en corderos provenientes de la cruce de ovejas Katahdin con machos de cuatro razas cárnicas especializadas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2(3):247-258.
- 55) Vergara AD. 2006. Evaluación productiva de corderos con la adición de clorhidrato de zilpaterol en la dieta a diferentes dosis y periodos de retiro [tesis de maestría]. Texcoco, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo.
- 56) Vergara H. (2005). Composición regional y tisular de la canal ovina. In: Cañeque V, Sañudo C. (eds.) *Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes*. Madrid, España: Monografías INIA, Serie ganadera No. 3.
- 57) Warris PD. 2005. *Ciencia de la carne*. Zaragoza, España: Acribia.
- 58) Wulf DM, Wise JW. 1999. Measuring muscle color on beef carcass using the L*a*b* color space. *Journal of Animal Science*, 77:2418-2427.
- 59) Yang TY, McElligott MA. 1989. Multiple actions of β -Adrenergic agonists on skeletal muscle and adipose tissue. *Biochemical Journal*, 261:1-10.