


Efectividad del clorhidrato de zilpaterol en la finalización de corderos: Patente vs. Genérico



Arnulfo Vicente Pérez ^{a,b}

Leonel Avendaño-Reyes ^a

Juan E. Guerra-Liera ^b

Rubén Barajas Cruz ^b

Ricardo Vicente-Pérez ^c

M. Ángeles López-Baca ^a

Miguel A. Gastelum Delgado ^b

Alfonso J. Chay-Canul ^d

Ulises Macías-Cruz ^{a*}

^a Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Ciencias Agrícolas, 21705, Valle de Mexicali, BC., México.

^b Universidad Autónoma de Sinaloa. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Culiacán, Sinaloa, México.

^c Universidad de Guadalajara. CUCSUR-Departamento de Producción Agrícola, Autlán de Navarro, Jalisco, México.

^d Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Agropecuarias, Villahermosa, Tabasco, México.

*Autor de correspondencia: ulisesmacias1988@hotmail.com, umacias@uabc.edu.mx

Resumen:

El objetivo del estudio fue comparar el efecto de la fuente del clorhidrato de zilpaterol (CZ; patente vs genérico) sobre el comportamiento productivo, características de la canal, rendimientos de cortes primarios y calidad de la carne de corderos finalizados en corral. Se distribuyeron 30 corderos Dorper ×Pelibuey en 10 bloques donde cada bloque tenía tres corderos de similar peso vivo inicial, los cuales se asignaron aleatoriamente a los siguientes tratamientos: 1) sin CZ (testigo), 2) con CZ de patente (CZP), y 3) con CZ genérico (CZG). Las medias de tratamientos se compararon a través de dos contrastes ortogonales: testigo vs. CZ (CZP+CZG) y CZP vs. CZG. El CZ no afectó ($P \geq 0.15$) el comportamiento productivo, peso de la canal, espesor de grasa dorsal, ni los porcentajes de grasa (riñón-corazón-pelvis, mesentérica u omental), pero aumentó ($P \leq 0.05$) el área del músculo *Longissimus dorsi* y los rendimientos de canal, paleta, pierna y lomo plano. En calidad de la carne, el CZ no afectó ($P \geq 0.24$) el pH y esfuerzo al corte, pero redujo ($P < 0.05$) los valores de color rojizo, amarillento y chroma a las 24 h *post mortem*, y también los valores de rojizo ($P < 0.01$) a los 14 días de maduración. Con excepción del rendimiento en canal que tendió ($P = 0.07$) a ser mayor con CZP, todas las variables medidas fueron similares ($P \geq 0.14$) entre CZP y CZG. Se concluye que ambos tipos de CZ a una dosis de 0.10 mg/kg de peso vivo promueven hipertrofia muscular en corderos de finalización, pero no es suficiente para reflejarse en mejor comportamiento productivo y peso de la canal.

Palabras clave: Agonistas adrenérgicos, Calidad de carne, Características de canal, Ovinos de pelo.

Recibido: 29/08/2020

Aceptado: 13/07/2021

Introducción

La oferta de carne ovina en México es inferior a su demanda (~30 %) y, en consecuencia, la industria cárnica ovina está en la búsqueda constante de estrategias de bajo costo que ayuden a incrementar la eficiencia alimenticia y la ganancia de peso⁽¹⁾. En las últimas dos décadas, diversos estudios han mostrado que el clorhidrato de zilpaterol (CZ) es un promotor de crecimiento efectivo en la finalización de corderos en corral, ya que mejora la eficiencia alimenticia, la tasa de crecimiento, el peso y el rendimiento de la canal, así como el área del músculo *Longissimus dorsi*; también reduce la deposición de grasa interna y externa en el cuerpo⁽²⁻⁵⁾. Sin embargo, la adición dietaria de CZ promueve algunos efectos detrimentales

en la calidad de la carne ovina, específicamente mantiene el pH final alto causando una decoloración y un aumento en su dureza^(6,7).

A pesar de que la mayoría de los resultados han sido positivos con el uso de CZ en la engorda intensiva de corderos, este producto tiene un costo elevado y los productores han mostrado cierta resistencia en adoptar el uso de CZ en dietas para borregos. Una vez que caducó la patente de CZ, diferentes empresas farmacéuticas comenzaron a producir CZ genérico y actualmente lo comercializan a un precio que es hasta 23 % más bajo comparado con el CZ de patente. Recientemente, en estudios conducidos en corderos⁽⁸⁾ y toros⁽⁹⁾, se comprobó que el CZ de patente y el CZ genérico Grofactor® tienen una efectividad similar como promotores de crecimiento usando la dosis recomendada de la etiqueta (0.15 mg/kg de peso vivo [PV]). Por su parte, Avendaño-Reyes *et al*⁽¹⁰⁾ demostraron que la dosis óptima de este CZ genérico para corderos de pelo finalizados en corral es inferior (0.10 mg/kg de PV) a la recomendada en la etiqueta de todas las marcas de CZ (0.15 mg/kg de PV).

Basado en lo anterior, el CZ genérico Grofactor® podría ser usado para reducir los costos por el uso de esta tecnología, ya que tiene menor precio en el mercado y se requiere menos dosis (33.3 %) que la señalada para CZ de patente⁽¹¹⁾. A pesar de los antecedentes que ya se tienen con relación en la efectividad del CZ genérico en la finalización de corderos, se requiere comprobar si dicha efectividad del CZ genérico es comparable a la del CZ patentado a una dosis de 0.10 mg/kg de PV. Cabe mencionar que la molécula de CZ en este genérico es bioequivalente a la molécula de CZ de patente, pero difiere en la forma como está fijada en el vehículo, lo cual podría reducir su biodisponibilidad y modo de acción⁽¹⁰⁾. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue comparar el efecto de la fuente del CZ (patente *vs* genérico) a una dosis diaria de 0.10 mg/kg de PV sobre el comportamiento productivo, características de la canal, rendimiento de cortes primarios y calidad de la carne en corderos de pelo finalizados en corral.

Material y métodos

Localización del experimento

Todos los procedimientos de manejo y cuidado de los animales fueron realizados conforme a las Normas Oficiales Mexicanas NOM-051-ZOO-1995 (Cuidado humanitario de los animales durante su movilización) y NOM-033-ZOO-1995 (Sacrificio de animales domésticos y salvajes). El estudio se realizó durante la época de primavera en la unidad experimental ovina del Instituto de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Baja California, localizada en el Valle de Mexicali, Baja California, México (32.8° N, 114.6° O).

Animales y manejo experimental

Se utilizaron 30 corderos enteros de la crucea F1 Dorper × Pelibuey (PV inicial= 36.9 ± 6.9 kg y edad= 5 meses), los cuales se adaptaron a corraletas individuales y a una dieta basal (Cuadro 1) durante los 20 días previos al inicio del experimento. Los animales recibieron dos inyecciones al inicio del periodo de adaptación, una intramuscular para administrar 1.0 ml de vitaminas (Vigantol ADE Fuerte; Bayer, Ciudad de México, México) y la otra subcutánea para aplicar 0.5 ml de ivermectina (Laboratorio Sanfer, Ciudad de México, México). Las corraletas estaban provistas de comedero, bebedero y sombra. La dieta basal se formuló para una ganancia diaria de peso de 300 g en corderos de engorda en etapa de finalización (2.8 Mcal de energía metabolizable/kg de materia seca [MS] y 16 % de proteína cruda)⁽¹²⁾. Se tomaron muestras de alimento semanalmente y al final del periodo experimental se juntaron para obtener dos submuestras, las cuales se analizaron para la determinación de su composición química^(13,14,15). En general, tanto en el periodo de adaptación como en el experimental, la dieta se ofreció dos veces por día (0700 y 1800 h) garantizando un rechazo diario de al menos del 10 %, mientras que la disponibilidad del agua fue *ad libitum*.

Cuadro 1: Ingredientes y composición química de la dieta experimental

Ingredientes (%)*		Composición química (% de MS)	
Heno de alfalfa	17.5	Materia seca	94.2
Paja de trigo	11.0	Materia orgánica	92.9
Grano de trigo molido	60.0	Proteína cruda	15.1
Harina de soya	7.0	Extracto etéreo	4.2
Aceite de soya	2.0	Fibra detergente neutro	17.9
Piedra caliza	1.0	Fibra detergente acido	10.1
Fosfato dicálcico	1.0	Cenizas	7.1
Sal común	0.5	Calcio	0.87
		Fósforo	0.54
		Energía metabolizable, Mcal/kg	2.9

* La cantidad de cada ingrediente es en base húmeda. MS= materia seca.

Diseño experimental

Se realizó una prueba de comportamiento productivo que duró 32 días después de finalizado el periodo de adaptación. El primer día de la prueba se pesaron individualmente todos los corderos en ayunas (12 h sin alimento y agua) para agruparlos en 10 bloques donde cada bloque tenía tres corderos con PV iniciales similares (factor de bloqueo). Los corderos de cada bloque se asignaron aleatoriamente a los tratamientos, los cuales consistieron en ofrecer una dieta base adicionada con: 1) 0 mg de CZ /kg de PV (testigo), 2) 0.10 mg de CZ patentado/kg de PV del producto Zilmax® (Intervet, Ciudad de México, México; CZP), y 3)

0.10 mg de CZ genérico/kg de PV del producto Grofactor® (Virbac México, Guadalajara, México; CZG). Todos los corderos se pesaron individualmente cada 10 días para ajustar la cantidad de CZ en los tratamientos CZP y CZG. La dosis diaria del producto se mezcló en 30 g de grano de trigo molido y se ofreció por la mañana antes de servir la dieta basal. Al grupo testigo se le ofreció 30 g de trigo molido al mismo tiempo que se hizo en los grupos de CZP y CZG. Durante la prueba de comportamiento, los tratamientos se ofrecieron durante los primeros 30 días y los dos días finales se usaron como periodo retiro. Posteriormente, los corderos en ayunas se trasladaron al taller de carnes (ubicado a 200 m de los corrales), donde se sacrificaron por el método de degüelle.

Comportamiento productivo

Las variables evaluadas para comportamiento productivo fueron el PV inicial y final (kg), ganancia diaria promedio ($GDP = GPT/32$; kg/día/animal), ganancia de peso total ($GPT = PV \text{ final} - PV \text{ inicial}$; kg/periodo), consumo diario de materia seca ($CMS = \text{kilogramos de alimento consumido en fresco} \times [\% \text{ MS}/100]$, kg/animal) y eficiencia alimenticia (GDP/CMS). En ayunas, se registró el PV individual al día 1 (inicial) y 33 (final) de la prueba en corral, y con estos datos se calculó la GDP y GPT.

Despojos del cuerpo y características de la canal

La evaluación de los despojos y las características de la canal se realizó como lo describe Avendaño-Reyes *et al*⁽¹⁰⁾. Después del sacrificio, los cuerpos fueron eviscerados y se registró el peso de cada órgano, vísceras y desechos de la canal (piel, cabeza, patas, testículos, sangre, corazón, hígado, riñón, pulmón, bazo, tracto gastrointestinal lleno y vacío, rumen, intestinos, y las grasas omental, mesentérica, así como la que rodea a los riñones, cavidad pélvica y corazón [KPH]). El contenido del tracto gastrointestinal se calculó por diferencia entre el peso del tracto gastrointestinal lleno y vacío, mientras que el PV vacío se calculó restándole el peso del contenido del tracto gastrointestinal al PV final. Así, todos los pesos de órganos, vísceras y desechos del cuerpo se expresaron como un porcentaje del PV vacío.

También se pesó la canal caliente (PCC) y luego se enfrió a 4 °C por 24 h para registrar el peso de la canal fría (PCF), así como la conformación, largo de canal, profundidad del tórax, largo y circunferencia de pierna, área del músculo *Longissimus dorsi* (MLD) y espesor de grasa dorsal. La conformación se determinó en una escala de 8 puntos considerando 1 como mala y 8 como excelente⁽¹⁶⁾. Las medidas morfométricas de la canal se hicieron con una cinta flexible⁽¹⁷⁾. El área del MLD y el espesor de la grasa dorsal se midieron entre la 12.^a y 13.^a costilla por lo que se realizó un corte perpendicular sobre el lomo a esta altura. El área del MLD se midió con una plantilla de puntos cuadrículada (64 mm²), mientras que el espesor

de grasa dorsal con un vernier. Finalmente, se calculó el rendimiento en canal expresando el PCC como un porcentaje del PV vacío.

Rendimiento de cortes primarios

Las canales se cortaron a lo largo de la línea media, posteriormente las medias canales derechas se seccionaron en los siguientes cortes primarios⁽¹⁸⁾: tren posterior, tren inferior, cuello, paleta, costillas, lomo, lomo plano, pierna y faldilla. La media canal derecha se pesó, así como cada uno de los cortes y posteriormente se calculó el rendimiento de cada corte expresando su peso como un porcentaje del peso de la media canal.

Calidad de la carne

La calidad de la carne se evaluó en el MLD. Un electrodo de penetración conectado (modelo PHW57-SS, HACH, Colorado, USA) a un medidor de pH (modelo H160G, HACH, Colorado, USA) se introdujo en el lomo de la canal, entre la 12.^a y 13.^a costilla, para registrar el pH a los 45 min y 24 h *post mortem*. Posteriormente, el MLD se diseccionó a partir del corte primario lomo y se midieron los parámetros de color (a^* [rojizo], b^* [amarillento], L^* [luminosidad], C^* [índice de saturación de color] y h^* [ángulo de matiz]) a las 24 h *post mortem*, usando un colorímetro portátil (modelo SP60, X-rite, Michigan, USA). Finalmente, el MLD se empaquetó al vacío y se mantuvo en un refrigerador a 4 °C durante 14 días para posteriormente medir el pH y los parámetros de color nuevamente, así como el esfuerzo al corte en carne madurada. Pasado el tiempo de maduración, el MLD se desempaquetó y se oxigenó durante 30 min antes de hacer las mediciones. El pH se midió en una mezcla homogeneizada de 5 g de carne y 25 ml de agua destilada usando un potenciómetro para líquidos (modelo HI-2210, Hanna Instruments Digital, Woonsocket, Rhode Island). Los parámetros de color se midieron siguiendo la misma metodología descrita previamente en la evaluación a las 24 h *post mortem*. Las mediciones de color se realizaron por triplicado y al final se calculó y registró el promedio para cada parámetro. Para el esfuerzo al corte, dos bistecs del MLD (2.5 cm de grosor) se cocieron en una parrilla eléctrica hasta que alcanzaron una temperatura interna de 71 °C. Posteriormente, los bistecs se dejaron enfriar a temperatura ambiente (~25 °C) y se obtuvieron cinco prismas de 1.27 cm de diámetro, en los cuales se midió el esfuerzo al corte con un equipo de Warner-Bratzler (Salter 235, Manhattan, KS, USA). El esfuerzo al corte por muestra se registró promediando los tres valores más homogéneos (< 5 % de coeficiente de variación).

Análisis estadístico

Todos los datos se analizaron con el procedimiento ANOVA del paquete estadístico SAS⁽¹⁹⁾, usando un modelo estadístico de un diseño experimental en bloque completo aleatorizado.

El modelo incluyó al PV inicial como el factor de bloqueo y el tipo de CZ como tratamiento. Las medias se compararon a través de dos contrastes ortogonales, declarando diferencias a $P \leq 0.05$ y tendencias a $0.05 > P \leq 1.0$. El primer contraste comparó al grupo testigo con la aplicación de cualquier fuente de CZ (C1: testigo vs CZP+CZG) y el segundo contraste comparó la fuente del CZ (C2: CZP vs ZG).

Resultados

Testigo versus clorhidrato de zilpaterol

Independientemente de la fuente de CZ, la adición de este agonista adrenérgico β_2 (AA- β_2) en la dieta no afectó ($P \geq 0.15$) el comportamiento productivo de los animales (Cuadro 2). En la canal, el CZ aumentó su rendimiento ($P \leq 0.01$) y el área del MLD ($P \leq 0.05$), asimismo tendió ($P = 0.09$) a mejorar la conformación de la canal, pero no afectó ($P \geq 0.28$) el PCC, PCF, medidas morfométricas de la canal o cualquier variable asociada con la deposición de grasa interna y externa (Cuadro 3). En el rendimiento de los cortes primarios, el CZ aumentó ($P \leq 0.03$) el rendimiento del tren posterior, pierna y lomo plano, pero redujo ($P \leq 0.01$) el rendimiento del tren anterior y de la paleta, sin afectar ($P \geq 0.27$) ninguno de los otros cortes primarios (Cuadro 4).

Cuadro 2: Comportamiento productivo de corderos alimentados con clorhidrato de zilpaterol de patente (CZP) o genérico (CZG)

Variables (kg)	Tratamientos				Contrastes*	
	Testigo	CZG	CZP	EE	C1	C2
Peso inicial	36.9	36.8	36.9	2.19	0.98	0.96
Peso final	46.1	46.6	46.8	2.58	0.85	0.96
Ganancia de peso total	9.18	9.80	9.85	0.69	0.45	0.96
Ganancia diaria de peso	0.30	0.31	0.31	0.02	0.32	0.96
Consumo diario de MS	1.59	1.51	1.56	0.06	0.26	0.62
Eficiencia alimenticia	0.18	0.20	0.20	0.01	0.15	0.28

* C1: testigo vs. CZP+CZG; C2= CZP vs. CZG. EE= error estándar; MS= materia seca.

Cuadro 3: Características de la canal en corderos alimentados con clorhidrato de zilpaterol de patente (CZP) o genérico (CZG)

Variables	Tratamiento				Contrastes*	
	Testigo	CZG	CZP	EE	C1	C2
Peso de canal caliente, kg	22.00	22.59	23.52	1.32	0.51	0.62
Peso de canal fría, kg	21.82	22.42	23.36	1.31	0.51	0.61
Rendimiento en canal, %	53.67	54.63	55.87	0.46	0.01	0.07
Área del MLD, cm ²	13.42	15.69	16.88	1.19	0.05	0.48
Conformación	6.17	6.40	6.80	0.20	0.09	0.17
Largo canal, cm	55.15	54.82	54.58	0.92	0.69	0.85
Largo pierna, cm	36.20	34.90	36.15	0.58	0.35	0.14
Perímetro pierna, cm	47.23	49.91	47.97	2.04	0.50	0.50
Profundidad del tórax, cm	15.85	15.38	15.48	0.33	0.30	0.83
Espesor de grasa dorsal, mm	1.15	1.15	1.10	0.16	0.90	0.83
Grasa omental, %	2.08	2.32	2.27	0.23	0.46	0.90
Grasa mesentérica, %	1.87	1.85	1.66	0.16	0.36	0.21
Grasa KPH, %	1.49	1.74	1.62	0.14	0.28	0.55

* C1= testigo vs. CZP+CZG; C2= CZP vs. CZG.

EE= error estándar; MLD= músculo *Longissimus dorsi*; Grasa KPH= La suma de grasas localizadas alrededor del riñón, corazón y cavidad pélvica.

Cuadro 4: Rendimiento de cortes primarios en corderos alimentados con clorhidrato de zilpaterol de patente (CZP) o genérico (CZG)

Variables*, %	Tratamiento				Contrastes**	
	Testigo	CZG	CZP	EE	C1	C2
Tren anterior	54.59	53.04	52.50	0.39	<0.01	0.34
Cuello	4.06	4.07	3.93	0.25	0.83	0.68
Costilla	9.72	9.83	9.71	0.27	0.88	0.73
Lomo	9.70	10.2	9.95	0.25	0.27	0.54
Paleta	31.0	28.9	29.9	0.67	0.01	0.96
Tren posterior	45.4	47.0	47.4	0.39	<0.01	0.34
Pierna	31.3	32.5	32.6	0.47	0.03	0.90
Lomo plano	8.80	9.35	9.47	0.22	0.03	0.70
Faldilla	5.25	5.00	5.34	0.38	0.85	0.54

* Los rendimientos se calcularon expresando el peso de cada corte como porcentaje del peso de la media canal.

** C1= testigo vs. CZP+CZG; C2= CZP vs. CZG.

EE= error estándar.

En los despojos del cuerpo (pesos expresados como porcentaje del PV vacío), la adición dietaria de CZ disminuyó ($P \leq 0.05$) los pesos de piel, hígado, riñón, bazo y rumen, y también tendió ($P = 0.06$) a disminuir el peso de las patas (Cuadro 5). El peso de los otros despojos no varió ($P \geq 0.12$) con la inclusión de CZ.

En el caso de calidad de la carne, el CZ no afectó ($P \geq 0.23$) el pH *post mortem* en ninguno de los tiempos (45 min, 24 h y 14 d), pero redujo ($P \leq 0.01$) los valores de a^* y C^* , y tendió ($P = 0.07$) a disminuir los valores de b^* a las 24 h (Cuadro 6). A los 14 días de maduración *post mortem*, la inclusión dietaria de CZ redujo ($P < 0.01$) los valores de a^* y aumentó ($P = 0.05$) los valores h^* , sin encontrarse efectos ($P = 0.95$) sobre el esfuerzo al corte. Los valores de L^* no fueron afectados ($P \geq 0.65$) por CZ en ninguno de los tiempos evaluados.

Cuadro 5: Porcentaje de los despojos en corderos alimentados con clorhidrato de zilpaterol de patente (CZP) o genérico (CZG)

Variables*, %	Tratamiento				Contrastes**	
	Testigo	CZG	CZP	EE	C1	C2
Sangre	4.55	4.38	4.29	0.13	0.18	0.61
Patatas	2.44	2.25	2.33	0.06	0.06	0.35
Cabeza	5.61	5.68	5.71	0.16	0.69	0.88
Piel	9.69	8.99	8.68	0.24	<0.01	0.37
Corazón	0.48	0.45	0.45	0.01	0.19	0.79
Hígado	2.33	2.17	2.06	0.06	0.01	0.24
Riñón	0.30	0.27	0.28	0.01	0.03	0.64
Pulmón	1.81	1.95	1.85	0.10	0.52	0.51
Bazo	0.22	0.17	0.18	0.01	0.01	0.66
Rumen	3.41	3.22	3.13	0.09	0.05	0.52
Intestino	3.22	2.84	2.90	0.17	0.12	0.81
Testículos	1.53	1.51	1.57	0.07	0.93	0.54

* Los pesos de cada órgano o víscera se expresaron como porcentaje del peso vivo vacío.

** C1= testigo vs. CZP+CZG; C2= CZP vs. CZG.

EE= error estándar.

Cuadro 6: Calidad de la carne en corderos alimentados con clorhidrato de zilpaterol de patente (CZP) o genérico (CZG)

Variables	Tratamiento				Contrastes**	
	Testigo	CZG	CZP	EE	C1	C2
pH _{45 min}	6.54	6.59	6.57	0.05	0.60	0.82
Evaluación a 24 h <i>post mortem</i>						
pH	5.83	5.93	5.92	0.06	0.24	0.88
<i>L*</i>	39.1	37.7	38.9	1.30	0.65	0.51
<i>a*</i>	10.3	8.17	9.01	0.44	<0.01	0.19
<i>b*</i>	9.51	8.46	8.82	0.38	0.07	0.51
<i>C*</i>	13.7	12.0	12.6	0.43	0.01	0.34
<i>h*</i>	43.8	44.3	44.4	1.33	0.76	0.92
Evaluación a 14 días <i>post mortem</i>						
pH	5.83	5.95	5.98	0.08	0.23	0.81
Esfuerzo al corte, kg/cm ²	2.04	1.87	2.25	0.24	0.95	0.28
<i>L*</i>	41.2	42.5	41.1	1.20	0.70	0.39
<i>a*</i>	9.15	7.76	7.98	0.36	<0.01	0.66
<i>b*</i>	10.26	9.74	9.19	0.50	0.21	0.45
<i>C*</i>	13.8	12.5	13.2	0.56	0.18	0.39
<i>h*</i>	45.9	51.3	49.5	1.66	0.05	0.45

** C1= testigo vs CZP+CZG; C2= CZP vs CZG.

EE= error estándar; *L**= Luminosidad, *a**= rojizo, *b**= amarillento, *C**= chroma y *h**= ángulo hue.

Clorhidrato de zilpaterol de patente *versus* genérico

El comportamiento productivo (Cuadro 2), las características de la canal (excepto rendimiento en canal; Cuadro 3), el rendimiento de cortes primarios (Cuadro 4), el peso de los despojos expresado como porcentaje del PV vacío (Cuadro 5) y la calidad de la carne (Cuadro 6), no variaron ($P \geq 0.23$) entre CZP and CZG. La adición de CZP en la dieta tendió a incrementar ($P = 0.07$) el rendimiento en canal con respecto al CZG.

Discusión

Testigo *versus* clorhidrato de zilpaterol

La adición de CZ en la dieta de finalización no mejoró el comportamiento productivo y el peso de la canal en los corderos de pelo. Estos resultados no se esperaban, ya que la mayoría de estudios en los que han incluido este AA- β_2 reportan mayor GDP, eficiencia alimenticia, PCC y PCF con efectos poco consistentes en el CMS^(4,5,8,18,20-22). Podría pensarse que haber administrado una dosis por debajo (0.10 vs 0.15 mg/kg de PV) de lo recomendado por la

empresa es la causa de dicha falta de efectos, ya que la mayoría de esos estudios donde reportan mejoras adicionaron el producto de acuerdo con las indicaciones de la etiqueta. Sin embargo, en un estudio previo se demostró que 0.10 mg de CZ/kg de PV es una dosis óptima para corderos finalizados en corral usando este tipo de CZ genérico⁽¹⁰⁾. Cabe mencionar que los trabajos en los que el CZ mejoró el comportamiento productivo y el peso de la canal, el grupo testigo mostró una GDP inferior (168-280 g/día) a la encontrada en el presente estudio (300 g). Por lo tanto, los resultados de comportamiento productivo y peso de la canal podrían deberse a que los corderos expresaron su máximo potencial genético para crecimiento sin necesidad del promotor, y entonces, el CZ tuvo un margen limitado para ejercer sus efectos positivos en la ganancia de PV y sobre la canal. La literatura señala que los corderos de pelo tienen una GDP de alrededor de 250 g/día⁽²³⁾, es decir, 50 g menos que la observada en los corderos testigo de este estudio que también son ovinos de pelo. Acorde a este hallazgo, Mersmann⁽²⁴⁾ menciona que la efectividad de los AA- β_2 para mejorar la ganancia de masa corporal puede limitarse por el potencial genético del animal.

Si bien el CZ no afectó la ganancia de PV y el peso de la canal de los corderos, sí mostró mejorar el rendimiento en canal, área del MLD y rendimiento de algunos cortes primarios (i.e., pierna y lomo plano). Esto sugiere que el AA- β_2 promovió hipertrofia muscular y, consecuentemente, un incremento en la deposición de masa muscular, pero en forma limitada. El aumento en el rendimiento en canal podría ser el reflejo de la mayor deposición de masa muscular en regiones corporales como el lomo plano y las piernas. Estos hallazgos coinciden con los resultados de otros estudios^(5,10), aunque en esos trabajos el efecto fue más marcado. Esto apoya más la idea de que factores externos fueron más importantes que el mismo CZ para que los corderos expresaran su máximo potencial genético de crecimiento, limitando el mecanismo de acción del AA- β_2 ⁽²⁴⁾.

La inclusión de CZ también mostró no afectar la deposición de grasa interna y externa del cuerpo, pero redujo el peso de varios despojos de la canal (piel, hígado, riñón, bazo, rumen y patas). Así que la hipertrofia muscular observada en el lomo y las piernas de los corderos se debió a que el AA- β_2 promovió una redistribución de nutrientes a partir de los tejidos de despojo hacia la formación de músculo esquelético, tal como previamente había sido reportado con la adición de CZ genérico^(8,10,22).

Por otra parte, la alimentación de corderos con CZ se ha asociado principalmente con un aumento en el pH de la carne, lo cual causa una disminución en los valores de color y un aumento en la dureza de la carne^(6,7,22). No obstante, también hay evidencia de que CZ disminuye los valores de color aun con pH normal⁽²⁵⁾. En el presente estudio, el CZ no afectó los pH *post mortem* (45 min, 24 h y 14 días) y esto podría explicar parcialmente porque la fuerza al corte y la luminosidad de la carne no cambiaron con la inclusión dietaria de este AA- β_2 . Dado los resultados de pH, inesperadamente la carne del tratamiento CZ se decoloró sin perder luminosidad a las 24 h *post mortem* y este efecto persistió en menor grado después

de madurar la carne 14 días. Si bien, el pH a 24 h y 14 d *post mortem* no cambió estadísticamente, los valores de pH en la carne de CZ (>5.9) se mantuvieron por arriba del rango normal (≤ 5.8)⁽²⁶⁾. Esto pudo causar un aumento en la respiración mitocondrial de las fibras oxidativas y una mayor competencia por el oxígeno con la oximioglobina, lo cual provocó un aumento en las concentraciones de desoximioglobina y metamioglobina, pigmentos que favorecen la decoloración de la carne⁽²⁷⁾.

Clorhidrato de zilpaterol de patente *versus* genérico

Los corderos tratados con CZP y CZG no mostraron diferencias en su comportamiento productivo, características de la canal, rendimiento de cortes primarios y calidad de la carne, sugiriendo similar efectividad de ambas moléculas como promotor de crecimiento a una dosis diaria de 0.10 mg/kg de PV en este tipo de animales. Aunque este hallazgo debe tomarse con precaución, ya que previamente se indicó que la adición de CZ de patente y genérico en la dieta de los corderos promovió hipertrofia muscular, pero no a un nivel suficiente para reflejarse en mayor GDP, eficiencia alimenticia y peso de la canal. No obstante, se rescata el hecho que el CZ genérico a la dosis usada promueve hipertrofia muscular equiparable a la observada con CZ de patente en corderos de engorda en etapa de finalización. Esto podría deberse a que ambos productos tienen similar bioequivalencia, quilaridad y determinación isomérica⁽⁹⁾. Aunque, ellos difieren en la forma como están fijados al vehículo (olote molido), ya que la molécula de CZ de patente está adherida alrededor de los gránulos del vehículo y la molécula de CZ genérico no se encuentra adherida al vehículo⁽¹⁰⁾. Esto último podría reducir la biodisponibilidad y, en consecuencia, la efectividad del producto. Los resultados del este estudio sugieren que la forma como está fijada la molécula en cada producto, no es un factor que disminuya o potencialice el funcionamiento del CZ en el crecimiento en los corderos de pelo finalizados en corral.

Al igual que en este estudio, otros autores⁽⁸⁾ no encontraron diferencias en el comportamiento productivo, las características de la canal, el rendimiento de cortes de venta ni el peso de órganos entre corderos alimentados con CZ de patente y genéricos. Por otro lado, la fuente del CZ tampoco afectó el crecimiento, las características de la canal y la calidad de la carne en toros⁽⁹⁾.

Un punto a destacar es el hecho de que ninguna fuente de CZ promovió lipólisis para ejercer los efectos hipertróficos del músculo esquelético⁽²⁵⁾. Esto ya se había documentado con el uso del CZ genérico^(8,10,22); sin embargo, el uso del CZ de patente regularmente había causado un efecto lipolítico en ovinos de engorda^(4,20,28). Por lo tanto, esto sugiere que el mecanismo de acción lipolítico asociado al CZ de patente es dependiente de la dosis, ya que en los estudios previos usaron dosis de 0.15 mg/kg de PV y en este estudio se usó 33.3 % menos

dosis. No obstante, se requieren hacer más investigación al respecto para confirmar este hallazgo.

Conclusiones e implicaciones

Se concluye que la adición diaria de 0.10 mg/kg de PV de CZ de patente o genérico en la dieta de finalización de corderos de pelo promueve sustancialmente hipertrofia muscular en el lomo y las piernas, lo cual se refleja en mayor rendimiento en canal, pero no en mejor crecimiento, eficiencia alimenticia, peso de la canal y color de la carne. Finalmente, se recomienda continuar haciendo más estudios usando otras dosis del AA- β_2 y genotipos de corderos para definir si el CZ genérico tiene la misma efectividad del CZ de patente para funcionar como promotor de crecimiento.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Cuerpo Académico de Fisiología y Genética Animal del Instituto de Ciencias Agrícolas por apoyar en la realización de esta investigación, ya que financiaron y condujeron todo el estudio en sus instalaciones. Se agradece a los alumnos del posgrado (Erick Gómez Aranda, Ricardo Vicente Pérez, Yolanda Osorio Marín y Arnulfo Vicente Pérez) y técnicos del laboratorio que ayudaron a realizar toda la fase de campo. El primer autor también agradece al Conacyt por la beca otorgada para realizar sus estudios de doctorado.

Literatura citada:

1. Hernández-Marín JA, Valencia-Posadas M, Ruíz-Nieto JE, Mireles-Arriaga AI, Cortez-Romero C, Gallegos-Sánchez J. Contribución de la ovinocultura al sector pecuario en México. *Agroproductividad* 2017;10(3):87-93.
2. Macías-Cruz U, Álvarez-Valenzuela FD, Torrentera-Olivera NG, Velázquez-Morales JV, Correa-Calderón A, Robinson PH, *et al.* Effect of zilpaterol hydrochloride on feedlot performance and carcass characteristics of ewe lambs during heat-stress conditions. *Anim Prod Sci* 2010;50(10):983.
3. Ríos Rincón FG, Barreras-Serrano A, Estrada-Angulo A, Obregón JF, Plascencia-Jorquera A, Portillo-Loera JJ, *et al.* Effect of level of dietary zilpaterol hydrochloride (β 2-agonist) on performance, carcass characteristics and visceral organ mass in hairy lambs fed all-concentrate diets. *J Appl Anim Res* 2010;38(1):33-38.

4. Lopez-Carlos MA, Ramirez RG, Aguilera-Soto JI, Rodríguez H, Carrillo-Muro O, Méndez-Llorente F. Effect of two beta adrenergic agonists and feeding duration on feedlot performance and carcass characteristics of finishing lambs. *Livest Sci* 2011;138(1-3):251-258.
5. Rojo-Rubio R, Avendaño-Reyes L, Albarrán B, Vázquez JF, Soto-Navarro SA, Guerra JE, *et al.* Zilpaterol hydrochloride improves growth performance and carcass traits without affecting wholesale cut yields of hair sheep finished in feedlot. *J Appl Anim Res* 2018;46(1):375-379.
6. Dávila-Ramírez JL, Avendaño-Reyes L, Macías-Cruz U, Torrentera-Olivera NG, Zamorano-García L, Peña-Ramos A, *et al.* Effects of zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation on physicochemical and sensory characteristics of meat from hair lambs. *Small Ruminant Res* 2013;114(2-3):253-257.
7. Dávila-Ramírez JL, Avendaño-Reyes L, Macías-Cruz U, Peña-Ramos EA, Islava-Lagarda TY, Zamorano-García L, *et al.* Fatty acid composition and physicochemical and sensory characteristics of meat from ewe lambs supplemented with zilpaterol hydrochloride and soybean oil. *Anim Prod Sci* 2017;57(4):767.
8. Rivera-Villegas A, Estrada-Angulo A, Castro-Pérez BI, Urías-Estrada JD, Ríos-Rincón FG, Rodríguez-Cordero D, *et al.* Comparative evaluation of supplemental zilpaterol hydrochloride sources on growth performance, dietary energetics and carcass characteristics of finishing lambs. *Asian-Australas J Anim Sci* 2019;32(2):209-216.
9. Avendaño-Reyes L, Meraz-Murillo FJ, Pérez-Linares C, Figueroa-Saavedra F, Correa A, Álvarez-Valenzuela FD, *et al.* Evaluation of the efficacy of Grofactor, a beta-adrenergic agonist based on zilpaterol hydrochloride, using feedlot finishing bulls. *J Anim Sci* 2016;94(7):2954-2961.
10. Avendaño-Reyes L, Torrentera-Olivera NG, Correa-Calderón A, López-Rincón G, Soto-Navarro SA, Rojo-Rubio R, *et al.* Daily optimal level of a generic beta-agonist based on zilpaterol hydrochloride for feedlot hair lambs. *Small Ruminant Res* 2018;165:48-53.
11. Ortiz Rodea A, Amezcua Barbosa M, Partida De La Peña JA, González Ronquillo M. Effect of zilpaterol hydrochloride on animal performance and carcass characteristics in sheep: A meta-analysis. *J Appl Anim Res* 2016;44(1):104-112.
12. NRC. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goat, cervids, and new world camelids. Washington, D.C., USA: National Academic Press; 2007.
13. AOAC. Official methods of analysis. 15th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists; 1990.

14. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 1991;74(10):3583-3597.
15. NRC. Nutrient requirements of sheep. 6th ed. Washington, D.C., USA: National Academy Press; 1985.
16. Smith GC, Griffin DB, Kenneth JH. Meat evaluation handbook. First ed. American Meat Science Association, ed. IL: American Meat Science Association; 2001.
17. Pérez-Casanova PMP. Morphometric dimensions allow differentiation of lamb carcasses for some breeds. *Egyptian J Sheep Goat Sci* 2013;8(1):167-170.
18. Avendaño-Reyes L, Macías-Cruz U, Álvarez-Valenzuela FD, Águila-Tepato E, Torrentera-Olivera NG, Soto-Navarro SA. 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* 2011;89(12):4188-4194.
19. SAS institute. SAS/STAT: User's Guide Statistics Released. 2004.
20. Estrada-Angulo A, Barreras-Serrano A, Contreras G, Obregón JF, Robles-Estrada JC, Plascencia A, *et al.* Influence of level of zilpaterol chlorhydrate supplementation on growth performance and carcass characteristics of feedlot lambs. *Small Ruminant Res* 2008;80(1-3):107-110.
21. Macías-Cruz U, Avendaño-Reyes L, Álvarez-Valenzuela FD, Torrentera-Olivera NG, Meza-Herrera C, Mellado Bosque M, *et al.* Crecimiento y características de canal en corderas tratadas con clorhidrato de zilpaterol durante primavera y verano. *Rev Mex Cien Pecu* 2013;4(1):1-12.
22. López-Baca MÁ, Contreras M, González-Ríos H, Macías-Cruz U, Torrentera N, Valenzuela-Melendres M, *et al.* Growth, carcass characteristics, cut yields and meat quality of lambs finished with zilpaterol hydrochloride and steroid implant. *Meat Sci* 2019;158:107890.
23. Muñoz-Osorio GA, Aguilar-Caballero AJ, Sarmiento-Franco LA, Wurzinger M, Cámara-Sarmiento R. Technologies and strategies for improve hair lamb fattening systems in a tropical region: A review. *Rev Ecosist Rec Agropec* 2016;3(8):267-277.
24. Mersmann HJ. Overview of the effects of beta-adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action. *J Anim Sci* 1998;76(1):160-172.

25. Partida PJM, Casaya RTA, Rubio LMS, Méndez MRD. Efecto del clorhidrato de zilpaterol sobre las características de la canal en cruzas terminales de corderos Kathadin. *Vet Mex* 2015;2(2):1-13.
26. Ponnampalam EN, Hopkins DL, Bruce H, Li D, Baldi G, Bekhit AE. Causes and contributing factors to “dark cutting” meat: Current trends and future directions: A review. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 2017;16(3):400-430.
27. Suman SP, Joseph P. Myoglobin chemistry and meat color. *Annu Rev Food Sci Technol* 2013;4(1):79-99.
28. Dávila-Ramírez JL, Macías-Cruz U, Torrentera-Olivera NG, González-Ríos H, Soto-Navarro SA, Rojo-Rubio, *et al.* Effects of zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation on feedlot performance and carcass characteristics of hair-breed ram lambs under heat stress conditions. *J Anim Sci* 2014;92(3):1184-1192.