



Evaluación de dos fuentes suplementarias de clorhidrato de zilpaterol sobre la calidad de la carne y los rasgos de la canal de toros *Bos indicus* cruzados en los trópicos



Pedro Antonio Alvarado García ^a

María Salud Rubio Lozano ^{a*}

Héctor Salvador Sumano López ^b

Luis Ocampo Camberos ^b

Graciela Guadalupe Tapia Pérez ^c

Enrique Jesús Delgado Suárez ^d

Jeny Aguilar Acevedo ^b

^a Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), Centro de Enseñanza Práctica, Investigación en Producción y Salud Animal. México.

^b UNAM, FMVZ Departamento de Fisiología y Farmacología. México.

^c UNAM, FMVZ, Departamento de Genética y Bioestadística, Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. México.

^d UNAM, FMVZ. Avenida Universidad 3000, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México.

* Autor de correspondencia: msalud65@gmail.com

Resumen:

Se estudió el efecto de dos marcas de clorhidrato de zilpaterol (ZH) en las características de la canal y la calidad de la carne de toros jóvenes de la especie *Bos indicus* cruzados en

condiciones tropicales. La formulación patentada de ZH (Zilmax®, ZHp) y una marca genérica (Zipamix®, ZHg) se añadieron al pienso (6 ppm) durante 30 días antes del sacrificio. Los animales (n= 288) se asignaron aleatoriamente a 1 de 3 dietas, con 32 animales por corral y 3 réplicas, con un total de 96 toros por tratamiento: 1) dieta basal sin ZH (testigo), 2) dieta basal suplementada con Zipamix® a 6 ppm en la dieta como base de la alimentación (ZHg), y 3) dieta basal suplementada con Zilmax® a la misma concentración en la alimentación (ZHp). Los rasgos de rendimiento de la canal mejoraron significativamente con la suplementación con ZH. Las canales de los toros tratados con ZH pesaron 6-9 kg más ($P=0.0023$, y produjeron unos 8-10 kg más de tejido magro ($P<0.0001$), que el grupo testigo. Los rasgos de calidad de la canal se vieron menos afectados por la suplementación con ZH. Entre los atributos de calidad de la carne, el pH final de ZHg (5.81) y ZHp (5,89) fue mayor ($P=0.0022$) que el del grupo testigo (5.78). Los resultados mostraron que ambas marcas de ZH, cuando se administran durante 30 días antes del sacrificio, tal como recomienda el fabricante, mejoran la mayoría de los rasgos de rendimiento de la canal sin comprometer los atributos de calidad de la canal o de la carne. Por lo tanto, los productores de carne de vacuno tropical pueden utilizar la formulación ZH de menor coste para mejorar su productividad.

Palabras clave: Clorhidrato de zilpaterol, Genérico, Grado de rendimiento, Grado de calidad, Carcasa, Res, *Bos indicus*.

Recibido: 07/06/2019

Aceptado: 09/12/2019

Introducción

Se prevé que la demanda de alimentos aumentará un 70 % para el año 2050⁽¹⁾. Esto supone un reto importante para la producción de alimentos, especialmente de carnes, que representan una proporción significativa de la dieta humana⁽¹⁾. En consecuencia, los productores de carne han adoptado diferentes tecnologías destinadas a maximizar la productividad. Entre ellas, se ha demostrado que los promotores del crecimiento mejoran el rendimiento de los animales y los rasgos de la canal en varias especies ganaderas, como el ganado vacuno de carne⁽²⁾.

El clorhidrato de zilpaterol (ZH) está aprobado como promotor del crecimiento del ganado vacuno en México, Norteamérica y Sudáfrica. Se ha reportado que los novillos suplementados con ZH mejoran su peso en canal entre un 5 y un 7 % y su porcentaje de faenado entre un 3 y un 3.5 %, en comparación con los animales no tratados^(3,4). Además, se ha demostrado que la suplementación del alimento con ZH aumenta el área del músculo *longissimus*⁽⁵⁾, que está positivamente correlacionada con el rendimiento de la carne.

Mientras que los efectos positivos de la ZH sobre los rasgos de la canal están bien documentados en el ganado *Bos taurus*, los estudios sobre *Bos indicus* son muy limitados. Esta información es relevante en varios países, como México, donde el 90 % de la población de sacrificio tiene un fuerte antecedente genético de *B. indicus*⁽⁶⁾, el cual se asocia con rendimiento de crecimiento, rasgos de la canal y características de calidad de la carne inferiores. Además, aunque se sabe que la suplementación con ZH aumenta la utilidad por animal⁽⁷⁾, el coste por kilo de carne producida con ZH se ha estimado entre 1.53 y 1.62 USD⁽⁸⁾, lo que representa entre el 35 y el 40 % del precio medio de mercado por kilo de carne en canal en México⁽⁹⁾. Tras la expiración de la patente de la fórmula de la ZH, han aparecido varias marcas genéricas de ZH (ZHg). Dado que el ZHg puede representar una alternativa más barata en comparación con el producto patentado (ZHp), recientemente se han estudiado marcas de ZHg. Avendaño-Reyes *et al*⁽²⁾ no observaron diferencias en el peso de sacrificio ni en los rasgos de la canal del ganado cruzado (75 % *B. indicus*, 25 % *B. taurus*) tratados con un ZHg o con el ZHp. Sin embargo, este estudio se realizó con un número limitado de animales por tratamiento (n=15). Una publicación anterior de nuestro grupo de investigación⁽¹⁰⁾ también informa de que no hay diferencias en el rendimiento en el engorde, la composición proximal de la carne o la aceptabilidad por parte del consumidor de la carne del ganado cruzado (75 % *B. indicus*, 25 % *B. taurus*) tratado con ZHg o con ZHp. Sin embargo, los datos sobre sus efectos en las características de la canal y la calidad de la carne son limitados. Hace falta esta información para lograr una mejor evaluación de la relación coste-beneficio del uso de ZH en el ganado de engorde de los genotipos de *B. indicus* en condiciones comerciales. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar las diferencias en los rasgos de la canal y la calidad de la carne de los toros *B. indicus* jóvenes suplementados con ZHg (Zipamix®, PiSA agropecuaria, México) o con ZHp (Zilmax, MSD, Summit, NJ, EEUUA) en condiciones tropicales.

Material y métodos

Animales y tratamientos

El estudio se realizó durante el verano de 2016 en una empresa de San Luis Potosí, México, que integra una operación de engorde comercial y un matadero de ganado vacuno. Todos los animales fueron manejados de acuerdo con las normas oficiales mexicanas para el cuidado y manejo de animales durante el transporte y el sacrificio^(11,12).

Se seleccionaron para el experimento un total de 810 toros jóvenes cruzados, basándose en los siguientes criterios: 1) Sólo se admitieron animales sanos, 2) con un mínimo de 50 % de antecedentes genéticos de *B. indicus*, 3) de 24 meses de edad o menos, y 4) con no menos de 430 kg de peso vivo. Los animales que cumplían estos requisitos se distribuyeron en nueve corrales de 90 animales cada uno. Los corrales eran de 40 x 45 m y tenían un 16 % de sombra

que cubría principalmente los comederos. Los animales tenían acceso a agua a voluntad por medio de sistemas de agua automatizados (dos por corral), situados en el lateral de cada corral.

Tras la selección, a todos los toros se les inyectó una dosis de 200 µg/kg de ivermectina (Dectiver®, Lapisa, México) para controlar los ectoparásitos, y se los vacunó contra las enfermedades (Ultrabac/somubac®; Zoetis, México). También recibieron un implante anabólico (200 mg de acetato de trembolona y 28 mg de benzoato de estradiol, Synovex-plus®, Zoetis, México) en la oreja izquierda. Los animales se sometieron a un periodo de adaptación de 2 meses antes de iniciar la prueba. Los toros se controlaron diariamente, y los animales con signos evidentes de enfermedad o lesiones se retiraron del ensayo. Finalmente, para realizar el experimento, los animales se asignaron aleatoriamente a tres grupos (n= 32) con tres réplicas cada uno, como sigue 1) Dieta basal sin ZH (testigo), 2) Dieta basal suplementada con la marca genérica de ZH Zipamix® a 6 ppm en la dieta, como base de la alimentación (ZHg), según las instrucciones del fabricante, y 3) Dieta basal suplementada con la marca patentada de ZH Zilmax® a la misma concentración en la alimentación (ZHp), según las recomendaciones del fabricante. Las dos marcas comerciales de ZH contienen 48 g de ingrediente activo por kilo de producto, y la cantidad de preparado comercial añadido fue de 125 g/kg de pienso en ambos casos.

Todos los grupos recibieron la misma dieta basal a base de maíz (Cuadro 1). Ambas marcas de ZH se incluyeron en la premezcla de vitaminas y minerales antes de incorporarla a la dieta basal. Para ello, se pesó el suplemento de ZH con una precisión de 0.001 g y se mezcló bien durante unos 5 minutos con los demás ingredientes de la premezcla en una batidora de palas. Para evitar la contaminación cruzada, se limpió la batidora antes de preparar cada dieta experimental. La premezcla se preparó semanalmente, y el alimento con y sin ZH se preparó dos veces al día. Se probó la uniformidad de la mezcla de ZH en lotes de 5, 6 y 7 toneladas de alimento suplementado con ZH (12 muestras de cada lote), con la ayuda de micro-trazadores (Micro-Tracers Inc., San Francisco, USA), como se describió previamente⁽¹³⁾. El alimento se sirvió dos veces al día (a las 0700 y a las 1300 h) utilizando camiones automáticos Rotomix® (International Trucks®, TX, USA), con una máquina de pesaje integrada para verificar la cantidad. Se entregó un exceso de alimento del 3 % basado en los registros de consumo de alimentos anteriores por peso corporal. El alimento no consumido se retiró, se pesó y se registró diariamente.

Cuadro 1: Ingredientes de la dieta y composición química de la dieta basal con base de materia seca (MS)

Ingrediente	%
Maíz laminado en seco	61.0
Granos secos de destilería	14.0
Paja de cebada	8.0
Melaza de caña de azúcar	6.0
Ensilado de maíz	5.0
Sebo	3.0
Elit-f (premezcla de vitaminas y minerales)	2.5
Harina de soya	0.5
Composición química¹	
MS, %	80.9
Proteína bruta, %	14.0
Grasa bruta (extracto de éter), %	6.6
Carbohidratos (excluyendo la fibra), %	56.4
Fibra detergente neutra, %	18.4
Fibra detergente ácida, %	11.5
Ceniza, %	4.6
Calcio, %	0.9
Fósforo, %	0.3
NE _m , Mcal/kg	2.2
NE _g , Mcal/kg	1.5

Cálculos de NEm y NEg utilizando las ecuaciones propuestas por el NRC (2000).

El periodo de alimentación experimental duró 30 días, seguido de un periodo de retirada de ZHg y ZHp de 3 días, durante los cuales todos los animales recibieron la dieta basal no suplementada. El tercer día de retirada de ZH, los toros recibieron sólo el 40 % de su ración diaria habitual. Posteriormente, 32 animales de cada tratamiento se seleccionaron al azar y enviados al matadero durante tres días consecutivos. Por lo tanto, se evaluó un total de 96 toros por tratamiento. El transporte al matadero se realizó a primera hora de la mañana (hacia las 0500 h). El viaje duró unos 10 min, ya que el matadero está a sólo 1 km del cebadero.

A fin de evitar el sesgo, el ensayo se realizó como un estudio ciego aleatorio. Así, los investigadores que participaron en la evaluación de la calidad de la canal y de la carne no sabían a qué tratamiento pertenecían los animales. Además, los animales de cada tratamiento se sacrificaron en un orden diferente cada uno de los 3 días. El sacrificio y la fabricación se llevaron a cabo en un matadero inspeccionado por el gobierno federal, siguiendo la norma

oficial^(11,12,14,15). Se registró el peso de la canal en caliente (PCC) antes del enfriamiento de la canal a 2°C durante 24 h.

Características de la canal

Los rasgos de la canal se evaluaron según el Sistema de Clasificación de Canales de Vacuno del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)⁽¹⁶⁾. La madurez general se determinó en base a la madurez magra y esquelética. Se asignó a las canales uno de los siguientes grados de madurez global: 100=USDA A100/B00 o menos, 200=USDA B00-C00, 300=USDA C00-D00, 400=USDA D00-E00, 500=USDA E00 o más. También se utilizaron los estándares visuales del USDA para determinar el grado de marmoleo del músculo *longissimus thoracis* (LT): 100= prácticamente desprovisto⁰⁰, 200= trazas⁰⁰, 300=ligero⁰⁰, 400=moderado⁰⁰, 500=pequeño⁰⁰, 600=moderado⁰⁰ y 700=poco⁰⁰. Los grados de calidad del USDA se asignaron en función del marmoleo y la madurez, como sigue: Utilitaria=300, Comercial=400, Estándar=500, Selecta=600, Preferida=700, Óptima=800.

La grasa de riñón, pelvis y corazón (RPC) se estimó como porcentaje del peso de la canal caliente. También se midió el espesor de la grasa dorsal en la 12ª costilla, en $\frac{3}{4}$ de la parte superior del costillar y perpendicular al LT. Además, se dibujó en un acetato el área magra del costillar y se utilizó para determinar el área del músculo *longissimus* (ML) con la ayuda de un planímetro (rodillo tipo digital Placom KP-90N). Estos factores se utilizaron para asignar las canales a los grados de rendimiento 1 a 5 según el USDA⁽¹⁶⁾.

Atributos de calidad de la carne

También se determinó el color de la carne y el pH final o pH último (pHu) del LT a las 24 h post mórtem, tras evaluar los rasgos de la canal. El pHu se determinó como la media de dos medidas tomadas con un medidor de pH digital Hanna H199163, con compensación automática de temperatura y acoplado a una sonda de penetración (Hanna Instruments, Woonsocket, Rhode Island, EE.UU.). Las medidas de color se realizaron siguiendo las directrices de la American Meat Science Association⁽¹⁷⁾. Se dejó que el LT floreciera a 2 o 3 °C durante unos 30 min antes de medir las variables instrumentales de color. Se utilizó un HunterLab® MiniScan EZ 4500L (Hunter Associates Laboratory, Reston, Virginia) con un observador de 10° y un tamaño de apertura de 25 mm, ajustado con el iluminante A, el componente especular excluido, y la escala CIELA. El espectrofotómetro se calibró antes de realizar las mediciones de color y a intervalos de 100 lecturas. Se tomaron un total de 3 a 4 lecturas de cada ML, en una región libre de depósitos de grasa o tejido conectivo. Los datos de color resultantes (luminosidad, L*; rojez, a*; amarillez, b*; tono, h*; croma, C*) se promediaron para realizar comparaciones estadísticas.

Se utilizaron los valores de pHu y L* para estimar la incidencia de la carne de vacuno de corte oscuro para cada tratamiento. Los criterios utilizados para identificar un corte oscuro fueron $\text{pHu} > 6,0^{(18)}$ y $L^* < 35^{(19)}$.

Para los análisis de la fuerza de corte Warner-Bratzler (WBSF) y de la pérdida de cocción, se tomó un filete de 2.5 cm de grosor del ML entre las costillas 10ª y 12ª. El filete se envasó al vacío y se añejó durante 11 días a 11°C. Al 12º día, se congeló a -18 °C durante unas 2 semanas y se descongeló lentamente a 4 °C durante 48 h antes de realizar los análisis. Tanto la pérdida de cocción como el análisis WBSF se determinaron de acuerdo con las Directrices de Investigación de la Asociación Americana de Ciencias de la Carne para la cocción, la evaluación sensorial y las mediciones instrumentales de la terneza de la carne fresca⁽²⁰⁾, como se ha descrito anteriormente⁽²¹⁾.

Análisis estadístico

El efecto de la suplementación con ZH sobre los rasgos de la canal y la calidad de la carne se comprobó mediante un análisis de varianza de una vía. Se utilizó el procedimiento del Modelo Lineal General del software Statgraphics Centurion XV, versión 15.2.05 para Windows (Statpoint Technologies Inc., Warrenton, VA). El peso inicial, el grado de genotipo de *B. indicus* y la edad de sacrificio no difirieron entre los tratamientos. Por lo tanto, estas variables no se consideraron como fuentes de variación en el modelo. Cuando se detectaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos, las medias se diferenciaron mediante el procedimiento de rango de Tukey. Para las variables de proporción, se realizó una prueba de Ji cuadrada con la finalidad de determinar si había asociación entre estas variables y los tratamientos.

Resultados y discusión

La suplementación del alimento con ambas marcas de ZH mejoró significativamente la mayoría de los rasgos de rendimiento de la canal en comparación con el grupo testigo (Cuadro 2). Por término medio, las canales de los toros suplementados con ZH eran de 6 a 8 kg más pesadas que las de los animales no tratados. También tuvieron mayores áreas ML y produjeron casi 10 kg más de carne magra que los toros alimentados con la dieta basal. Entre las dos variables de engrasamiento de la canal, el RPC fue menor con el tratamiento ZHg ($P = 0.0169$). Sin embargo, el grado de rendimiento USDA fue similar en ambos tratamientos ZH, y más bajo en comparación con el grupo testigo. Esto es coherente con el mayor contenido de carne magra de las canales de los animales suplementados con ZH, que dio lugar a una mayor proporción de grado de rendimiento 1 del USDA en ambos tratamientos con ZH (Figura 1). En general, los rasgos de rendimiento de la canal entre las marcas de ZH fueron comparables.

Cuadro 2: Efecto de la suplementación con ZH en los rasgos relacionados con el rendimiento de las canales de los toros

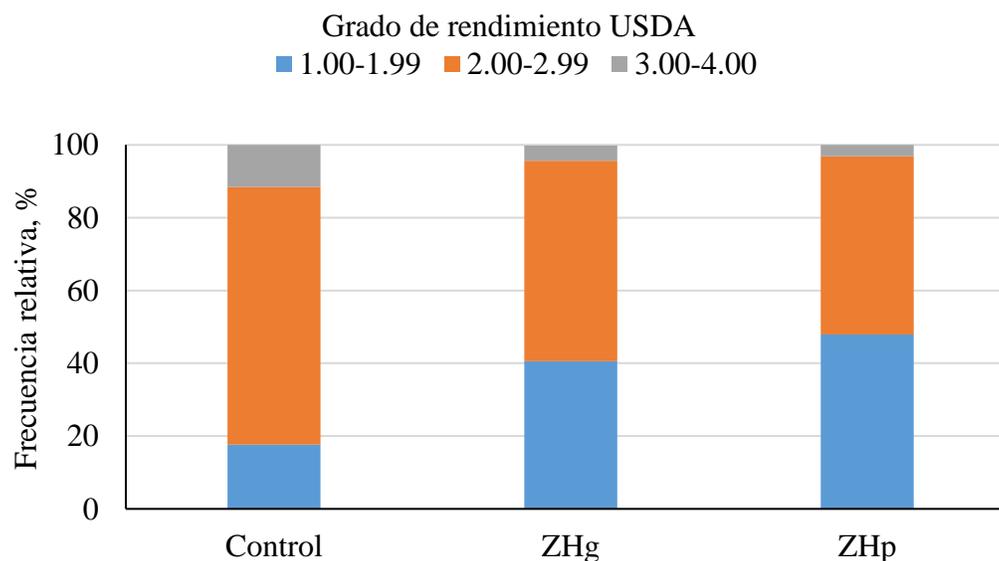
Variable	Tratamientos ¹			SEE ²	Valor de P
	Testigo n=96	ZHg n=96	ZHp n=96		
Peso vivo inicial, kg	466.44	464.97	465.80	15.40	0.8032
Peso al sacrificio, kg	511.28	518.80	513.60	24.05	0.0872
Peso de la canal en caliente, kg	311.48 ^a	319.96 ^b	317.22 ^b	17.00	0.0023
Carne magra, kg	181.42 ^a	191.42 ^b	189.68 ^b	12.98	<0.0001
Área de <i>Longissimus</i> , cm ²	69.17 ^a	75.53 ^b	76.89 ^b	10.63	<0.0001
Espesor de la grasa dorsal, cm	0.40	0.35	0.40	0.19	0.0562
Grasa renal, pélvica y cardíaca, %	1.68 ^b	1.49 ^a	1.58 ^{ab}	0.46	0.0169
Grado de rendimiento USDA	2.42 ^b	2.07 ^a	2.06 ^a	0.53	<0.0001

¹ Tratamientos: testigo, sin suplementación con ZH; ZHg, ZH genérico (Zipamix®) a 6 ppm en la dieta durante 30 d; ZHp, ZH de patente (Zilmax®) a 6 ppm en la dieta durante 30 d.

² Error estándar de estimación.

^{a,b} Las medias con diferente superíndice dentro de una misma fila son diferentes ($P < 0.05$).

Figura 1: Frecuencia relativa del grado de rendimiento USDA en las canales de toros jóvenes sin suplementación con ZH (testigo) o suplementados con una formulación genérica de ZH (ZHg, Zipamix®) o una formulación patentada de ZH (ZHp, Zilmax®) a 6 ppm en la dieta durante 30 días (n=96 por tratamiento)



Estos resultados son coherentes con estudios anteriores que documentan un efecto positivo de la suplementación con ZH en los rasgos de la canal del ganado *B. taurus*^(22,23). En general, los resultados también son coherentes con informes anteriores que documentan un efecto

similar de diferentes marcas de ZH sobre los rasgos de la canal de los toros *B. indicus*⁽¹⁰⁾ y los corderos⁽²⁴⁾. Sin embargo, los resultados de este trabajo no apoyan las observaciones anteriores de un efecto limitado de la suplementación con ZH en el adelgazamiento de la canal del ganado *B. indicus*⁽²⁾. Esto podría explicarse en parte por las diferencias en el tamaño de la muestra, la composición de la dieta basal, así como los criterios de selección de los animales entre los experimentos, entre otros factores. Además, se sometieron a los toros a un periodo de adaptación de 2 meses previamente al ensayo, en lugar del periodo de 7 días utilizado por Avendaño-Reyes *et al*⁽²⁾, lo que puede haber producido resultados diferentes.

Los cambios inducidos por la suplementación con ZH en los rasgos de calidad de la canal fueron menos pronunciados (Cuadro 3). Por ejemplo, el ZH dietético no afectó al puntaje de marmoleo ($P=0.4991$). En promedio, éste se mantuvo en alrededor de 300 (categoría leve) en todos los tratamientos, lo que es típico de las canales de toros de los trópicos. En cambio, los valores numéricos de la madurez general fueron significativamente inferiores ($P=0.0217$) en las canales de los toros suplementados con ZH en comparación con que en los del grupo testigo. Estas diferencias, sin embargo, carecen de importancia práctica, ya que la madurez global media de todos los tratamientos correspondía a la categoría A, que es la típica de los animales jóvenes. Además, el grado de calidad USDA promedio para todos los tratamientos correspondió a una categoría de calidad entre "Estándar" y "Selecta". De hecho, alrededor del 90% de las canales de todos los tratamientos fueron clasificadas como estándar o selectas (Figura 2). En general, al igual que lo observado para los rasgos relacionados con el rendimiento, los resultados de los rasgos de calidad de la canal fueron similares para ambas marcas de ZH.

Cuadro 3: Efecto de la suplementación con ZH en los rasgos relacionados con la calidad de las canales de los toros

Variable	Tratamiento ¹			SEE ²	Valor de P
	Testigo n=96	ZHg n=96	ZHr n=96		
Puntaje de marmoleo ³	305.10	303.23	291.77	84.73	0.4991
Madurez general ⁴	136.26 ^b	116.46 ^a	116.17 ^a	56.16	0.0217
Grado de calidad ⁵	538.46	563.54	556.38	81.55	0.0993

¹Tratamientos, testigos: sin suplementación con ZH, ZHg: ZH genérico (Zipamix®) a 6 ppm en la dieta durante 30 d, ZHp: ZH de patente (Zilmax®) a 6 ppm en la dieta durante 30 d.

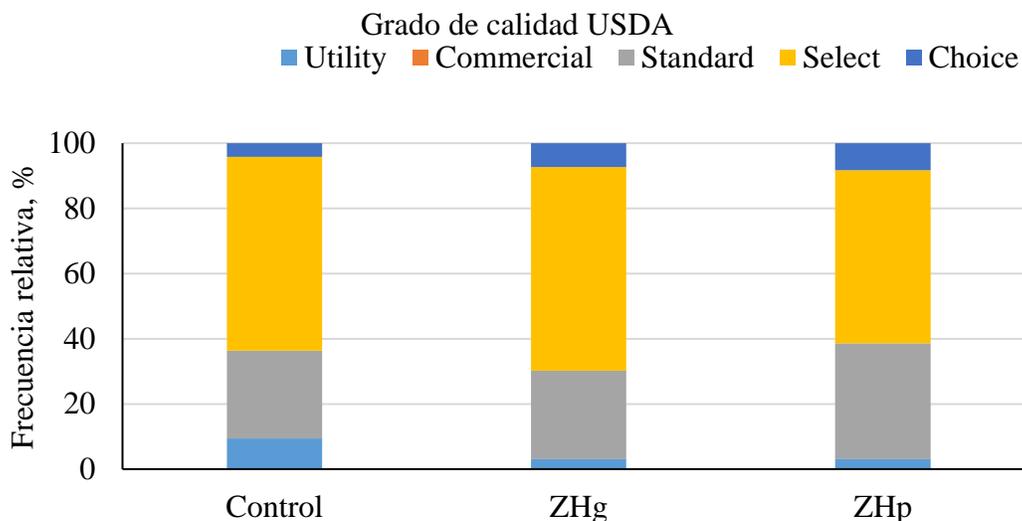
²Error estándar de estimación. Las medias con distinto superíndice dentro de una misma fila son diferentes ($P<0.05$).

³200=Trazas, 300=Ligero, 400=Pequeño.

⁴100-199=Madurez A; 200-299= Madurez B; 300-399= Madurez C.

⁵Utilitaria=300, Comercial=400, Estándar=500, Selecta=600, Preferida=700, Óptima=800.

Figura 2: Frecuencia relativa del grado de calidad USDA en las canales de toros jóvenes sin suplementación de ZH (testigo) o suplementados con una formulación genérica de ZH (ZHg, Zipamix ®) o una formulación patentada de ZH (ZHp, Zilmax ®) a 6 ppm en la dieta durante 30 d (n=96 por tratamiento)



Se ha sugerido que la ligera reducción de los puntajes de marmoleo inducida por la suplementación con ZH no es suficiente para modificar el grado de calidad de la canal en el ganado *B. taurus*⁽²⁵⁾. Esto también es aplicable al presente experimento, considerando que los toros *B. indicus* producen canales más magras y de menor calidad. En general, estos resultados apoyan los hallazgos anteriores que documentan un efecto limitado de la suplementación con ZH sobre los atributos de calidad de la canal^(2,26-28).

En cuanto a los atributos de calidad de la carne (Tabla 4), la carne de vacuno de todos los tratamientos tenía valores similares de WBSF ($P=0.1507$). A pesar de que la carne fue añejada durante 11 días, el valor de WBSF se mantuvo bastante por encima de 45 N, lo que es típico de la carne dura⁽²⁹⁾, un fenómeno que se observa con frecuencia en el ganado suplementado con ZH. La carne de todos los tratamientos tenía valores de WBSF similares⁽³⁰⁻³²⁾. Además, en esta investigación participaron toros jóvenes con un fuerte fondo genético de *B. indicus*, que se sabe que producen una carne más dura en comparación con otras categorías de sexo y/o raza⁽³³⁻³⁵⁾. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las diferencias en el valor de WBSF entre los músculos están bien documentadas⁽³⁶⁻³⁸⁾. Los valores de WBSF que se presentan aquí se limitan al músculo *LT* cocinado a 70 °C (bien cocido) y sometido a 11 días de añejamiento. Se ha demostrado que la terneza de la carne puede diferir si se consideran otros músculos, tiempos de añejamiento más largos o una temperatura de cocción final diferente^(32,39,40).

Cuadro 4: Efecto de la suplementación con ZH en los atributos de calidad de la carne de los toros

Variable	Tratamientos ¹			SEE ²	Valor de P
	Testigo n=96	ZHg n=95	ZHp n=93		
Pérdida por cocción, %	25.10	25.48	25.51	5.99	0.8704
Fuerza de corte WB, N	59.70	64.16	63.61	17.26	0.1507
L*	40.40	39.88	39.66	3.72	0.3654
a*	28.91 ^b	28.03 ^a	27.70 ^a	2.84	0.0099
b*	20.65 ^b	19.68 ^a	19.02 ^a	2.82	0.0003
C*	35.53 ^b	34.27 ^a	33.62 ^a	3.85	0.0024
h*	35.43 ^b	34.86 ^a	34.40 ^a	1.83	0.0006
pHu	5.78 ^a	5.81 ^b	5.89 ^b	0.23	0.0022

¹Tratamientos, testigos: sin suplementación con ZH, ZHg: ZH genérico (Zipamix®) a 6 ppm en la dieta durante 30 d, ZHp: ZH de patente (Zilmax®) a 6 ppm en la dieta durante 30 d.

²Error estándar de estimación.

^{a,b} Las medias con distinto superíndice dentro de una misma fila son diferentes ($P < 0.05$).

La pérdida por cocción también fue similar en todos los tratamientos (alrededor del 25 %), que es del orden de la observada en los músculos magros^(41,42). Una vez más, estos resultados pueden cambiar si se consideran otros métodos de cocción y temperaturas finales específicas, como se demostró anteriormente^(43,44).

El pH final fue mayor en la carne de los animales suplementados con ZH en comparación con la de los animales no tratados ($P=0.0022$). Esto puede ser una ventaja desde el punto de vista del procesamiento de la carne, ya que los valores de pH más altos están asociados con una mejor capacidad de retención de agua⁽⁴⁵⁾. Sin embargo, la media del pHu en todos los tratamientos está dentro del intervalo típico de la "calidad normal" de la carne de vacuno⁽⁴⁶⁾.

Entre las variables instrumentales de color, sólo la L* no se vio afectada por la suplementación de ZH ($P=0.3654$). Por el contrario, ambas marcas ZH redujeron la rojez (a*) y la amarillez (b*) de la carne, lo que dio lugar a un color rojo menos vivo, como muestran los valores C* y h* más bajos. Según una investigación reciente⁽⁴⁷⁾, es poco probable que estas diferencias tengan implicaciones económicas, ya que los consumidores mexicanos aprecian la carne de vacuno de color rojo claro.

La carne de vacuno de corte oscuro tiene una gran importancia económica. Si bien la frecuencia de los cortes oscuros observada aquí es mayor que la reportada en otros lugares^(48,49), no hay pruebas que apoyen que se deba a la suplementación con ZH. De hecho, el porcentaje de carne de corte oscuro fue similar en todos los tratamientos ($\chi^2=3,6$; $P=0.1661$), con una tasa de 6.3 para el grupo testigo, 7.4 para el de ZHg y 8.3 % para el de

ZHp. Por lo tanto, las tasas más altas en relación con otros ensayos están probablemente asociadas a las diferencias en las prácticas de producción, los procedimientos de manipulación antes del sacrificio y los criterios utilizados para clasificar las canales como oscuras.

Conclusiones e implicaciones

En general, los resultados mostraron que la suplementación con ZH en la dieta de toros *B. indicus* jóvenes en condiciones tropicales mejora la mayoría de las características de rendimiento de la canal sin comprometer los atributos de calidad de la canal o de la carne. Estos efectos son similares para las dos marcas de ZH probadas aquí cuando se administran durante 30 días antes del sacrificio. Por lo tanto, los productores de carne de vacuno tropical pueden utilizar la formulación ZH de menor coste para mejorar su productividad.

Literatura citada:

1. FAO. Overview of the world meat market. <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/background.html>. Accessed May 15, 2019.
2. Avendaño-Reyes L, Meraz F, Pérez C, Figueroa F, Correa A, Álvarez F, Guerra J, López G, Macias U. Evaluation of the efficacy of Grofactor, a beta-adrenergic agonist based on zilpaterol hydrochloride, using feedlot finishing bulls. *J Anim Sci* 2016;94:2954-2961.
3. Shook JN, VanOverbeke DL, Kinman LA, Krehbiel CR, Holland BP, Streeter MN, Yates DA, Hilton GG. Effects of zilpaterol hydrochloride and zilpaterol hydrochloride withdrawal time on beef carcass cutability, composition, and tenderness1. *J Anim Sci* 2009;87(11):3677-3685.
4. Strydom PE, Frylinck L, Montgomery JL, Smith MF. The comparison of three β -agonists for growth performance, carcass characteristics and meat quality of feedlot cattle. *Meat Sci* 2009;81(3):557-564.
5. Castellanos-Ruelas AF, Rosado-Rubio JG, Chel-Guerrero LA, Betancur-Ancona DA. Using zilpaterol in an intensive feeding system for steers in Yucatán, México. *Arch Latinoam Prod Anim* 2006;14:56-59.
6. Mendez RD, Meza CO, Berruecos JM, Garces P, Delgado EJ, Rubio MS. A survey of beef carcass quality and quantity attributes in Mexico. *J Anim Sci* 2009;87(11):3782-3790.

7. Martínez-Vázquez DE, Sánchez-López E, Avendaño-Reyes L, Meráz-Murillo FJ, Torres-Rodríguez V. Economic evaluation of the use of two β -adrenergic agonists on finishing feedlot steers. *Interciencia* 2016;41(2):98-102.
8. Longo Joachin PA, Vargas Orellana CR. Evaluación de dos presentaciones comerciales de clorhidrato de zilpaterol (Zilmax ®) y (GroFactor ®) como aditivos en la dieta para finalización de toretes confinados. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras . 2017.
9. SNIIM. Comentarios de Mercado Pecuarios. Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. <http://www.secofi-sniim.gob.mx/nuevo/>. Consultado 15 May, 2019.
10. Nieto-Carmona A, Aguilar-Acevedo J, Rubio-Lozano MS, Alvarado-García PA, Tapia G, Ocampo-Camberos L, Sumano H. Non-inferiority trial of two commercial zilpaterol HCl brands in *Bos indicus* cattle under humid tropical conditions. *Veter México OA* 2018;5(2).
11. SAGARPA. Trato humanitario en la movilización de animales. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4870842&fecha=23/03/1998. Consultado 15 May, 2019.
12. SAGARPA. Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5405210&fecha=26/08/2015. Consultado 15 May, 2019.
13. Djuragic O, Levic J, Sredanovic S, Levic L. Evaluation of homogeneity in feed by method of microtracers®. *Archiva Zootechnica* 2009;12(4):85-91.
14. SAGARPA. Especificaciones zoosanitarias para la construcción y equipamiento de establecimientos para el sacrificio de animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/nom-008-zoo-1994>. Consultado 15 May, 2019.
15. SAGARPA. Proceso sanitario de la carne. <https://www.gob.mx/senasica/documentos/nom-009-zoo-1994>. Consultado 15 May, 2019.
16. USDA. United States Standards for Grades of Carcass Beef. USDA Agricultural Marketing Service. Livestock and Seed Division <https://www.ams.usda.gov/rules-regulations/united-states-standards-grades-carcass-beef-0>. Accessed May 15, 2019.

17. AMSA. Meat color measurement guidelines. American Meat Science Association. <http://www.meatscience.org/publications-resources/printed-publications/amsa-meat-color-measurement-guidelines>. Accessed May 5, 2018.
18. Mounier L, Dubroeuq H, Andanson S, Veissier I. Variations in meat pH of beef bulls in relation to conditions of transfer to slaughter and previous history of the animals. *J Anim Sci* 2006;(84):1567-1576.
19. Holman BW, van de Ven RJ, Mao Y, Coombs CE, Hopkins DL. Using instrumental (CIE and reflectance) measures to predict consumers' acceptance of beef colour. *Meat Sci* 2017;127:57-62.
20. AMSA. Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat. Second edition (version 1.0). Champaign, IL: American Meat Science Association. <http://www.meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/amsa-sensory-and-tenderness-evaluation-guidelines/research-guide/2015-amsa-sensory-guidelines-1-0.pdf?sfvrsn=6>. Accessed May 14, 2019.
21. Delgado-Suárez EJ, Rubio-Lozano MS, Toledo-López VM, Torrescano-Urrutia GR, Ponce-Alquicira E, Huerta-Leidenz N. Quality traits of pork *semimembranosus* and *triceps brachii* muscles sourced from the United States and Mexico. *Meat Sci* 2016;122:125-131.
22. Baxa TJ, Hutcheson JP, Miller MF, Brooks JC, Nichols WT, Streeter MN, Yates DA, Johnson BJ. 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* 2010;88(1):330-337.
23. Kononoff PJ, Defoor PJ, Engler MJ, Swingle RS, James ST, Deobald HM, Deobald JL, Marquess FLS. Impact of a leptin single nucleotide polymorphism and zilpaterol hydrochloride on growth and carcass characteristics in finishing steers. *J Anim Sci* 2013;91(10):5011-5017.
24. Rivera-Villegas A, Estrada-Angulo A, Castro-Perez BI, Urias-Estrada JD, Rios-Rincon FG, *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.
25. Montgomery JL, Krehbiel CR, Cranston JJ, Yates DA, Hutcheson JP, Nichols WT, *et al.* Dietary zilpaterol hydrochloride. I. Feedlot performance and carcass traits of steers and heifers. *J Anim Sci* 2009;87(4):1374-1383.
26. Parr SL, Chung KY, Galyean ML, Hutcheson JP, Dilorenzo N, Hales KE, May ML, Quinn MJ, Smith DR, Johnson BJ. Performance of finishing beef steers in response to

- anabolic implant and zilpaterol hydrochloride supplementation¹. J Anim Sci 2011;89(2):560-570.
27. Holland BP, Krehbiel CR, Hilton GG, Streeter MN, Vanoverbeke DL, Shook JN, *et al.* Effect of extended withdrawal of zilpaterol hydrochloride on performance and carcass traits in finishing beef steers. J Anim Sci 2010;88(1):338-348.
 28. McEvers TJ, Nichols WT, Hutcheson JP, Edmonds MD, Lawrence TE. Feeding performance, carcass characteristics, and tenderness attributes of steers sorted by the Igenity tenderness panel and fed zilpaterol hydrochloride. J Anim Sci 2012;90(11):4140-4147.
 29. Belew JB, Brooks JC, McKenna DR, Savell JW. Warner–Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles. Meat Sci 2003;64(4):507-512.
 30. Hope-Jones M, Strydom PE, Frylinck L, Webb EC. The efficiency of electrical stimulation to counteract the negative effects of β -agonists on meat tenderness of feedlot cattle. Meat Sci 2010;86(3):699-705.
 31. Claus HL, Dikeman ME, Murray L, Brooks JC, Shook J, Hilton GG, *et al.* Effects of supplementing feedlot steers and heifers with zilpaterol hydrochloride on Warner–Bratzler shear force interrelationships of steer and heifer *longissimus lumborum* and heifer *triceps brachii* and *gluteus medius* muscles aged for 7, 14 and 21 d. Meat Sci 2010;85(2):347-355.
 32. Chávez A, Pérez E, Rubio MS, Méndez RD, Delgado EJ, Díaz D. Chemical composition and cooking properties of beef forequarter muscles of Mexican cattle from different genotypes. Meat Sci 2012;91(2):160-164.
 33. Rubio LM, Mendez MR, Huerta-Leidenz N. Characterization of beef *semimembranosus* and *adductor* muscles from US and Mexican origin. Meat Sci 2007;76(3):438-43.
 34. Marti S, Realini CE, Bach A, Pérez-Juan M, Devant M. Effect of castration and slaughter age on performance, carcass, and meat quality traits of Holstein calves fed a high-concentrate diet. J Anim Sci 2013;91(3):1129-1140.
 35. González-Ríos H, Dávila-Ramírez JL, Peña-Ramos EA, Valenzuela-Melendres M, Zamorano-García L, Islava-Lagarda TY, Valenzuela-Grijalva NV. Dietary supplementation of ferulic acid to steers under commercial feedlot feeding conditions improves meat quality and shelf life. Anim Feed Sci Technol 2016;222:111-121.
 36. Nelson JL, Dolezal HG, Ray FK, Morgan JB. Characterization of certified Angus beef steaks from the round, loin, and chuck. J Anim Sci 2004;82:1437-1444.

37. Rhee MS, Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M. Variation in palatability and biochemical traits within and among eleven beef muscles. *J Anim Sci* 2004;82:534-550.
38. Searls GA, Maddock RJ, Wulf DM. Intramuscular tenderness variation within four muscles of the beef chuck. *J Anim Sci* 2005;83:2835-2842.
39. Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M. Tenderness classification of beef: III. Effect of the interaction between end point temperature and tenderness on Warner-Bratzler shear force of beef *longissimus*. *J Anim Sci* 1999;77(2):400-407.
40. King DA, Wheeler TL, Shackelford SD, Koohmaraie M. Comparison of palatability characteristics of beef *gluteus medius* and *triceps brachii* muscles. *J Anim Sci* 2009;87(1):275-284.
41. Jeremiah LE, Dugan MER, Aalhus JL, Gibson LL. Assessment of the chemical and cooking properties of the major beef muscles and muscle groups. *Meat Sci* 2003;65(3):985-992.
42. Vieira C, Diaz MT, Martínez B, García-Cachán MD. Effect of frozen storage conditions (temperature and length of storage) on microbiological and sensory quality of rustic crossbred beef at different states of ageing. *Meat Sci* 2009;83(3):398-404.
43. Yancey JW, Wharton MD, Apple JK. Cookery method and end-point temperature can affect the Warner-Bratzler shear force, cooking loss, and internal cooked color of beef *longissimus* steaks. *Meat Sci* 2011;88(1):1-7.
44. Walsh H, Martins S, O' Neill EE, Kerry JP, Kenny T, Ward P. The effects of different cooking regimes on the cook yield and tenderness of non-injected and injection enhanced forequarter beef muscles. *Meat Sci* 2010;84(3):444-448.
45. Huff-Lonergan E. 6 - Fresh meat water-holding capacity. In: Kerry JP, Ledward D editors. 6 - Fresh meat water-holding capacity. Woodhead Publishing; 2009:147-160.
46. Holdstock J, Aalhus JL, Uttaro BA, Lopez-Campos O, Larsen IL, Bruce HL. The impact of ultimate pH on muscle characteristics and sensory attributes of the *longissimus thoracis* within the dark cutting (Canada B4) beef carcass grade. *Meat Sci* 2014;98(4):842-849.
47. Ngapo TM, Brana VD, Rubio LMS. Mexican consumers at the point of meat purchase. Beef choice. *Meat Sci* 2017;134:34-43.
48. Montgomery JL, Krehbiel CR, Cranston JJ, Yates DA, Hutcheson JP, Nichols WT, *et al.* Effects of dietary zilpaterol hydrochloride on feedlot performance and carcass characteristics of beef steers fed with and without monensin and tylosin. *J Anim Sci* 2009;87(3):1013-1023.

49. Loneragan GH, Thomson DU, Scott HM. Increased mortality in groups of cattle administered the β -Adrenergic agonists ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride. PLoS ONE 2014;9(3):e91177.