

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

EFFECTO DE LA MADURACIÓN DE LA CARNE DE BOVINOS  
FINALIZADOS CON CLORHIDRATO DE ZILPATEROL (DE  
REFERENCIA Y GENÉRICO) SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE  
CALIDAD DE LA MISMA.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA

PRESENTA

JENNIFER GALLEGOS HERNÁNDEZ

Asesor:

DRA. MARÍA SALUD RUBIO LOZANO

Ciudad Universitaria, Cd. Mx.

2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

A mi abuelita Paula y mi mamá, gracias por siempre apoyarme, por su amor y tiempo, por creer en mi y hacerme la persona que hoy en día soy.

Las amo.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a la UNAM y a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia que me permitieron estudiar la carrera que siempre quise y poder cumplir mi mayor sueño, ser veterinaria.

A cada uno de los maestros que tuve a lo largo de la carrera por compartir sus conocimientos, experiencias y consejos.

A todos mis compañeros de la carrera y en especial a los que se volvieron mis amigos, gracias por las risas, por compartir los momentos de estrés y por estar siempre ahí, este camino no hubiera sido igual sin ustedes.

A mi mamá por ser un ejemplo a seguir, por su confianza y apoyo incondicional, por los buenos y bonitos ratos que comparto contigo. Te amo mamá.

A mi abuelita Paula que más que una abuela es una madre para mí, por siempre preocuparse, siempre estar ahí, por sus consejos, apoyo y amor. Eres la mejor abuela del mundo.

A mi hermano Daniel que es un excelente chef y a pesar de ser muy diferentes siempre estaré para él.

A todos los animales que contribuyeron con mi aprendizaje en la carrera y que hicieron que esta pasión y amor por ellos creciera, en especial a Canela, Connie<sup>+</sup>, Misha<sup>+</sup>, Duva y Ámbar por demostrar siempre su cariño y amor incondicional, por siempre recibirme con emoción, alegría y acompañarme a lo largo de mi vida.

Al Laboratorio de ciencias de la carne y a las excelentes personas que conocí ahí, que más que compañeros se volvieron mis amigos, gracias por el aprendizaje y por el apoyo en mi proyecto.

A los miembros del jurado por su tiempo, por las revisiones, correcciones y aportaciones a este trabajo.

A mi tutora la Dra. María Salud, por la confianza, paciencia en las correcciones y todo lo aprendido gracias a usted en ciencias de la carne, por ser un ejemplo a seguir y una persona admirable.

# CONTENIDO

	Página
1. Resumen.....	1
2. Introducción.....	2
2.1. Antecedentes.....	3
2.2. Clorhidrato de zilpaterol.....	5
2.3. Calidad de la carne.....	5
2.4. Hipótesis.....	7
2.5. Objetivo.....	8
3. Material y métodos.....	8
3.1. Preparación de muestras.....	9
3.2. Análisis fisicoquímicos.....	10
3.2.1. pH.....	10
3.2.2. Color.....	11
3.2.3. Pérdida de peso por cocción.....	12
3.2.4. Capacidad de retención de agua.....	13
3.2.5. Fuerza de corte Warner Bratzler (WBSF).....	14
3.2.6. Evaluación sensorial.....	15
3.3. Análisis estadístico.....	16
4. Resultados y discusión.....	16
4.1. Efecto de los tratamientos de CIZi sobre las características físicas y químicas de la carne.....	16
4.2. Efecto de los días de maduración sobre las características físicas y químicas de la carne.....	22
4.3. Efectos de la interacción entre maduración y tratamientos sobre las características físicas y químicas de la carne.....	24
4.4. Efecto de los tratamientos de CIZi sobre las características sensoriales de la carne.....	28
5. Conclusión.....	30
6. Referencias.....	31

## RESUMEN

GALLEGOS HERNÁNDEZ JENNIFER. Efecto de la maduración de la carne de bovinos finalizados con clorhidrato de zilpaterol (de referencia y genérico) sobre las características de calidad de la misma. Bajo la dirección de: Dra. María Salud Rubio Lozano.

Los promotores de crecimiento son ampliamente usados en los corrales de engorda de la República Mexicana. En años recientes, la patente del clorhidrato de zilpaterol (CIZi) ha sido liberada y se diseñó este estudio para conocer si hay diferencias en la calidad de la carne de animales suplementados con CIZi genérico, de referencia y el grupo control (sin CIZi), y si a través de un periodo de maduración de 30 días post mortem en condiciones de refrigeración (0-4°C) se logra disminuir el impacto que tiene el uso de CIZi en el aumento de fuerza de corte y disminución de la suavidad de la carne. Noventa muestras de carne de bovinos en etapa de finalización, provenientes de Tabasco y Chiapas, de fenotipo cebú y con una edad entre 18 y 30 meses. El tratamiento se adicionó durante 30 días a la dieta con una dosis de 0.15mg/kg PV y al término, 3 días de retiro. No se encontraron diferencias significativas ( $p>0.05$ ) en fuerza de corte entre los tratamientos, ni en la capacidad de retención de agua (CRA), la pérdida de agua por cocción fue mayor en carne tratada con CIZi que la carne no tratada. La maduración aumentó la luminosidad ( $L^*$ ) y el color amarillo ( $b^*$ ) en la carne e influyó positivamente en la suavidad, disminuyendo la fuerza de corte un 28% después de 30 días de maduración en refrigeración (0-4°C).

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel del consumidor, las características más importantes al comprar un corte de carne fresca incluyen: calidad (sabor, terneza o blandura, apariencia y la estabilidad en el almacenamiento), consistencia (igualdad en apariencia de compra en compra, igualdad en palatabilidad de consumo a consumo), inocuidad (bacteriológica y química) y por último, el cuidado sobre el medio ambiente y bienestar animal de los productores<sup>1</sup>.

Los promotores de crecimiento como el clorhidrato de zilpaterol son ampliamente usados en los corrales de engorda de la República Mexicana, a pesar de que desde hace años se ha reportado la disminución de la terneza en la carne de animales tratados con clorhidrato de zilpaterol<sup>2,3,4</sup>, tanto en carne de ovinos como de ganado vacuno. Sin embargo, la afectación de la terneza disminuye con el aumento de la maduración post mortem y no afecta negativamente a la aceptación general de los consumidores, con una maduración de 14 días en condiciones de refrigeración a 2°C<sup>5</sup>. Por otro lado, se documentó que la alimentación con clorhidrato de zilpaterol a bovinos aumentó significativamente ( $P < 0.05$ ) los valores de Warner Bratzler fuerza de corte, WBSF, por sus siglas en inglés, en cualquiera de los periodos de maduración utilizados<sup>6</sup>. Los estudios realizados con clorhidrato de zilpaterol en el ganado de la República de Sudáfrica han demostrado que puede aumentar la fuerza de corte (WBSF) y disminuir las puntuaciones de terneza<sup>7,8</sup>. En estudios más recientes, en donde se compararon características de calidad en carne suplementada con ClZi de referencia y otro producto genérico,

los resultados de fuerza de corte y valores de color ( $L^*$   $a^*$   $b^*$ ), fueron similares en la carne con ambos tratamientos y el grupo no tratado<sup>9</sup>.

En años recientes, la patente del CIZi ha sido liberada, y el mercado ha sido abastecido de clorhidrato de zilpaterol genérico, por lo que se diseñó este estudio para conocer si hay diferencias en la calidad de la carne de animales que fueron suplementados con CIZi genérico, de referencia y el grupo control (sin CIZi), y si a través de un periodo de maduración de 30 días post mortem en condiciones de refrigeración (0-4°C) se logra disminuir el impacto que tiene el uso de CIZi en el aumento de fuerza de corte y disminución de la suavidad de la carne.

### **I.a. Antecedentes**

El crecimiento de la población aumenta la demanda de proteína de origen animal<sup>10</sup>. La producción de carne de vacuno está en aumento continuamente pero no lo suficiente para alimentar a los habitantes, por lo que es necesario volver más eficientes las operaciones ganaderas<sup>11</sup>. La búsqueda de técnicas de manejo que logren incrementar la producción y productividad del ganado destinado a la alimentación humana, puede en gran medida, hacer frente al déficit de proteína animal y evitar la necesidad de importar carne<sup>12</sup>.

En los animales, el ritmo de crecimiento y la eficacia para convertir el alimento se puede modificar mediante la administración de aditivos alimentarios llamados promotores de crecimiento y de la producción<sup>13</sup>. Dentro de estos promotores de crecimiento podemos citar el uso de los agonistas  $\beta$ -adrenérgicos<sup>14</sup>. A partir de 1948 se iniciaron los estudios sobre la eficiencia y mecanismos de acción de estos

productos<sup>15</sup> y ha sido de interés para los investigadores por más de 20 años<sup>16</sup>. Uno de los efectos de mayor importancia derivado de la administración de los agonistas  $\beta$ -adrenérgicos en el ganado es el aumento en la masa muscular, también pueden incrementar el flujo sanguíneo a ciertas regiones del cuerpo. Este aumento permite el proceso de hipertrofia en el músculo esquelético al transportar mayores cantidades de sustratos y fuentes de energía para la síntesis protéica. Disminuyen la cantidad de grasa de la canal y se produce un efecto repartidor de la misma<sup>13</sup>.

Cuando nos referimos a clorhidrato de zilpaterol de referencia, también llamado; de patente, está indicado por la Secretaría de Salud como tal y cuenta con el registro de dicha dependencia, que se encuentra disponible comercialmente y es seleccionado conforme a los criterios establecidos en las Normas. La patente es respetada por los países que tienen convenio para ello (entre ellos México) y tiene una duración máxima de 20 años. Cuando ésta expira, otros laboratorios pueden producir y comercializar este producto, pero ahora lo registran con otro nombre comercial y este es patentado<sup>17</sup>.

Y clorhidrato de zilpaterol genérico es el mismo fármaco o sustancia activa y forma farmacéutica, con igual concentración o potencia, que utiliza la misma vía de administración, aunque puede diferir en los excipientes, y que mediante las pruebas reglamentarias requeridas, ha comprobado que sus especificaciones farmacopeicas y disponibilidad son equivalentes a las del medicamento de referencia<sup>17</sup>.

### I.a.1. Clorhidrato de zilpaterol

El clorhidrato de zilpaterol (ClZi) es un agonista  $\beta$ -adrenérgico que fue aprobado para su uso en los Estados Unidos por el Centro de Medicina Veterinaria en el 2006<sup>18</sup>. En México se aprobó su uso hace más de 10 años para la finalización de bovinos<sup>19</sup>, pero el registro y uso comercial son aprobados en otros 25 países, como los Estados Unidos<sup>18</sup>, Canadá (Inspección de Alimentos de Canadá), Brasil, Colombia, Perú, la República de Sudáfrica, Kazajstán, Corea y otros<sup>20</sup>.

Este agonista  $\beta$ -adrenérgico es un análogo de las catecolaminas y ha demostrado mejorar la eficiencia en la conversión alimenticia por la estimulación de los receptores  $\beta_2$ -adrenérgicos en la superficie de las células y el rendimiento en canal<sup>21,22</sup>, aumentando la masa muscular magra y disminuyendo la deposición de grasa<sup>23,24,25</sup>. En el tejido muscular promueve la síntesis de proteínas y la hipertrofia celular por la inhibición de la proteólisis y en el tejido adiposo promueve la lipólisis<sup>22</sup>.

Es muy hidrosoluble, tiene buena absorción y se elimina rápidamente por orina. Su biodisponibilidad es del 50%. Los órganos blanco son el hígado y el riñón y los que presentan menores concentraciones son el músculo y el tejido adiposo. La dosis con la que se observan mejores resultados es de 0.15mg/Kg por 30 días<sup>13</sup>.

### I.a.2. Calidad de la carne

- Suavidad. La suavidad de la carne es la propiedad organoléptica más apreciada por los consumidores, es un componente de palatabilidad que puede variar considerablemente de un corte a otro<sup>26</sup> y es afectada por un gran número

de factores: edad, sexo, alimentación, pre-faena, post-faena y genética, así como situaciones de estrés y también factores relacionados con el manejo del frío durante la transformación del músculo en carne y maduración de la misma<sup>27</sup>. Algunas de las variaciones en suavidad pueden disminuirse mediante técnicas de manejo adaptadas a cada sistema de producción<sup>28,29</sup>.

La genética es un factor muy importante en la ternera de la carne, y debe ser considerado en este estudio porque el ganado *Bos indicus* (cebú), registra niveles elevados en la actividad de la calpastatina<sup>30,31</sup>, enzima que inhibe a la calpaina que es la responsable de la tiernización de la carne<sup>32</sup>.

De acuerdo con la literatura, el efecto del clorhidrato de zilpaterol en la dureza de la carne de ovino que no fue madurada durante más de 24 horas puede explicarse por diferentes factores, como la disminución de la grasa intramuscular<sup>4</sup>, el aumento en el diámetro de las fibras musculares o el aumento de la cantidad de tejido conectivo<sup>33</sup>.

- Color. El color es el factor de calidad más importante a la hora de la compra puesto que el consumidor lo utiliza como indicador de frescura. Los consumidores manifiestan una fuerte preferencia por aquellos productos de apariencia atractiva y el color es el primer atributo que se juzga de los productos<sup>34</sup>. El color rojo de la carne se debe principalmente a los hemopigmentos: la hemoglobina y la mioglobina (alrededor del 20% de los pigmentos totales del músculo)<sup>35</sup>.

Hoy en día existen diferentes herramientas para medir el color de forma objetiva, y son cada vez más precisas y de fácil interpretación. Una de éstas herramientas son los colorímetros, que están basados en la visión del ojo humano, son

dispositivos triestimulares (tres filtros) para cada longitud de onda: filtros rojo, verde y azul y en éstos equipos se encuentra el Hunter Lab<sup>34</sup>.

El parámetro L\* es la claridad, los valores van desde 0 (negro) a 100 (blanco); a\* corresponde a las tonalidades de rojo, donde los valores positivos corresponden al rojo y los negativos se acercan al verde; b\* mide el grado de amarillo, siendo amarillo los valores positivos y azules los negativos<sup>36</sup>.

- pH. El pH de la carne es una característica de mucha importancia para el procesador o envasador, desde un punto de vista tecnológico. El pH participa en las características organolépticas de la carne y su aptitud para la transformación en otros productos procesados, ya que tiene una influencia directa o indirecta sobre el color, la ternura, sabor, la capacidad de retención de agua y la conservación<sup>37</sup>.
- Capacidad de retención de agua (CRA). La CRA es definida como la cantidad de agua que es mantenida en la estructura de la carne al momento de cumplir algún proceso tecnológico, como maduración, porcionado, picado, congelación y cocción, sufriendo la menor merma en su peso<sup>38</sup>.

### **I.b. Hipótesis**

La carne de bovinos comerciales finalizados con clorhidrato de zilpaterol (genérico y de referencia) madurada en refrigeración (0-4°C) por 30 días no tendrá diferencias significativas en las características de calidad, a una dosis diaria de 0.15mg/kg por 30 días con 3 días de retiro.

## **I.c. Objetivo**

El objetivo de este estudio es conocer si existen diferencias en la calidad de la carne madurada por 30 días en refrigeración (0-4°C) en animales finalizados con CIZi de referencia y genérico, y si hay cambios de los mismos respecto al grupo control.

## **II. MATERIAL Y MÉTODOS**

Se utilizaron 90 muestras de bovinos en etapa de finalización, provenientes de Tabasco y Chiapas, con un peso vivo de entre 430-490 kg de fenotipo cebú y con una edad entre 18 y 30 meses. El tratamiento se adicionó durante 30 días a la dieta con una dosis de 0.15mg/kg PV y al término se dejaron 3 días de retiro. El alimento se brindó en dos raciones por día. Se evaluaron 30 muestras de animales suplementados con clorhidrato de zilpaterol de referencia, 30 muestras adicionadas con clorhidrato de zilpaterol genérico en la dieta y 30 más del grupo testigo.

El método de matanza y faenado, se llevó a cabo en un rastro Tipo Inspección Federal (TIF) de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas; NOM-033-SAG-ZOO-2014 “Métodos para dar muerte a los animales domésticos y silvestres” y NOM-008-ZOO-1994 “Especificaciones zoosanitarias para la construcción y equipamiento de establecimientos para el sacrificio de animales y los dedicados a la industrialización de productos cárnicos” y la carne fue tratada según la NOM-009-ZOO-1994 “Proceso sanitario de la carne”. La recolección de

muestras se hizo del músculo Longissimus dorsi (250 gramos) a nivel de la 12<sup>a</sup> costilla, obteniendo un total de 180 chuletas de las 90 muestras, 90 se procesaron a los 11 días de maduración y las otras 90 restantes a los 30 días de maduración conservándose en refrigeración (0-4° C) y empacadas al vacío en el Laboratorio de Ciencias de la Carne (LCC) FMVZ-UNAM. Por circunstancias ajenas al experimento, las muestras fueron enviadas desde el rastro de origen a los 10 días de la matanza, recibándose y procesándose las primeras 90 chuletas en el LCC el día 11, después del sacrificio de los animales.

### **II.a. Preparación de muestras**

El día que se recibieron las muestras (11 días post sacrificio), se cortaron las chuletas de cada muestra, aproximadamente de 1 pulgada de grosor (2.54cm)<sup>39</sup> y se identificaron. Se llevó a cabo el análisis de pH, color, capacidad de retención de agua (CRA) y fuerza de corte (WBSF) el mismo día de su llegada y las muestras restantes se mantuvieron en refrigeración (0-4°C) y empacadas al vacío hasta alcanzar los 30 días de maduración. Cuando llegaron a los 30 días de maduración se mantuvieron en congelación hasta que se realizó el mismo procedimiento que a los 11 días así como el análisis sensorial.

## II.b. Análisis físicos y químicos

### II.b.1. pH

Se realizó la medición de pH (Ilustración 2) de cada muestra por duplicado registrando el promedio de las dos lecturas, utilizando un potenciómetro HANNA HI 99163 con electrodo de penetración directamente en la carne (Ilustración 1), en sitios sin grasa, hueso o tejido conectivo; calibrando el potenciómetro cada 30 mediciones con amortiguadores pH 4.0 y pH 7.0.



Ilustración 2. Potenciómetro HANNA HI99163



Ilustración 1. Medición de pH en el músculo Longissimus dorsi utilizando el potenciómetro con electrodo de penetración

## II.b.2. Color ( $L^*$ $a^*$ $b^*$ )

El color se midió acorde con la técnica recomendada por la Asociación Americana de Ciencia de la Carne<sup>39</sup>. Las chuletas de cada muestra se dejaron oxigenar 30 minutos en refrigeración (0-4°C) antes de medir el color. Se utilizó el colorímetro HUNTER MiniScan EZ (Ilustración 3) calibrado a intervalos de 1 hora, tomando 3 lecturas de cada muestra (Ilustración 4) y registrando el promedio de las variables de color  $L^*$  (luminosidad)  $a^*$  (componente rojo) y  $b^*$  (componente amarillo).



Ilustración 3. Colorímetro HUNTER MiniScan EZ



Ilustración 4. Medición de color utilizando colorímetro

### II.b.3. Pérdida de peso por cocción

Se obtuvo por la diferencia de peso de la muestra antes y después de cocinarla y una vez que se enfrió. La cocción se llevó a cabo de acuerdo a las recomendaciones de la AMSA<sup>39</sup> (Ilustración 5). Se utilizó una parrilla precalentada a una temperatura mínima de 163°C. Se monitoreó la temperatura de cada muestra con un termómetro con sonda de penetración, colocado en el centro geométrico de la chuleta hasta alcanzar los 35°C, una vez alcanzada esa temperatura, se volteó la muestra y se retiró de la parrilla hasta que esta alcanzara los 70°C, dejándola enfriar a temperatura ambiente por 20 minutos y posteriormente registrar el peso.



Ilustración 5. Proceso de cocción de carne

#### II.b.4. Capacidad de retención de agua

Se utilizó el método de compresión en papel filtro<sup>40</sup>. Se pesaron  $0.30 \pm 0.03$  g de carne por duplicado de cada muestra en una balanza técnica con sensibilidad de 0.01 g, se utilizó papel filtro Whatman No. 1 e 110 mm. Se colocó la muestra en el centro del papel filtro y se dobló por la mitad, quedando entre dos placas de plexiglás (placa de acrílico que evita la absorción del exudado) se puso encima una pesa de 2 kg por 5 minutos y se retira la pesa. Al final se dibujó con plumón el contorno de la carne como del exudado y se midió el área ( $\text{cm}^2$ ) con un planímetro digital en una mesa nivelada (Ilustración 6).



Ilustración 6. Medición del área de la carne y exudado con un planímetro

### II.b.5. Fuerza de corte Warner Bratzler (WBSF)

Para realizar la fuerza de corte, el procedimiento de cocción fue el mismo explicado anteriormente para determinar la pérdida por cocción y al finalizar, las chuletas se dejaron enfriar a temperatura ambiente (20-25°C). Al alcanzar la carne una temperatura alrededor de los 12-14°C se realizó el corte de mínimo diez cilindros de 1.27 cm de diámetro, en el sentido longitudinal de las fibras musculares (Ilustración 8) utilizando un sacabocados adaptado para tal fin (Ilustración 7). Por último cada cilindro se sometió a un corte transversal (perpendicular a las fibras musculares) utilizando la cuchilla de Warner Bratzler<sup>39</sup> (Ilustración 9) para medir la fuerza de corte<sup>30</sup>, que nos indica el grado de suavidad o dureza de la carne.



Ilustración 8 Sacabocados adaptado Truper



Ilustración 7. Cilindros en sentido longitudinal a las fibras musculares



Ilustración 9. Cuchilla WBSF

### II.b.6. Evaluación sensorial

Las muestras de los tratamientos con CIZi y del control, con maduración de 30 días, fueron evaluadas por un panel de 73 consumidores, a los cuales se les pidió que calificaran el olor, sabor, suavidad, jugosidad y agrado general con una escala del 1 al 7 (donde 1 es me disgusta mucho y 7 me gusta mucho). De estos consumidores el 75.35% indicó consumir carne de res 1-2 veces por semana, 15% mencionó que la consume entre 1-2 veces por mes y el resto que la consume menos de una vez por mes.

La carne utilizada en las evaluaciones fue cocinada hasta llegar a una temperatura interna de 70°C, siguiendo los mismos procedimientos descritos para la técnica fuerza de corte. Una vez cocida la carne se le quitó la costra

exterior a cada chuleta y se cortaron trozos de 2cm<sup>3</sup>, los cuales se sirvieron inmediatamente a los consumidores.

Cada consumidor recibió tres muestras identificadas con códigos aleatorios. Se ofrecieron galletas con bajo contenido de sal como acarreador de sabor y agua para el enjuague bucal entre muestras.

### **a. Análisis estadístico**

El efecto del tratamiento (control, referencia y genérico) y los días de maduración (11 y 30) y las interacciones entre ambos fueron analizadas a través de un análisis de varianza simple, cuyos resultados fueron sometidos a un procedimiento de separación de medias, usando ANOVA en el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System). Los datos obtenidos de los análisis sensoriales se sometieron a un procedimiento no paramétrico de Kruskal-Wallis.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### ***1. Efecto de los tratamientos de ClZi sobre las características físicas y químicas de la carne.***

En el Cuadro 1 se observa que la carne de animales tratados con ClZi de referencia tuvo mayor pH que la carne de aquellos animales que no fueron tratados con ClZi, pero estadísticamente similar al pH de la carne de animales tratados con ClZi genérico. Estos resultados difieren de los de Avendaño et al. (2016), quien encontró que el pH tomado a los 14d post sacrificio no tuvo

diferencias significativas en ninguno de los tratamientos en ganado con predominancia cebú (75%) a una dosis de 0.15mg/Kg PV por 30 días, con 4 días de retiro.

Hilton et al. (2009) no encontró diferencias significativas en los valores de pH con animales tratados con ClZi y su grupo control, al igual que Partida et al. (2015) en ovinos a una dosis de 0.15mg/kg<sup>41</sup>. El pH en el músculo post mortem disminuye desde valores cercanos a 7 hasta 5.3-5.7 o 5.5-5.8, valores que son considerados normales<sup>42,43</sup>. La carne con valores de pH  $\geq 5.8$  generada por una baja reserva de glucógeno se considera corte oscuro. En este tipo de carne se afecta el color, de un rojo brillante, que es considerado como indicador de frescura para los consumidores, se vuelve rojo oscuro; además se aumenta la dureza debido a la inhibición de enzimas encargadas de la maduración, disminuye la vida de almacén por un mayor crecimiento microbiano y aumenta su capacidad de retención de agua. El sistema circulatorio provee de oxígeno y nutrimentos al tejido muscular, posterior al desangrado la única fuente de oxígeno para el metabolismo aerobio es aquel que se encuentra unido a la mioglobina y cuando el oxígeno se agota, el músculo adopta un metabolismo anaerobio, siendo la glucólisis la única vía para obtener energía. Conforme las reservas de glucógeno disminuyen, se va acumulando ácido láctico en el tejido muscular, lo que lleva a la reducción normal del pH<sup>42</sup>. A pesar de la diferencia que hubo de los resultados en el pH de la carne tratada con ClZi de referencia y el grupo control, los valores de pH en los tres tratamientos se encuentran dentro del rango que se considera normal, indicando que no se afectará el color, la suavidad, capacidad de retención de agua ni vida de almacén por pH elevados en ninguno de nuestros tratamientos.

La luminosidad de la carne no se vio afectada por los tratamientos con CIZi ( $p>0.05$ ), lo cual coincide con lo que Hilton et al. (2009) encontraron al utilizar una dosis de 8.3m/kg DM por 30 días con 5 de retiro, y difiere con Rogers et al. (2010), que en carne con CIZi se vieron afectados los valores de  $L^*$  siendo estos mayores en carne de animales tratados que la de los no tratados<sup>44</sup>. Estos resultados nos indican que la calidad visual no se vio afectada en ningún tratamiento en cuanto a luminosidad.

Los animales tratados con CIZi de referencia obtuvieron valores menores de componente rojo ( $a^*$ ) en el color de la carne, comparados a los del grupo control y a los del tratamiento con CIZi genérico. Hilton et al. (2009) obtuvieron como resultado una disminución de los valores de  $a^*$  y  $b^*$  en el tratamiento donde utilizó CIZi, lo contrario a Rogers et al. (2010) que obtuvo un aumento de valores de  $a^*$  en carne tratada con CIZi a 30 días que en la carne no tratada. Avedaño et al. (2006) mencionan que la suplementación con CIZi no afectó el color de la carne y que no hay evidencia fuerte que demuestre lo contrario.

En cuanto a los valores del componente amarillo ( $b^*$ ) en el color de la carne, los animales tratados con CIZi de referencia tuvieron valores más bajos que los animales no tratados. Por otro lado, la carne de los animales tratados con CIZi genérico no tuvo diferencias significativas con los otros tratamientos con respecto a los valores de  $b^*$  obtenidos. Rogers et al. (2010) no observó diferencias significativas en valores de  $b^*$  de carne de animales tratados con CIZi a 6.8g/ton a 0, 20, 30 y 40 días con 3 días de retiro en ganado *Bos taurus*. Cônsolo et al. (2016) con suplementación de CIZi a 8.3mg/kg DM en ganado *Bos indicus* por 30 días y 3 de retiro menciona que no fue afectado el color<sup>45</sup>.

Debido a que hay gran variabilidad en los resultados obtenidos en las diversas investigaciones acerca de los cambios en color de la carne de animales suplementados con ClZi, aun no se puede hacer una asociación directamente con el uso de este promotor de crecimiento. Según Rogers et al. (2010), las puntuaciones objetivas del colorímetro en diferencias con carne tratada con ClZi no pudieron ser observadas por el consumidor o por panelistas capacitados. Lo que nos indica que los cambios en color no fueron lo suficientemente significativos para que afecte la calidad visual de la carne para los consumidores.

**Cuadro 1. Efecto de los tratamientos con clorhidrato de zilpaterol (Genérico y referencia) y sin clorhidrato de zilpaterol, sobre el pH y color de la carne de novillos comerciales en confinamiento.**

<b>Variabes</b>	<b>pH</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>
Genérico	5.60±0.04 <sup>a,b</sup>	42.49±0.54 <sup>a</sup>	24.45±0.28 <sup>a</sup>	16.42±0.31 <sup>a,b</sup>
Referencia	5.70±0.04 <sup>a</sup>	41.41±0.54 <sup>a</sup>	23.54±0.28 <sup>b</sup>	15.74±0.31 <sup>a</sup>
Control	5.59±0.04 <sup>b</sup>	42.00±0.54 <sup>a</sup>	24.41±0.28 <sup>a</sup>	16.62±0.31 <sup>b</sup>

a,b. Valores con diferente superíndice tienen diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos.

\*Variables del color

Color: L\*= luminosidad; a\*= rojo; b\*= amarillo

En lo que se refiere a la pérdida de agua por cocción, el Cuadro 2 muestra que el tratamiento con ClZi, genérico y de referencia, provocó una menor pérdida de agua por cocción comparado con la carne de los animales no tratados. A diferencia de los resultados obtenidos por Leheska et al. (2009) y Kellermeier et al. (2009) en donde los valores de pérdida por cocción no fueron afectados en novillos con predominancia *Bos taurus* alimentados con zilpaterol a 8.3mg/kg 20 o

40 días y 30 días respectivamente. Dichos autores, también mencionan que la alimentación con CIZi aumenta el porcentaje de proteína y agua en la canal<sup>46,47</sup>. Un estudio realizado por Koohmaraie et al. (1991) en el que se hizo la cuantificación de la enzima endógena del músculo (calpaina) y de la proteína inhibidora de las enzimas (calpastatina), demostró que la alimentación con CIZi incrementa en un 24% la calpaina y en un 62% la calpastatina en corderos alimentados con agonistas  $\beta$  adrenérgicos y conforme aumentaron los días de maduración fue mayor el incremento de las calpastatinas<sup>48</sup>. La calpastatina es una proteína que inhibe la actividad de las calpaínas las cuales requieren concentraciones de calcio para su máxima activación. El sistema proteolítico de esta enzima es el responsable primario de la proteólisis post mortem que resulta en el ablandamiento de la carne<sup>43</sup>. Lo que nos puede indicar el resultado de la pérdida de agua por cocción es que al estar más íntegras las fibras musculares debido a una disminución en la proteólisis a causa del aumento de las calpastatinas por la alimentación con CIZi da como resultado una mayor retención de agua en la carne, por lo tanto una menor pérdida de agua por cocción.

El tratamiento con CIZi, en sus dos formas, no afectó ( $p>0.05$ ) a la capacidad de retención de agua ni la dureza de la carne, medida a través de la fuerza de corte Warner-Bratzler. Estos resultados son similares a los obtenidos en el estudio realizado por Avendaño et al. (2016) en donde los valores de fuerza de corte de animales tratados con CIZi genérico, de referencia y animales no tratados fueron similares a las 48 horas y 14 días post sacrificio a un tratamiento con CIZi de 0.15mg/Kg PV por 30 días con 4 días de retiro en ganado con predominancia cebú.

Sin embargo, los resultados de Leheska et al. (2009) difieren de los de este estudio, ya que obtuvieron un aumento del 22% en fuerza de corte en canales de razas *Bos taurus* con tratamientos de ClZi de 8.3mg/kg DM por 20 y 40 días de ClZi. También Morón et al. (2002) encontró un aumento de fuerza de corte de 52% más que el grupo control a una dosis de 125g/ton de una premezcla de ClZi al 4.5% en novillas con predominancia *Bos taurus*, por 30 días y 3 de retiro.

En diversos estudios se ha demostrado que la acción biológica del ClZi genera cambios en el diámetro de la fibra muscular. El aumento del tamaño de la fibra muscular nos da como resultado un mayor volumen total de proteínas a cortar y un aumento en la fuerza de corte<sup>47</sup>.

La fuerza de corte que se obtuvo en este estudio corresponde a carne dura, tomando en cuenta los valores obtenidos de Warner-Bratzler, en donde se considera carne muy suave a los que tienen una fuerza de corte <3.2 kg, suave 3.2 kg – 3.9 kg, intermedio 3.9 kg - 4.6 kg y por último considera carne dura a la carne que tiene una fuerza de corte >4.6 kg<sup>49</sup>. Aún con los valores de fuerza de corte obtenidos se debe tomar en cuenta la influencia que tiene el tipo racial y sexo de los animales en este experimento, que puede enmascarar el efecto del clorhidrato de zilpaterol en la suavidad de la carne.

La carne de animales *B. indicus* aumenta significativamente la fuerza de corte<sup>50,51</sup>, dando una carne menos tierna que animales *B. taurus* debido a una elevada actividad de la calpastatina<sup>51,52</sup>, y que los animales *Bos indicus* tienden a tener un menor marmoleo en la canal. Se dice que la suavidad aumenta casi linealmente a una menor proporción de encaste *B. indicus*<sup>51</sup>.

Los animales utilizados fueron machos sin castrar, esta condición ha sido relacionada con la producción de carne más dura ya que la cantidad de colágeno soluble disminuye en machos enteros comparada con la carne de animales castrados<sup>53</sup>.

**Cuadro 2. Efecto de los tratamientos con Clorhidrato de Zilpaterol (Genérico, referencia y control) sobre la capacidad de retención de agua (CRA), pérdida de agua por cocción (PPC) y fuerza de corte (WBSF) de la carne de novillos comerciales en confinamiento.**

<b>Variables</b>	<b>CRA</b>	<b>PPC</b>	<b>WBSF</b>
Genérico	35.86±0.85 <sup>a</sup>	26.35±0.58 <sup>a</sup>	5.50±0.18 <sup>a</sup>
Referencia	36.14±0.85 <sup>a</sup>	25.92±0.58 <sup>a</sup>	5.45±0.18 <sup>a</sup>
Control	36.22±0.85 <sup>a</sup>	28.00±0.58 <sup>b</sup>	5.67±0.18 <sup>a</sup>

a,b. Valores con diferente superíndice tienen diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos.

## ***2. Efecto de los días de maduración sobre las características físicas y químicas de la carne.***

En el Cuadro 3 se analiza el efecto de la maduración sobre los valores de pH y color. Los valores de pH en la carne disminuyeron a los 30 días de maduración respecto al que presentaron con 11 días. La luminosidad y el color amarillo en la carne aumentaron a los 30 días de maduración y no hubo cambios en valores de color rojo (a\*).

La acidificación post mortem afecta las propiedades estructurales de la carne (acortamiento de las miofibrillas), modificando la refracción de la luz, ya que se forma una barrera entre el sarcoplasma y las miofibrillas. Al tener estas estructuras índices de refracción diferentes provoca que la luz se disperse más ocasionando que la carne presente una mayor palidez, debido al menor volumen de miofibrillas que provoca una máxima dispersión de la luz. Cuando se presenta una gran dispersión de la luz, la cantidad de luz absorbida es baja y la importancia de los hemopigmentos en el color se reduce, ya que dejan de absorber luz. Esto nos indica que la intensidad del color de la carne, además de la presencia de hemopigmentos, depende del estado de la superficie del músculo, el cual se ve afectado por la acidificación del pH post mortem<sup>43</sup>.

**Cuadro 3. Efecto de la maduración en refrigeración (0-4°C) por 11 y 30 días sobre el pH y color de la carne de novillos comerciales en confinamiento.**

Variables	pH	L*	a*	b*
11 días	5.77±0.03 <sup>a</sup>	40.55±0.44 <sup>a</sup>	24.05±0.23 <sup>a</sup>	15.82±0.26 <sup>a</sup>
30 días	5.49±0.03 <sup>b</sup>	43.36±0.44 <sup>b</sup>	24.22±0.23 <sup>a</sup>	16.69±0.26 <sup>b</sup>

a,b Valores con diferente superíndice tienen diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre días de maduración.

En el Cuadro 4 se observa el efecto que tuvo la maduración con respecto a la CRA, PPC y fuerza de corte. La carne con 11 días de maduración presentó mayor capacidad de retención de agua que a los 30 días. Por otro lado, la maduración no afectó la pérdida de agua por cocción. Sin embargo, la fuerza de corte disminuyó

(28%) significativamente ( $P < 0.05$ ) a los 30 días de maduración con respecto al inicio de la prueba. La degradación proteolítica en la maduración provoca el debilitamiento de las miofibrillas y por tanto aumenta la suavidad de la carne y disminuye la capacidad de retención de agua ya que se pierde la integridad de las miofibrillas y los movimientos de agua del interior al exterior aumentan. La longitud del sarcómero, el contenido de tejido conectivo, y la proteólisis de las proteínas miofibrilares representan la mayoría de la variación explicable respecto a la suavidad de la carne. A través de una vía proteolítica, los miofilamentos se degradan en proteínas individuales, las cuales son degradadas por las enzimas lisosomales en aminoácidos<sup>43,54</sup>.

**Cuadro 4. Efecto de la maduración en refrigeración (0-4°C) por 11 y 30 días sobre la CRA, PPC y WBSF de la carne de novillos comerciales en confinamiento.**

Variables	CRA	PPC	WBSF
11	38.70±0.69 <sup>a</sup>	26.60±0.48 <sup>a</sup>	6.43±0.15 <sup>a</sup>
30	33.44±0.69 <sup>b</sup>	26.91±0.48 <sup>a</sup>	4.65±0.15 <sup>b</sup>

a,b. Valores con diferente superíndice tienen una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre días de maduración.

**3. Efecto de la interacción entre maduración (en refrigeración 0-4°C) y tratamientos sobre las características de la carne de res.**

En el Cuadro 5 observamos que la carne con CIZi genérico, referencia y la no tratada presentan diferencias en el pH; a los 11 días de maduración tienen valores

más elevados que a los 30 días, sucede lo mismo en los tres tratamientos, al igual que la luminosidad ( $L^*$ ) en el color de la carne, donde los valores se elevaron a los 30 días de maduración, en comparación con la carne de 11 días. La disminución del pH a lo largo de la maduración se encuentra dentro de los rangos normales en donde esta disminución se da en forma gradual desde valores aproximados a 7 que corresponde al de un animal vivo, hasta un intervalo de 5.4-5.8, esto sucede cuando se agota el oxígeno en el tejido muscular y la glucólisis se vuelve la vía para obtener energía, las reservas de glucógeno disminuyen y se acumula ácido láctico en el tejido muscular<sup>43</sup>. La carne tratada con ClZi genérico con 30 días de maduración tuvo el valor de componente rojo ( $a^*$ ) más elevado que en la tratada con ClZi de referencia a los 11 días de maduración, esa fue la única diferencia significativa que se encontró de esta variable.

Los animales tratados con ClZi genérico y los no tratados a los 30 días de maduración tuvieron una diferencia significativa en valores más altos de componente amarillo ( $b^*$ ) con los tratados con ClZi de referencia a los 11 días de maduración.

El color de la carne desde el punto de vista físico, evoluciona desde el mismo momento de la matanza, después de esta, la luz es capaz de penetrar en la carne a una profundidad considerable, la luz se absorbe por la mioglobina antes de ser dispersada y esto hace que la carne sea oscura. Conforme aumenta la maduración de la carne, esta va palideciendo, ya que aumenta la dispersión de la luz por la disminución de la integridad de las fibras musculares cuando el pH llega a valores menores de 5.9. Cuando se presenta una gran dispersión de la luz, la cantidad de luz absorbida es baja y la importancia de los hemopigmentos en color

se reduce, ya que dejan de absorber la luz. Esto origina que la carne tenga una apariencia menos roja y más amarilla. Esto nos explicaría el aumento de la luminosidad en la carne, del color amarillo y rojo a los 30 días de maduración<sup>43</sup>.

**Cuadro 5. Efecto de la interacción entre tratamientos y días de maduración en refrigeración (0-4°C) sobre el pH y color de la carne de novillos comerciales en confinamiento.**

	Genérico		Referencia		Control	
	11 d	30 d	11 d	30 d	11 d	30 d
pH	5.75±0.06 <sup>a</sup>	5.44±0.06 <sup>b,c</sup>	5.82±0.06 <sup>a</sup>	5.59±0.06 <sup>c,d,e</sup>	5.74±0.06 <sup>a,d</sup>	5.44±0.06 <sup>b,e</sup>
L*	41.09±0.76 <sup>a,c</sup>	43.88±0.76 <sup>b</sup>	40.17±0.76 <sup>c</sup>	42.62±0.76 <sup>a,e,b</sup>	40.37±0.76 <sup>d,c</sup>	43.91±0.76 <sup>e,b</sup>
a*	24.24±0.40 <sup>a,b</sup>	24.66±0.40 <sup>a</sup>	23.44±0.40 <sup>b</sup>	23.64±0.40 <sup>a,b</sup>	24.46±0.40 <sup>a,b</sup>	24.35±0.40 <sup>a,b</sup>
b*	16.02±0.44 <sup>a,b</sup>	16.81±0.44 <sup>a</sup>	15.13±0.44 <sup>b</sup>	16.34±0.44 <sup>a,b</sup>	16.32±0.44 <sup>a,b</sup>	16.93±0.44 <sup>a</sup>

a,b,c,d,e Valores con diferente superíndice tienen una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre la interacción de tratamiento y días de maduración.

En el Cuadro 6 se observa que el tratamiento con ClZi de referencia y la carne de los no tratados a los 11 días de maduración tienen una mayor capacidad de retención de agua a diferencia de los valores a los 30 días que disminuyeron, los animales tratados con ClZi genérico no presentaron una diferencia significativa en la CRA a los diferentes días de maduración. La carne de los animales no tratados tuvo una mayor pérdida de agua por cocción a lo largo de la maduración que cualquiera de los animales tratados con ClZi; la pérdida por cocción tuvo una

tendencia a descender a los 30 días de maduración, a excepción en los animales tratados con ClZi genérico en donde la pérdida por cocción a los 11 días fue menor y a los 30 días aumentó pero aún así la diferencia no fue significativa.

La maduración tuvo un efecto positivo en la suavidad de la carne de los tres tratamientos, la cual disminuyó los valores de fuerza de corte a los 30 días de maduración en comparación con los obtenidos a los 11 días. No hubo diferencias significativas entre tratamientos a los 11 ni 30 días de maduración. Kellermeier et al. (2009) obtuvo un aumento en la suavidad de la carne de animales alimentados con ClZi de 5.05kg a 7 días hasta 4.08 kg a los 21 días post mortem, misma información que fue comprobada por Hilton et al. (2009) al observar disminución de fuerza de corte a una dosis de 8.3mg/kg DM por 30 días con 5 días de retiro, a los 7, 14 y 21 días de maduración e Ynsaurralde et al. (2013) que observó que la maduración al vacío a los 14 días en razas Bos taurus aumenta la ternera, siendo un efecto mayor en individuos jóvenes, debido a que la edad aumenta la cantidad de enlaces cruzados entre moléculas de colágeno, disminuyendo su solubilidad<sup>55</sup>.

Se ha sugerido, como se mencionó anteriormente, que la suplementación con ClZi disminuye la suavidad debido a un aumento en la actividad de la calpastatina y una reducción en la actividad de las calpaínas, también se dice que los agonistas  $\beta$ -adrenérgicos pueden estimular la conversión de fibras musculares oxidativas más pequeñas, a fibras musculares de tipo II más grandes y glucolíticas, las cuales están asociadas a una disminución de la elasticidad<sup>45</sup>, pero en este estudio la fuerza de corte no tuvo diferencias en cuanto a los animales que se trataron con ClZi y los no tratados, aunque la primera medición de fuerza de corte fue hasta el

día 11 post mortem y los resultados pueden asociarse a que la degradación de proteínas miofibrilares comienza desde las 12h post mortem o a la genética cebú de los animales<sup>56</sup>. El envejecimiento post mortem puede minimizar las diferencias entre los tratamientos a medida que la maduración aumenta y que después de 21 días la fuerza de corte de animales tratados con CIZi desciende a niveles similares al de animales no tratados<sup>45</sup>.

**Cuadro 6. Efecto de la interacción entre tratamientos y días de maduración en refrigeración (0-4°C) sobre la CRA, PPC y WBSF de la carne de novillos comerciales en confinamiento.**

	Genérico		Referencia		Control	
	11 d	30 d	11 d	30 d	11 d	30 d
CRA	37.45±1.20 <sup>a,c</sup>	34.27±1.20 <sup>c,d</sup>	39.70±1.20 <sup>a</sup>	32.57±1.20 <sup>b,d</sup>	38.95±1.20 <sup>a</sup>	33.49±1.20 <sup>b,d</sup>
PPC	25.52±0.83 <sup>a</sup>	27.18±0.83 <sup>a,b,d</sup>	26.20±0.83 <sup>a,b,d</sup>	25.64±0.83 <sup>a,d</sup>	28.08±0.83 <sup>b,c</sup>	27.91±0.83 <sup>b,d</sup>
WBSF	6.24±0.25 <sup>a</sup>	4.77±0.25 <sup>b</sup>	6.46±0.25 <sup>a</sup>	4.43±0.25 <sup>b</sup>	6.58±0.25 <sup>a</sup>	4.76±0.25 <sup>b</sup>

a,b,c,d. Valores con diferente superíndice tienen una diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre la interacción de tratamiento y días de maduración.

**4. Efecto de los tratamientos de CIZi sobre las características sensoriales de la carne.**

El clorhidrato de zilpaterol genérico, de referencia y los animales no tratados, no presentaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en el olor, sabor, suavidad y aceptabilidad general de la carne. De acuerdo a la escala que se utilizó, estos atributos se clasificaron como “me gusta ligeramente”, mismos resultados que obtuvieron Leheska et al. (2009) en la suavidad de la carne de animales

alimentados con clorhidrato de zilpaterol a una dosis de 8.3mg/kg DM de 20-40 días con un retiro de 10 días. Igualmente, Hilton et al. (2009) tampoco encontró diferencias en sabor ni aceptabilidad general de la carne de los animales tratados con zilpaterol y los no tratados.

La carne tratada con clorhidrato de zilpaterol genérico obtuvo una calificación menor en la jugosidad (4.3, “ni me gusta ni me disgusta”), en comparación a la carne con clorhidrato de zilpaterol de referencia y carne de animales no tratados (4.95 y 4.92, “me gusta ligeramente”). Leheska et al. (2009) y Partida et al. (2015) reportaron una disminución de la jugosidad en la carne de animales alimentados con clorhidrato de zilpaterol en el examen sensorial, estos resultados difieren de Hilton et al. (2009) en donde el clorhidrato de zilpaterol no afectó la jugosidad.

**Cuadro 7. Efecto de los tratamientos sobre las características sensoriales de la carne de novillos comerciales en confinamiento.**

<b>Variables</b>	<b>Jugosidad</b>	<b>Olor</b>	<b>Sabor</b>	<b>Suavidad</b>	<b>Agrado general</b>
Genérico	4.26±0.17 <sup>a</sup>	5.22±0.15 <sup>a</sup>	5.08±0.16 <sup>a</sup>	4.41±0.19 <sup>a</sup>	5.00±0.15 <sup>a</sup>
Referencia	4.94±0.17 <sup>b</sup>	5.04±0.15 <sup>a</sup>	5.12±0.16 <sup>a</sup>	4.79±0.19 <sup>a</sup>	5.10±0.15 <sup>a</sup>
Control	4.92±0.17 <sup>b</sup>	5.30±0.15 <sup>a</sup>	5.34±0.16 <sup>a</sup>	4.72±0.19 <sup>a</sup>	5.24±0.15 <sup>a</sup>

a,b Valores con diferente superíndice tienen diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) entre la interacción del tratamiento y las características sensoriales.

## CONCLUSIÓN

El presente estudio demostró que el clorhidrato de zilpaterol, en su formato de referencia o en el genérico, no afectó la suavidad de la carne (medida a través de la fuerza de corte Warner-Bratzler), ni modificó el impacto que la maduración tiene en la disminución de la misma, tomando en cuenta que el ganado utilizado fue de encaste racial B. indicus y su carne ya es dura debido a las calpastatinas, el clorhidrato de zilpaterol no la vuelve más dura. El color de la carne es una característica de mucha importancia para los consumidores, en este estudio el uso de clorhidrato de zilpaterol genérico aumentó la intensidad del color rojo de la carne a diferencia del producto de referencia, siendo una característica positiva, ya que los consumidores asocian un color rojo brillante en la carne con la frescura. Éstos resultados son importantes como referencia al momento de asesorar a productores o empresarios que buscan mejorar sus parámetros productivos y disminuir costos de producción utilizando clorhidrato de zilpaterol genérico, asegurando que no se afectará la calidad de la carne indistintamente de la calidad de su ganado.

## REFERENCIAS

1. Smith, G.C. Providing Assurances of Quality, Consistency, Safety and a Caring Attitude to Domestic and International Consumers of U.S. Beef. The Department of Animal Science Colorado State University. 49th Annual Montana Nutrition Conference in Bozeman, Montana. April 25, 2000.
2. Koohmaraie M. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Sci.* 1996;43:193-201.
3. Dávila RJL., Avendaño RL., Macías CU., Torrentera ON., Zamorano GL., Peña RA., González RH. Effects of zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation on physicochemical and characteristics of meat from hair lambs. *ELSEVIER.* 2013;114:253-257.
4. Mondragón J., Domínguez-Vara IA., Pinos RJ., González M., Bórquez JL., Domínguez A., Mejía ML. Effects of feed supplementation of zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass traits of finishing lambs. *Acta agriculturae scand section A.* 2010;60:47-52.
5. Hilton, GG., JL. Montgomery, CR. Krehbiel, DA. Yates, JP. Hutcheson, WT. Nichols, MN. Streeter, JR. Blanton Jr., and MF. Miller. Effects of feeding zilpaterol hydrochloride with and without monensin and tylosin on carcass cutability and meat palatability of beef steers. *J. Anim. Sci.* 2009;87:1394–1406.
6. Scramlin SM., Platter WJ., Gómez RA., Choat W.T., McKeith F.K. and Killefer J. Comparative effects of ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride on growth performance, carcass traits, and longissimus tenderness of finishing steers. *J. Anim. Sci.* 2010. 88:1823–1829
7. Strydom, PE., EH. Osler, E. Nel, K.-J. Leeuw. 1998. The effect of supplementation period of a beta-agonist (zilpaterol) on growth performance, carcass yield and meat quality characteristics. Pages 894–895 in *Proc. 44th Int. Congr. Meat Sci. Technol., Barcelona, Spain.*
8. Strydom, PE., E. Nel. 1999. The effect of supplementation period of a beta-agonist (zilpaterol), electrical stimulation and ageing period on meat quality

- characteristics. Pages 474–475 in Proc. 46th Int. Congr. Meat Sci. Technol., Yokohama, Japan.
9. Avendaño RL., Meraz M.F., Pérez L.C., Figueroa S.F., Correa A., Álvarez V.F.D., Guerra L.E., López R.G., Macías C.U. Evaluation of the efficacy of Grofactor, beta-adrenergic agonist based on zilpaterol hydrochloride, using feedlot finishing bulls. *J.Anim.Sci.* 2016; 94:2954-2961.
  10. Fao.org [internet]. México. Crecimiento demográfico y crisis alimentaria, c2017. [citado 2017 Julio]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/U3550t/u3550t04.htm#TopOfPage>
  11. Vélez, M., JJ. Hincapié., I. Matamoros. 2009. Producción de ganado lechero en el trópico. Sexta edición. Zamorano Academic Press, Zamorano, Tegucigalpa, Honduras. 1-3 p.
  12. Morón-Fuenmayor OE., Pietrosemoli S., Aranguren JA., Fossi A. Uso de agentes anabolizantes solos o combinados sobre el crecimiento de novillos a pastoreo. *Facultad de Agronomía, FCV-LUZ.* 1999;9(4):299-304.
  13. Sumano L.H., Ocampo C.L. *Farmacología Veterinaria.* 3a. ed. México: Mc Graw Hill; 2006.
  14. Bohorov, O., Buttery, P.J., Correia JH., Soar JB. The effect of the -2- adrenergic agonist clenbuterol or implantation with estradiol plus trenbolone acetate on protein metabolism in wether lambs. *Br. J. Nutr.* 1987;57:99-107.
  15. Ahlquist, R.P. A study of the adrenotropic receptors. *Am. J. Physiol.* Vol. 153: 586-600. 1948.
  16. Montgomery, JL., Krehbiel, CR., Cranston, JJ., Yates, DA., Hutcheson, JP., Nichols, WT., Streeter, MN., Bechtol, DT., et al. Dietary zilpaterol hydrochloride. I. Feedlot performance and carcass traits of steers and heifers. *J. Anim. Sci.* 2009. 87:1374–1383.
  17. NOM-177-SSA-2013. Que establece las pruebas y procedimientos para demostrar que un medicamento es intercambiable. Requisitos a que deben sujetarse los terceros autorizados que realicen las pruebas de intercambiabilidad. Requisitos para realizar los estudios de biocomparabilidad. Requisitos a que deben sujetarse los terceros

autorizados, centros de investigación o instituciones hospitalarias que realicen las pruebas de biocomparabilidad

18. FDA. 2006. Freedom of information summary. Original new animal drug application NADA 141-258. Zilmax (zilpaterol hydrochloride) Type A medicated article for cattle fed in confinement for slaughter. <http://www.fda.gov/cvm/FOI/141-258o08102006.pdf> Accessed Apr. 26, 2007.
19. Avendaño RL., Torres RV., Meraza MFJ., Pérez LC., Figueroa SF., Robinson PH. Effect of two  $\beta$ -adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. *J Anim Sci* 2006;84:3259-3265.
20. Partida J, Casaya T, Rubio M, Méndez D. Meat quality in katahdin lamb terminal crosses treated with zilpaterol hydrochloride. *Journal of food research [Internet]*. 2015 [citado 18 Abril 2017]; 4(6). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5539/jfr.v4n6p48>
21. STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE, INC. SAS User's Guide: Statistics. Version 6. SAS, Institute, Inc., Cary, NC. 1994
22. Plascencia, A.; N. Torrentera and R. Zinn 1999. "Influence of the Agonist Zilpaterol on Growth, Performance and Carcass Characteristics of Feedlot Steers". American Society of Animal Science. 50.
23. Chikhou, FH., AP. Molooney, P. Allen, RL. Joseph, PV. Tarrant, JF. Quirke, FH. Austin, and JF. Roche. Longterm effects of cimaterol in Friesian steers: II. Carcass composition and meat quality. *J. Anim. Sci.* 1993;71:914–922.
24. Moloney, AP., P. Allen, DB. Ross, G. Olson, EM. Convey. Growth, feed efficiency and carcass composition of finishing Friesian steers fed the  $\beta$ -adrenergic agonist L-644,969. *J. Anim. Sci.* 1990;68:1269–1277.
25. Ricks, CA., RH. Dalrymple, PK. Baker, DL. Ingle. Use of a  $\beta$ -agonist to alter fat and muscle deposition in steers. *J. Anim. Sci.* 1984;59:1247–1255.

26. Morón-Fuenmayor OE., Zamorano GL., Ysunza F., González MN. Efecto del clorhidrato de zilpaterol y la vitamina D3 sobre la calidad de la carne en novillas comerciales. *FCV-LUZ*. 2002;11(6):725-729.
27. Peluffo Frisco M, Monteiro M. 2002. Terneza: una característica a tener en cuenta. Instituto Plan Agropecuario Uruguay. On line: [www.planagro.com.uy](http://www.planagro.com.uy), p. 4.
28. Tatum, JD.; Belk, KE.; George, MH.; Smith, GC. Identification of quality management practices to reduce the incidence of retail beef tenderness problems: Development and evaluation of a prototype quantity system to produce tender beef. *J. Anim. Sci.* 1999;77(8): 2112-2118.
29. Yang, Y.T.; McELLIOGOTT. Multiple actions of b-adrenergic agonists on skeletal muscle and adipose tissue. *Biochem. J.* Vol. 261:1-9. 1989.
30. Pringle TD, Williams SE, Lamb BS, Johnson DD, West RL. Carcass characteristics, the calpain proteinase system, and aged tenderness of Angus and Brahman crossbred steers. *J Anim Sci* 1997;75:2955-2961.
31. Riley DG, Johnson DD, Chase CC, West RL, Coleman SW, Olson TA, Hammond AC. Factors influencing tenderness in steaks from Brahman cattle. *Meat Sci* 2005;70:347-356.
32. Koohmaraie M., Geesink GH. Contribution of postmortem muscle biochemistry to the delivery of consistent meat quality with particular focus on the calpain system. *Meat Scie.* 2006;74: 34-43.
33. López-Carlos M.A., Ramírez R.G., Aguilera-Soto J.I., Rodríguez H., Aréchiga C.F., Méndez L.F., Chávez J.J., Medina C.A., Silva J.M. 2012. Effect of the administration program of 2 b-adrenergic agonists on growth performance and carcass and meat characteristics of feedlot ram lambs. *J. Anim. Sci.* 2012.90:1521–1531
34. Mathias-Rettig K, Ah-Hen K. El color en los alimentos un criterio de calidad medible. *Agro Sur*. 2014;42(2).
35. Baudi S. *Química de los alimentos*. 4a. ed. México: Pearson; 2006.
36. Franco J, Feed O, Bianchi G, Garibotto G, Ballesteros F, Nan F, et al. Parámetros de calidad de carne en cinco músculos de novillos Holando

- durante la maduración post mortem I. Calidad instrumental. *Afrociencia*. 2008; XII (1): 61-68.
37. Gallo C. Carnes de corte oscuro en bovinos. *Rev. Americarne & FIFRA*. 2003 [citado 9 febrero 2017]; Disponible en: <http://www.produccion-animal.com.ar>
  38. Leal-Gutiérrez JD, Jiménez-Robayo LM, Ariza M, Manrique C, López J, Martínez C, et al. Efecto del tipo genético y la maduración sobre la retención de agua en carne de toros castrados. *Arch.Zootec*. 2014;63 (243):409-418.
  39. AMSA. 2015. Research guidelines for cookery, sensory evaluation, and instrumental tenderness measurements of meat. American Meat Science Association. 2<sup>nd</sup> Edition.
  40. Pla Torres M. 2005. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Capítulo 5.6 Capacidad de retención de agua. Coordinadores: V. Cañeque, C. Sañudo. Monografías INIA: Serie ganadera, N° 3.
  41. Partida PJA., Casaya RTA., Rubio, LMS., Méndez, M.R.D. Effect of zilpaterol hydrochloride on the carcass characteristics of Katahdin lamb terminal crosses. *Veterinaria México OA*. 3 (4): 1-12. <http://www.revistas.unam.mx/index.php/Veterinaria-Mexico> [consulta: 12 Enero 2017].
  42. Hernández B., Lizaso G., Horcada A., Beriain M.J., Purroy A. Meat colour of fighting bulls. *Latinoam. Prod. Anim*. 2006;14(3):90-94
  43. Hui Y.H., Guerrero L.I., Rosmini M.R. *Ciencia y tecnología de carnes*. México:Limusa;2013.
  44. Rogers HR, Brooks JC., Hunt MC., Hilton GG., VanOverbeke DL., Killefer J., Lawrence TE., Delmore RJ., et al. Effects of zilpaterol hydrochloride feeding duration on beef and calf-fed Holstein strip loin steak color. *J.Anim. Sci*. 2010; 88:1168-1183.
  45. Cónsolo BR., Ferrari BV., Mesquita GL., Goulart SR., Solva PF. Zilpaterol hydrochloride improves beef yield, changes palatability traits, and increases

- calpain-calpastatin gene expression in Nellore heifers. *Meat Science*. 2016;121:375-381
46. Leheska JM., Montgomery JL., Krehbiel CR., Yates DA., Hutcheson JP., Nichols WT., Streeter M., Blanton JR., et al. Dietary zilpaterol hydrochloride II. Carcass composition and meat palatability of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 2009;87:1384-1393.
  47. Kellermeier JD., Tittor AW., Brooks JC., Galyean ML., Yates DA., Hutcheson JP., Nichols WT., et al. Effects of zilpaterol hydrochloride with or without an estrogen-trenbolone acetate terminal implant on carcass traits, retail cutout, tenderness, and muscle fiber diameter in finishing steers. *J. Anim. Sci.* 2009;87:3702-3711.
  48. Koohmaraie M., Shackelford SD., Muggli-Cockett NE., Stone RT. Effect of the  $\beta$ -adrenergic agonist L<sub>644,969</sub> on muscle growth, endogenous proteinase activities, and postmortem proteolysis in wether lambs. *J. Anim. Sci.* 1991;69:4823-4835.
  49. Belew JB, Brooks JC, McKenna DR, Savell JW. Warner–Bratzler shear evaluations of 40 bovine muscles. *Meat Science* 2003;64(4):507-512.
  50. Shackelford SD, Wheeler TL, Koohmaraie M. Relationship between shear forcé and trained sensory panel tenderness ratings of 10 major muscles from *Bos indicus* and *Bos taurus* cattle. *J. Anim. Sci.* 1995;73:3333-3340.
  51. O'Connor SF, Tatum JD, Wulf DM, Green RD, Smith GC. Genetic effects on beef tenderness in *Bos indicus* composite and *Bos taurus* cattle. *J. Anim. Sci.* 1997;75:1822-1830.
  52. Barendse W, Harrison BE, Bunch RJ, Thomas MB. Variation at the calpain 3 gene is associated with meat tenderness in zebu and composite breeds of cattle. *BMC Genetics*. 2008;9:41
  53. Cross RH., Schanbacher DB., Crouse DJ. Sex, age and breed related changes in bovine testosterone and intramuscular collagen. (1985). Roman L. Hruska U.S. Meat Animal Research Center. Página 63.

54. Koohmaraie M., Kent MP., Shackelford SD., Veiseth E., Wheeler TL. Meat tenderness and muscle growth: is there any relationship?. *Meat Science*. 2002;62:345-352.
55. Ynsaurralde AE., Rébak GI., Sánchez S., Capellaria A. Terneza, grasa intramuscular y de cobertura en carne de novillos faenados en Corrientes (Argentina). *Rev. Vet.* 2013;24(2):86-90.
56. Ruíz LF. Estudio del proceso de maduración en carne de res Mexicana. [tesis de maestría]. Ciudad de México (México): UNAM; 2016.