



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN  
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

## RESPUESTA PRODUCTIVA, COSTOS DE PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE DE TORETES SUPLEMENTADOS CON DIFOSFATO DE TIAMINA Y $\beta$ -AGONISTAS

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**



Presenta:

**JAIME ROSAS ARAGÓN**

DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Bajo la supervisión de: Gilberto Aranda Osorio, *Ph.D.*



Chapingo, México. Junio de 2018.

**RESPUESTA PRODUCTIVA, COSTOS DE PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LA  
CANAL Y DE LA CARNE DE TORETES SUPLEMENTADOS CON  
DIFOSFATO DE TIAMINA Y  $\beta$ - AGONISTAS**

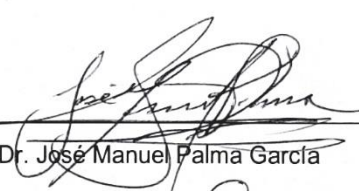
Tesis realizada por **JAIME ROSAS ARAGÓN** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**

DIRECTOR: \_\_\_\_\_

  
Dr. Gilberto Aranda Osorio

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
Dr. José Manuel Palma García

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
M. C. Carlos Sánchez del Real

# Contenido

Página

LISTA DE CUADROS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
DEDICATORIAS.....	ix
AGRADECIMIENTOS.....	x
DATOS BIOGRÁFICOS.....	xi
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Definición de aditivos.....	3
2.2 $\beta$ -Adrenérgicos Agonistas en la Finalización de Ganado Bovino .....	6
2.2.1 Definición de $\beta$ -adrenérgicos agonistas.....	6
2.2.2 Definición de Receptores $\beta$ -adrenérgicos.....	7
2.2.3 Modo de acción y función de los $\beta$ -agonistas .....	8
2.2.4 Efecto en el Comportamiento Productivo.....	11
2.2.5 Efecto en las Características de la Canal .....	13
2.2.6 Efecto en las Características de la Carne.....	15
2.3 Difosfato de tiamina.....	18
2.3.1 Vitaminas .....	18
2.3.2 Vitamina B <sub>1</sub> .....	19

2.4 Literatura citada.....	21
3. RESPUESTA PRODUCTIVA, COSTOS DE PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE DE TORETES SUPLEMENTADOS CON DIFOSFATO DE TIAMINA Y $\beta$ - AGONISTAS.....	30
3.1 Resumen.....	30
3.2 Abstract.....	31
3.3 Introducción.....	32
3.4 Materiales y Métodos.....	33
3.4.1 Localización.....	33
3.4.2 Características del ganado y manejo de la recepción.....	33
3.4.3 Alimentación y distribución de los tratamientos.....	34
3.4.4. Recolección de datos.....	37
3.4.5. Análisis estadístico.....	39
3.5 Resultados y Discusión.....	40
3.5.1 Respuesta productiva.....	40
3.5.2 Características de la canal.....	43
3.5.3 Características de la carne.....	43
3.5.4 Relación Beneficio-Costo.....	45
3.6 Conclusiones.....	47
3.7 Literatura citada.....	48

3.8 Apéndice .....	51
3.8.1 Pesaje de los toretes en el sacrificio.....	51
3.8.2 Sacrificio y obtención de las medias canales .....	52
3.8.3 Pesaje e identificación de las canales. ....	53
3.8.4 Medición de pH y color. ....	53
3.8.5 Medición del área del ojo de la costilla (AOC), grosor de grasa (GG) y grado de marmoleo. ....	54

## LISTA DE CUADROS

Página

Cuadro 1. Efecto sobre la utilización de clorhidrato de ractopamina y clorhidrato de zilpaterol en el comportamiento productivo durante la etapa de finalización en ganado bovino. ....	4
Cuadro 2. Efecto sobre la utilización de clorhidrato de zilpaterol en el comportamiento productivo durante la etapa de finalización en ganado bovino. ....	12
Cuadro 3. Efecto la utilización de clorhidrato de ractopamina y clorhidrato de zilpaterol en las características de la canal de ganado bovino. ....	12
Cuadro 4. Efecto sobre la utilización de clorhidrato de zilpaterol en la calidad de la canal de ganado bovino. ....	14
Cuadro 5. Contenido nutricional de la carne de bovino por región geográfica en México. ....	15
Cuadro 6. Reacciones de descarboxilación oxidativa donde participa el difosfato de tiamina como coenzima. ....	17
Cuadro 7. Productos utilizados en el manejo de recepción. ....	19
Cuadro 8. Ingredientes y composición nutricional de las dietas utilizadas en la finalización de ganado bovino suplementados con $\beta$ AA y difosfato de tiamina. ....	34
Cuadro 9. Distribución de tratamientos por corral en la suplementación de $\beta$ AA y difosfato de tiamina en la finalización de ganado bovino. ....	35
Cuadro 10. Respuesta productiva de toretes en la etapa de pre-finalización (90 días) con el uso de difosfato de tiamina <sup>2</sup> (corrales 2 al 5) en la región trópico seco. ....	36

Cuadro 11. Respuesta productiva de toretes en la etapa de finalización (49 días) con el uso de aditivos ( $\beta$ AA y difosfato de tiamina) en la región trópico seco....	37
Cuadro 12. Características de la canal de toretes en finalización con el uso de aditivos ( $\beta$ AA y difosfato de tiamina) en la región de trópico seco. ....	41
Cuadro 13. Características de la calidad de la carne de toretes en finalización con el uso de aditivos ( $\beta$ AA y difosfato de tiamina) en la región de trópico seco. ....	42
Cuadro 14. Análisis de la relación Beneficio-costos en la finalización de ganado bovino en confinamiento con la suplementación difosfato de tiamina, clorhidrato de ractopamina y de zilpaterol en la región trópico seco.....	43

## LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Fórmulas de la ariletanolamina de algunos $\beta$ AA y mediadores fisiológicos.....	6
Figura 2. Posibles mecanismos de acción para la hipertrofia muscular, inducida por los $\beta$ AA.....	9
Figura 3. Estructura química de la tiamina, difosfato de tiamina y la forma carbanión.....	16



## DEDICATORIAS

*A mis padres y hermana*

*A toda mi familia*

*A mi...*

*“El ayer es historia, el futuro es un misterio, pero el hoy es  
un obsequio, por eso se le llama presente”*

*Maestro Oway*

## AGRADECIMIENTOS

Mil gracias a todos los que de manera directa o indirecta dieron su apoyo en todo momento para la elaboración de este trabajo, así como para mi formación profesional y personal en el tiempo que estuve en el PPA, de manera especial a:

A la Universidad Autónoma Chapingo por darme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado y formar parte de ella.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el otorgamiento de la beca para realizar mis estudios de maestría.

A mis padres:

Santiago Rosas, Mónica Aragón

A mis profesores y amigos:

Ph. D. Gilberto Aranda Osorio

Dr. José Manuel Palma García

M. C. Carlos Sánchez del Real

Ph. D. Maximino Huerta Bravo

Dr. Juan José Ojeda Carrasco

M. C. Gabriela Pérez Hernández "Gaby"

M. C. Ricardo Emanuel Martínez Rocha "Rocha"

I. A. Z. Erick Alberto López Rojas "Erick"

I. A. Z. Juan Pablo Ríos Ramírez "Tepe"

I. A. Z. José Antonio Peralta Jiménez "Tripi"

A Dios y a la vida...

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

### **Datos personales**

Nombre: Jaime Rosas Aragón  
Fecha de nacimiento: 13 de noviembre de 1991  
Lugar de nacimiento: Axochiapan, Morelos  
CURP: ROAJ911113HPLSRM00  
Profesión: Ingeniero Agrónomo

Cédula profesional: 10075017

### **Desarrollo académico**

Licenciatura: 2010-2015 Ingeniero Agrónomo, Departamento de Ciencias Biológicas, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Maestría: 2016-2017 Maestro en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El crecimiento poblacional y la urbanización provocan la reducción de áreas de producción agrícolas y pecuarias, aunado a una mayor demanda de alimentos, por lo anterior, las actividades del sector primario son prioridad para satisfacer las demandas de consumo. La ganadería bovina en México es una de las principales actividades del sector agropecuario, por su aportación de productos cárnicos, así como su participación en la balanza comercial del país. Sin embargo, el alza de precios de los insumos para la alimentación de los bovinos de engorda impacta directamente a esta actividad ya que la alimentación en un corral de engorda tiene un efecto económico importante sobre los costos de producción (después de la adquisición del ganado), el cual puede ser mejorado en cada unidad de producción.

Una forma de mejorar la eficiencia productiva en los sistemas de producción animal, en particular, la finalización de ganado bovino es a través del uso de aditivos alimenticios cuya función es mejorar la respuesta del animal en el comportamiento productivo y características del producto final (canal y carne). Dentro de los aditivos comúnmente utilizados en la finalización de ganado bovino, se encuentran los  $\beta$ -adrenérgicos agonistas ( $\beta$ AA), los cuales afectan de forma positiva la respuesta productiva, así como las características de la canal y de la carne (Avendaño-Reyes et al., 2016; Maxwell et al., 2015). Dentro del grupo de los  $\beta$ -adrenérgicos agonistas se encuentran el Clorhidrato de Zilpaterol y el de Ractopamina los cuales están aprobados por la Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-015-ZOO-2002 de especificaciones técnicas para el testigo del uso de  $\beta$ -agonistas en los animales.

Otro aditivo es el difosfato de tiamina, funciona como cofactor de distintas enzimas en el metabolismo de energía de la célula, en especial en el ciclo de los

carbohidratos (Rodwell, 2015), el cual, eficientiza el uso de la energía proveniente de los alimentos y mejora la respuesta productiva. Sin embargo, es escasa la información del uso de este aditivo en la finalización de bovinos.

Por lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo comparar el efecto de suplementar dos  $\beta$ -adrenérgicos agonistas (Clorhidrato de Ractopamina y de Zilpaterol) y de un mejorador energético (Difosfato de Tiamina), en el comportamiento productivo, relación Beneficio-Costo, características de la canal y de la carne de toretes en finalización.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Definición de aditivos

En la actualidad existe una amplia gama de aditivos en la alimentación animal que cumplen con un gran número de funciones, por lo que su definición puede ser hasta cierto punto no tan precisa. En general, un aditivo podría ser cualquier producto incluido en la formulación a niveles bajos de inclusión en la alimentación animal que pueda modificar el perfil nutritivo, absorción y metabolismo del alimento, mejore la velocidad de respuesta productiva y la salud del animal (Gadberry, 2015; Ravindran, 2010). No obstante, según el Reglamento (CE) N° 1831/2003 del parlamento Europeo y del Consejo (2003) define a los aditivos como sustancias, microorganismos o preparados distintos a las materias primas y premezclas que se añaden intencionalmente en niveles bajos de inclusión al alimento o al agua para influir favorablemente en: 1) las características de los insumos o de los productos de origen animal, 2) las consecuencias ambientales de la producción animal, 3) los rendimientos productivos, el bienestar, salud, mediante su influencia en el perfil de la flora microbiana intestinal o la digestibilidad de los alimentos, o 4) por su efecto coccidiostático (testigo de coccidias) o histomonostático (testigo de histomonas). De acuerdo con lo anterior, los aditivos para alimentos se pueden asignar a una o más de las siguientes categorías según sus funciones:

- Aditivos tecnológicos (ej: antioxidantes, emulsificantes o acidificantes),
- Aditivos sensoriales (ej: aromas, pigmentos),
- Aditivos nutricionales (ej: vitaminas, minerales traza, aminoácidos),
- Aditivos zootécnicos (ej: potenciadores de la digestión, estabilizadores de la flora intestinal),
- Aditivos como fármacos/antibióticos promotores del crecimiento (ej: ionóforos,  $\beta$ -adrenérgicos agonistas),
- Coccidiostatos o histomostatos

Según Gadberry (2015) los aditivos tienen la función de cura o profilaxis de enfermedades o trastornos específicos indicados para el aditivo, así como para mejorar ciertas características del animal. Estos aditivos pueden clasificarse en A, B o C dependiendo de la concentración o la necesidad de retiro en la alimentación.

Cuadro 1. Clasificación de los aditivos de acuerdo con sus funciones en la producción animal.

Función	Ingrediente activo
Crecimiento y eficiencia alimenticia	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Momensina</li> <li>2. Lasolacid</li> <li>3. Bambermicina</li> <li>4. Ractopamina</li> <li>5. Acetato de melengestrol</li> </ol>
Tratamiento y prevención de coccidiosis	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Amprolio</li> <li>2. Decoquinato</li> <li>3. Momensina</li> <li>4. Lasolacida</li> </ol>
Tratamiento de Diarreas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Clortetraciclina</li> <li>2. Oxitetraciclina</li> <li>3. Sulfato de neomicina</li> </ol>
Fiebre de embarque	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Clortetraciclina,</li> <li>2. Clortetraciclina y sulfamethazine</li> <li>3. Oxitetraciclina</li> <li>4. Tilmicosina</li> </ol>
Prevención y tratamiento de anaplasmosis	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Clortetraciclina</li> </ol>
Absceso hepático	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tilosina</li> </ol>
Lombrices intestinales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fendenbazol</li> <li>2. Tartrato de morantel</li> </ol>
Tratamiento para timpanismo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Poloxaleno</li> </ol>

Gadberry (2015).

El tipo A, son los aditivos más concentrados que se utilizan normalmente para fabricar otros aditivos. El tipo B son premezclas nutricionales, así como suplementos medicinales. El tipo C, son aquellos que se pueden suministrar al animal sin necesidad de una premezcla. En el Cuadro 1, se muestran los aditivos utilizados en la producción animal.

Por otro lado, Stock y Mader (1985) clasificaron a los aditivos para engorda de ganado en: Ionóforos, donde se encuentran la monensina, lasolacid, salinomina y naracina; estos, tienen la función de mejorar la eficiencia energética del metabolismo al cambiar las concentraciones de los ácidos grasos del rumen, además de reducir la síntesis proteica microbiana, prevenir acidosis y timpanismo. La siguiente clasificación son los antibióticos, entre ellos destacan la clortetraciclina, oxitetraciclina, bacitracina y tilosina, funcionan como profilácticos para enfermedades respiratorias y gastrointestinales, así como la reducción de absceso hepático. La última clasificación de acuerdo con estos autores, son las sustancias buffer, que se encargan resistir los cambios del pH ruminal o modificarlo, para reducir la incidencia de acidosis provocada por dietas altas en grano. En esta clasificación se encuentra el bicarbonato de sodio, piedra caliza, bentonita de sodio y óxido de magnesio.

Parish y Rinehart (2009) clasificaron los aditivos en cuatro grupos: 1) los modificadores de la fermentación ruminal, donde se encuentran los ionóforos, cultivos de levadura y los que previenen inflamaciones, 2) los repartidores de energía o beta- agonistas como la ractopamina, 3) los supresores de estros como el acetato de melengestro, por último están 4) los productos de salud animal, entre ellos se encuentran los aditivos para testigo de parásitos internos y externos y antibióticos para testigo de enfermedades.



## 2.2 $\beta$ -Adrenérgicos Agonistas en la Finalización de Ganado Bovino

### 2.2.1 Definición de $\beta$ -adrenérgicos agonistas

El grupo de fármacos que se utilizan en la producción animal para mejorar la síntesis muscular, son los llamados “repartidores de energía” o  $\beta$ - adrenérgicos agonistas ( $\beta$ AA). Estos agentes químicos actúan a nivel de los receptores adrenérgicos que se encuentran en el tejido muscular y cuya función es derivar la energía de los alimentos y de la lipólisis hacia la síntesis proteica muscular (Mersmann, 2002). Los  $\beta$ AA se utilizan en la producción animal para lograr una mayor eficiencia en el uso del alimento, ya que producen cambios en las características de la canal al reducir el contenido de grasa y aumentar el contenido de tejido muscular, y en la composición de la carne (Domínguez-Vara, Mondragón, González, Salazar, Bórquez, & Aragón, 2009).

Los  $\beta$ AA tienen propiedades que diferencian el tipo de respuesta dentro del animal y éstas se encuentran en las características de sus componentes (Figura 1), que proporcionan distinta farmacocinética, la cual influye en la magnitud del efecto y persistencia dentro del tejido animal.

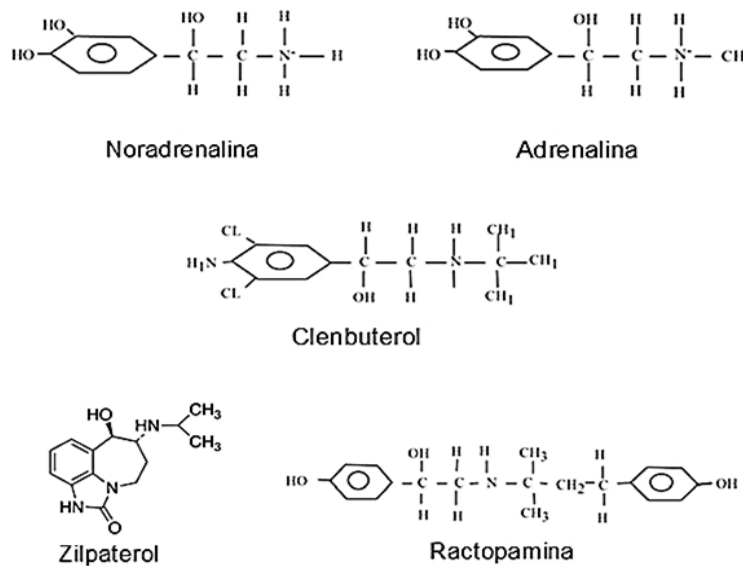


Figura 1. Fórmulas de la ariletanolamina de mediadores fisiológicos y algunos  $\beta$ AA y (Domínguez-Vara et al., 2009; Smith & Paulson, 1997; Shelver & Smith, 2006).

### 2.2.2 Definición de Receptores $\beta$ -adrenérgicos

Los receptores  $\beta$ -adrenérgicos o  $\beta$ -receptores, se encuentran en casi todo tipo de células en la mayoría de los mamíferos y testigoan un gran número de funciones fisiológicas y metabólicas (Mersmann, 2002; Yang & McElligott, 1989).

Los  $\beta$ -receptores son proteínas conformadas por 450 a 600 aminoácidos y tienen un peso molecular de 40 a 50 KDa (Mersmann, 2002; Soria & Arias, 1997). Contienen siete segmentos hidrofóbicos que atraviesan la membrana celular (transmembranal) que están conectados por tres segmentos extracelulares y tres intracelulares (Mersmann, 2002). En mamíferos se conocen hasta el momento tres subtipos de  $\beta$ -receptores que son  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  y  $\beta_3$ , donde los receptores  $\beta_1$  se encuentran en el miocardio, los  $\beta_2$  en el sistema nervioso central y en el conducto bronquial y los  $\beta_3$  en el tejido adiposo (Mersmann, 1998, 2002; Sillence, Hooper, Zhou, Liu & Munn, 2005). Adicionalmente Drennan y Yong, (1994) y Ganong, (2010) mencionan que los receptores  $\beta_2$  también se encuentran en el miocardio.

Al parecer el  $\beta_2$  predomina en el músculo esquelético (Apperly, Daly & Levy, 1976; Liggett, Shah & Cryer, 1988; Mersman, 1998; Sillence et al., 2005; Waldeck, Jeppsson & Widmark, 1986; Watson-Wright & Wilkinson, 1986).

De acuerdo con Ganong (2010) los  $\beta$ -receptores participan en el incremento del AMPc (adenosín monofosfato cíclico). Mersmann (2002) menciona que los  $\beta$ -receptores se encuentran en la superficie celular e interactúan con la proteína G para activar la enzima adenilato ciclasa, quien, a su vez sintetiza AMPc, que es el mensajero intracelular para la respuesta de los  $\beta$ -receptores. El modo de acción dependerá de los tipos de  $\beta$ -receptores encontrados en la membrana celular, a los cuales, el  $\beta$ AA se unirá para llevar a cabo su respuesta fisiológica (Sumano, Ocampo & Gutiérrez, 2002).

De acuerdo con Yang & McElligott (1989) el componente de los  $\beta$ AA es altamente activo en los tejidos con el receptor subtipo  $\beta_2$  en ensayos biológicos, pero poco activo en el subtipo  $\beta_1$ , lo que sugiere que el receptor subtipo  $\beta_2$  está involucrado en la respuesta del crecimiento muscular.

### 2.2.3 Modo de acción y función de los $\beta$ -agonistas

La reducción de grasa corporal y el aumento de tejido muscular representan un incremento en el gasto energético del animal, que son los efectos fisiológicos más pronunciados con la suplementación de  $\beta$ AA. Lo anterior es consecuencia de la movilización o reducción de la síntesis de grasa del tejido adiposo o del hígado, o ambas. Además de un efecto en el recambio proteico ya que puede haber un aumento en la síntesis de proteína o una reducción en la tasa de degradación de esta (Yang & McElligott, 1989).

El clorhidrato de ractopamina (CR) y el clorhidrato de zilpaterol (CZ) son agentes químicos farmacológicamente débiles que se absorben y depuran con rapidez en los animales que los consumen, por tanto, no provocan efectos adversos a diferencia del clorhidrato de clenbuterol (CC), un  $\beta$ AA que por su composición química lo hace más liposoluble que los anteriores, adentrándose a nivel intramuscular, limitando la excreción por el animal, esto debido a la presencia de un compuesto aromático y un cloro en su estructura química (Montgomery et al., 2009).

La actividad de la proteinasa dependiente del calcio que participa de manera directa en la degradación de proteína muscular puede disminuir en un 55-70% con el uso de cimaterol, por ejemplo, el músculo *Longissimus dorsi* puede incrementar un 30% en tamaño con su utilización (Wang & Beerman, 1988).

Con el uso del  $\beta$ AA: L-644,969 en corderos, KreTThmar, Hathaway, Epley y Dayton (1989) observaron un incremento del 59-75% en la actividad de la calpastatina (inhibidor de la  $\mu$ M-proteinasa dependiente del calcio) en el *Longissimus dorsi* el cual, resultó en un mayor crecimiento. Por lo anterior, los  $\beta$ AA pueden reducir la degradación de proteína muscular en los animales. En la Figura 2 se muestran las posibles vías de acción de los  $\beta$ AA en tejidos.

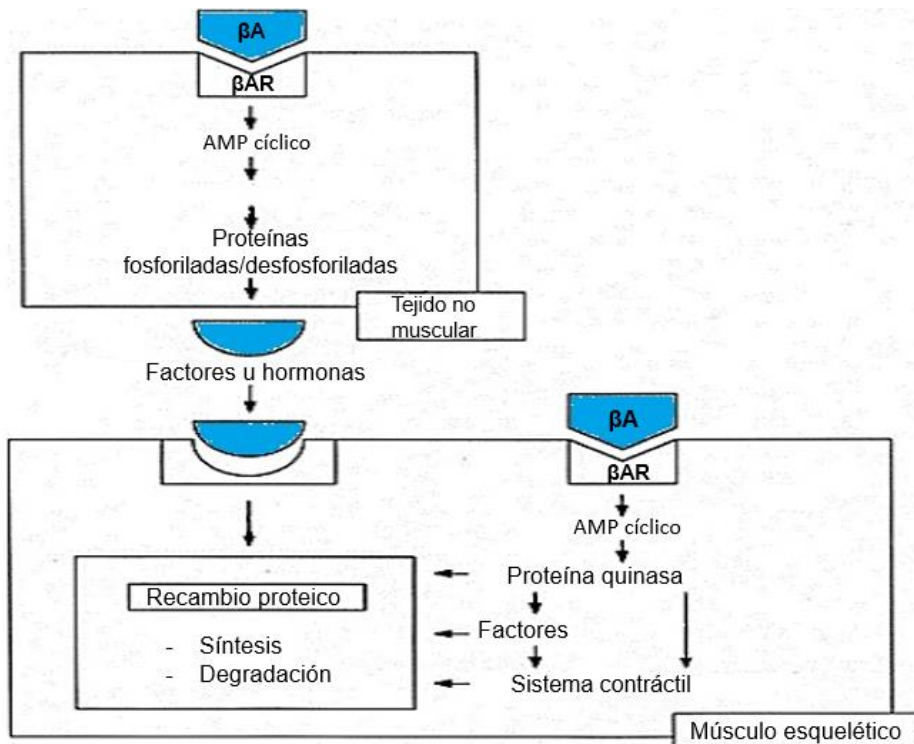


Figura 2. Posibles mecanismos de acción en el fenómeno de hipertrofia muscular inducida por los betaAA (Yang & McElligott, 1989).

### 2.2.3.1 En tejido muscular

Los betaAA son el agente más potente que promueve el crecimiento del músculo esquelético (Yang & McElligott, 1989). Estudios realizados en ratas suplementadas con clorhidrato de clenbuterol (CC) por 1-2 semanas, aumentaron su peso muscular de 10 a 20% (Emery, Rothwell, Stock & Winter, 1984). Misma tendencia ocurrió en corderos suplementados con cimaterol, durante dos meses ya que hubo un aumento en la masa muscular (25-30%) (Beermann, Hogue, Fishell, Dalrymple & Ricks, 1986; Beermann et al., 1987).

En el tejido muscular, los betaAA aumentan la perfusión sanguínea hacia el músculo, así como una mayor disponibilidad de energía y aminoácidos, en consecuencia, aumenta la síntesis y retención de proteína lo que causa una hipertrofia muscular (Beermann et al., 1987; Castellanos, Rosado, Chel & Betancur, 2006; Ekpe, Moibi & Christopherson, 2000; Li, Cristopherson, Li & Moibi, 2000). En diferentes estudios (Burr, Clausen, Holmberg, Johansson & Waldeck, 1982; Smith, Dana, Krichevsky, Bilezikian & Schonberg, 1981; Tashiro et al., 1973; Zeman,

Ludemann, Easton & Etlinger, 1988) concluyeron que otro de los factores que impactan de manera directa en el desarrollo de la masa muscular son los movimientos contráctiles, a través de la tensión y velocidad de contracción del músculo esquelético. Domínguez-Vara et al. (2009) observaron en bovinos un aumento en el peso muscular de un 40%, cuya magnitud de respuesta varió de acuerdo con el  $\beta$ AA suministrado y de factores como especie, tipo racial, sexo, edad y dieta. Algunos autores (Emery et al., 1984; Reeds et al., 1986) encontraron que la hipertrofia muscular es diferente en el músculo cardíaco que en músculo esquelético y no encontraron cambios en el crecimiento del tejido liso del intestino, riñón e hígado en respuesta a la suplementación con  $\beta$ AA. Por lo tanto, la hipertrofia muscular inducida por los  $\beta$ AA es más importante en el músculo esquelético (Yang & McElligott, 1989).

Además de la hipertrofia, ocurren cambios en el tipo de fibra muscular, también hay cambios en la proporción de ARN de transcripción para proteínas musculares como la miosina y actina (Yang & McElligott, 1989). Como apuntan Bowman y Nott (1969) los  $\beta$ AA se unen a los  $\beta$ -receptores, estimulando así la actividad adenilato ciclasa en el músculo esquelético, resultando un aumento en el AMPc y una activación de la proteína quinasa dependiente del AMPc.

#### *2.2.3.1 En el tejido adiposo*

La suplementación con  $\beta$ AA reduce la masa del tejido adiposo subcutáneo en animales productores de carne incluidos cerdos (Sillence et al., 2005), cabras (Hanrahan et al., 1986), ovejas (Beermann et al., 1986; Coleman, Ekren & Smith, 1988; Hu, Suryawan, Forsberg, Dalrymple & Ricks, 1988) y bovinos de engorda (Maxwell et al., 2015; Ricks, Baker & Dalrymple, 1984).

En el tejido adiposo aumenta el mecanismo de degradación de los lípidos, por lo que reducen o impiden la deposición de grasa. La suplementación con estos aditivos causa un aumento en el AMPc, que activa la proteína quinasa A, la cual a su vez fosforila a la hormona sensible a la lipasa. La lipasa fosforilada es la forma activa que inicia la lipólisis (Merriman, 2002).

En estudios realizados con corderos suplementados con cimaterol (Beermann et al., 1987; Coleman et al., 1988; Hu et al., 1988), encontraron un aumento en plasma de ácidos grasos no esterificados, lo cual sugiere una mayor movilización de lípidos y un aumento en la actividad sintética de ácidos grasos. Estos ácidos son producidos y exportados del adipocito para ser usados como fuentes oxidantes por otros tejidos. La síntesis y esterificación de ácidos grasos dentro del triacilglicerol (primera molécula energética almacenada en el adipocito) son procesos inhibidos por los  $\beta$ AA. Por lo tanto, su adición aumenta el catabolismo (lipólisis) y una reducción en el anabolismo (lipogénesis) de los lípidos, lo cual, conducirá a una hipertrofia reducida del adipocito y por consecuencia una reducción del depósito de grasa en la canal y en la carne (Beermann et al., 1986; Domínguez-Vara et al., 2009; Hanrahan et al., 1986; Mersmann, 1998; 2002; Van Hoof et al., 2005; Wallace et al., 1987).

#### **2.2.4 Efecto en el Comportamiento Productivo**

Kim, Lee y Ashmore (1988) reportaron un aumento de 5.6% peso vivo en corderos alimentados con cimaterol por 90 días. Pringle, Calkins, Koohmaraie y Jones (1993) concluyeron que aumentó la ganancia diaria de peso (GDP) en corderos suplementados con el  $\beta$ - adrenérgico L644, 969. Mersmann (1998) indicó que los  $\beta$ AA no causan el mismo efecto en todas las especies, debido probablemente a que los  $\beta$ -receptores del tejido adiposo no se activan de la misma forma y rapidez, posiblemente por tener un número distinto de receptores. López-Carlos et al. (2012) indicaron una mayor GDP, peso final y eficiencia alimenticia en borregos suplementados con CZ y CR por 40 días. Sin embargo, indicaron que no encontraron diferencias entre los tratamientos con  $\beta$ AA. En los Cuadros 2 y 3 se muestran los resultados de estudios realizados con  $\beta$ AA en bovinos carne.

Cuadro 2. Efecto sobre la utilización de clorhidrato de ractopamina y clorhidrato de zilpaterol en el comportamiento productivo durante la etapa de finalización en ganado bovino.

Autor(es)	Clorhidrato de Zilpaterol				Clorhidrato de Ractopamina			
	Días <sup>z</sup>	PVF	GDP	CMS	Días*	PVF	GDP	CMS
Avendaño-Reyes et al. (2006)	33	+4.07%	+35.4%	=	33	+2.21%	+31.6%	<
Scramlin et al. (2010)	33	+0.57%	+10.5%	<	33	+1.38%	+24.2%	=
Larios (2012)	28	ND	-7.5%	>	28	ND	+20%	=
Larios (2012)	56	ND	+38.46%	=	56	ND	+3.39%	<
Larios (2012)	75	ND	+30.4%	>	75	ND	+12.8%	<

<sup>z</sup>Días de inclusión del  $\beta$ AA. Respuesta en función del tratamiento testigo. PVF= peso vivo final; GDP= ganancia diría de peso; CMS= consumo de materia seca; ND= no determinado.

Avendaño-Reyes et al. (2006) observaron un aumento en la GDP en bovinos de engorda suplementados con CZ y CR, sin embargo, los toretes suplementados con CR disminuyeron su consumo, mientras que los suplementados con CZ mantuvieron un consumo constante. Scramlin et al. (2010) señalaron un mayor peso final, GDP y eficiencia alimenticia en toretes suplementados con CZ que, con CR, además, presentaron un menor consumo los que fueron suplementados con CZ diferencia del testigo o con CR. Posteriormente Larios (2012) encontró que con la adición de CZ y CR en bovinos aumentó la GDP y el consumo de MS con el uso de CZ en contraste al CR que redujo el consumo de MS.

Cuadro 3. Efecto sobre la utilización de clorhidrato de zilpaterol en el comportamiento productivo durante la etapa de finalización en ganado bovino.

Autor(es)	Clorhidrato de Zilpaterol			
	Días <sup>z</sup>	PVF	GDP	CMS
Montgomery et al. (2009)	35	+2.2%	+14.1%	<
Stackhouse-Lawson et al. (2013)	20	+9.4%	+35.3%	=
Hales et al. (2014)	21	+1.7%	+73.6%	<
Maxwell et al. (2015)	20	+2.3%	+6.6%	=

<sup>z</sup>Días de inclusión del  $\beta$ AA. Respuesta en función del tratamiento testigo. PVF= peso vivo final; GDP= ganancia diría de peso; CMS= consumo de materia seca.

Montgomery et al. (2009) y Hales et al. (2014) reportaron un aumento en el PVF y un incremento en la GDP, además de una reducción en el consumo de materia seca en becerros suplementados con CZ. Resultados similares fueron reportados por Stackhouse-Lawson et al. (2013) en su trabajo con ionóforos,  $\beta$ AA e implantantes en bovinos donde obtuvieron mejor peso final, GDP y eficiencia alimenticia con la suplementación de CZ. Sin embargo, indicaron que no encontraron diferencias entre tratamientos para consumo de materia seca. Por otro lado, Maxwell et al. (2015) reportaron un aumento en la GDP, PVF y un aumento de 5.8% en la eficiencia alimenticia en novillos suplementados con CZ.

### **2.2.5 Efecto en las Características de la Canal**

Beermann et al. (1987) reportaron un incremento en el área del *Longissimus dorsi* de 26 y 32% en corderos suplementados con cimaterol por 7 y 12 semanas. Kim et al. (1988) demostraron una reducción de 63% de la grasa de cobertura y un aumento de 30-48% del *Longissimus dorsi* en corderos alimentados con cimaterol por 90 días. Helferich et al. (1990) encontraron que la adición de CR en una dieta para cerdos promovió la síntesis proteica en el músculo esquelético al obtener un aumento de 55% de  $\alpha$ -actina. López-Carlos et al. (2012) al suplementar corderos con CR y CZ por 40 días se mejoró el peso de la canal caliente y conformación en canal sin encontrar mermas por frío.

Avendaño-Reyes et al. (2006) encontraron que el peso de la canal caliente aumentó en los bovinos suplementados con CZ y CR, obteniendo también un mayor rendimiento de la canal. El área del ojo de la costilla (AOC) fue mayor con el tratamiento de CZ, mientras que con CR reportaron que no hubo diferencias, mismo comportamiento se presentó con el grosor de grasa de cobertura. En el Cuadro 4 y 5 se muestran estudios realizados en bovinos con el uso de CR y CZ en las características de la canal de ganado bovino.



Cuadro 4. Efecto la utilización de clorhidrato de ractopamina y clorhidrato de zilpaterol en las características de la canal de ganado bovino.

Autor(es)	Clorhidrato de Zilpaterol			Clorhidrato de Ractopamina		
	<sup>2</sup> PCC	RC	AOC	PCC	RCC	AOC
Avendaño-Reyes et al. (2006)	+7.5%	+3.3%	+12.7%	+4.7%	+2.4%	+8.1%
Scramlin et al. (2010)	+3.6%	+2.9%	+11%	+1.5%	+0.04%	+0.06%
Larios (2012)	+1%	+0.5%	ND	+4%	+3.5%	ND
Garmyn et al. (2014)	+3.1%	ND	+9.4%	+0.8%	ND	+1.9%
Arp & Howard et al. (2014)	-0.4%	+2.2%	+7.9%	-0.3%	+0.6%	+2.8%

<sup>2</sup>PCC= Peso de la canal caliente; RCC= rendimiento de la canal caliente; AOC= área del ojo de la costilla; ND= no determinado.

Larios (2012) indicó que los toretes suplementados con CR y CZ presentaron mayores pesos en canal caliente. Scramlin et al. (2010) remarcaron un mayor peso de canal caliente en novillos suplementados con CZ y CR, además, menor contenido de grasa de cobertura con CZ, sin embargo, no encontraron diferencias entre tratamientos en el grado de marmoleo.

Stackhouse-Lawson et al. (2013), Garmyn et al. (2014) y Hales et al. (2014) reportaron un aumento en el peso de la canal caliente, en el rendimiento en canal y así mismo, un incremento en el área del *Longissimus dorsi* en los bovinos suplementados con CZ. Montgomery et al. (2009) indicaron un incremento en el peso de la canal caliente, una reducción de grasa de cobertura y menor marmoleo en bovinos suplementados con CZ. Hilton et al. (2014) y Hales et al. (2014) determinaron un incremento en el peso de la canal fría y rendimiento de la canal, así como un aumento en el AOC.

Por otro lado, Stackhouse-Lawson et al. (2013) reportaron una reducción en la grasa de cobertura y grado de marmoleo. Mismos resultados se obtuvieron por Arp & Howard et al. (2014) al utilizar CR y CZ. Aunque Garmyn et al. (2014) obtuvieron una menor cantidad de grasa de cobertura y que Hales et al. (2014) menor grado de marmoleo.

Cuadro 5. Efecto sobre la utilización de clorhidrato de zilpaterol en la calidad de la canal de ganado bovino.

Autor(es)	Clorhidrato de Zilpaterol		
	<sup>2</sup> PCC	RCC	AOC
Montgomery et al. (2009)	+4.1%	+1.8%	+10.3%
Stackhouse-Lawson et al. (2013)	+10.8%	+1.6%	+13.8%
Hales et al. (2014)	+2.9%	+1.2%	+7.9%
Maxwell et al. (2015)	+2.1%	+2.0%	+4.1%

<sup>2</sup>PCC= Peso de la canal caliente; RCC= rendimiento de la canal caliente; AOC= área del ojo de la costilla.

También observaron una reducción de 62.5 y 12.5% en la grasa de cobertura a los 28 y 42 días respectivamente con los tratamientos de  $\beta$ AA, además, un aumento de 12.5% del *Longissimus dorsi* con respecto a los no suplementados. Maxwell et al. (2015) obtuvieron mejor respuesta del peso de la canal caliente, así como un aumento el área del *Longissimus* en bovinos suplementados con CZ. Pero reportaron un menor grado de marmoleo y menor grasa de cobertura con el uso de CZ.

### 2.2.6 Efecto en las Características de la Carne

La calidad sensorial u organoléptica, es la medida del conjunto de sensaciones experimentadas a través de los órganos sensoriales, como la vista, el olfato, el tacto y el gusto, para identificar características del producto como: color, jugosidad, sabor, aroma, ternera, suavidad y textura (Núñez-López, Ortega-Gutiérrez, Soto-Zapata & Rodríguez-Aguilar, 2010; Schroeder, Tonsor, Pennings & Mintert, 2007), este tipo de calidad es de suma importancia en la evaluación de la calidad por el consumidor ya que si no se alcanza un nivel suficiente se produce un rechazo que las otras características de calidad no pueden compensar (Prieto et al., 2008).

#### 2.2.6.1 Efecto en el color

El color es un aspecto importante en la calidad de la carne, el cual, corresponde a la primera impresión de aceptabilidad de la carne por parte del consumidor.

Este aspecto se puede medir de manera subjetiva según la persona y de manera objetiva de acuerdo con una escala de medida de colores. En la Figura 3 se muestra la escala de coordenadas de color de acuerdo con la CIE (Commission Internationale de l'Éclairage).

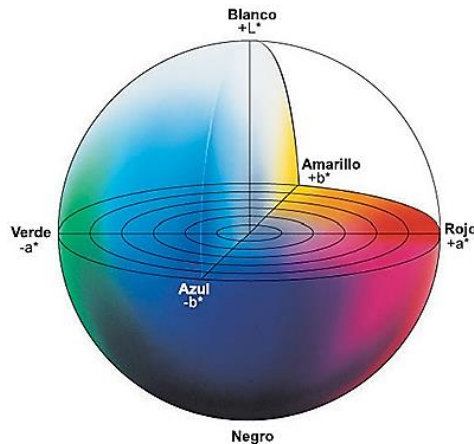


Figura 3. Escala de espacio de color (CIE  $L^*a^*b^*$ ) definida por la CIE para medir numéricamente un color. El rango  $a^*$  (+60 a -60, rojo a verde),  $b^*$  (+60 a -60, amarillo a azul). El rango de  $L^*$  (0 -100).

Avendaño-Reyes et al. (2006) y Rogers et al. (2010) no encontraron diferencias en cuanto a los valores  $L^*$  (luminosidad) y  $a^*$  (escala de rojo a verde), mientras que  $b^*$  (escala de amarillo a azul) fue mayor en carne de los novillos suplementados con CR. En contraste con Montgomery et al. (2009) que reportaron un color “rojo cereza” (mayor en la escala  $a^*$ ) y un “rojo menos oscuro” (mayor en la escala  $L^*$ ). López-Carlos et al. (2012) indicaron que la suplementación con CZ redujo los valores de  $a^*$ , pero no mostró efectos en  $L^*$  y  $b^*$ .

#### 2.2.6.2 Efecto en la terneza

Howard et al. (2014) encontraron que la adición de CR y CZ en las dietas de novillos Holstein, impactaron en forma negativa la calidad sensorial (suavidad, jugosidad y sabor de la carne). Por otro lado, Arp & Howard et al. (2014), Garmyn et al. (2014), Holmer et al. (2009), donde, dichos autores concluyeron que disminuye la suavidad de la carne de los novillos suplementados con  $\beta$ AA a mayor tiempo de suplementación. A pesar de ello, dicho efecto tiende a disminuir

con la maduración *postmortem*. Sin embargo, Brooks et al. (2009) encontraron que la dureza de la carne está asociada en forma lineal a tiempos de suplementación más largos de CZ ya que, en el día 20 aumentó 10.88% y en el día 40, 17.88% los valores de WBSF en el *Gluteus Medius*, sin embargo, dichos valores se redujeron en 9.87% del día 7 al día 20 *postmortem* con el uso de CZ a diferencia del tratamiento sin  $\beta$ AA.

### 2.2.6.3 Efecto en la Calidad nutritiva de la Carne

La composición química promedio del tejido muscular del bovino, libre de grasa subcutánea, consiste en 75% de humedad, 22.3% de proteína, de 1.8-5.4 % de lípidos, 0.5–1.5% de carbohidratos y 1.2% de cenizas (FAO, 2017). En México, de acuerdo con Delgado, Rubio, Iturbe, Méndez, Cassís & Rosiles (2004) la producción de ganado bovino se encuentra en tres regiones geográficas principales (norte, centro y sur) las cuales difieren en sistema de alimentación, razas utilizadas y productos obtenidos. Se han realizado estudios de las características nutritivas (humedad, grasa, proteína y colágeno total) de la carne de bovino por región geográfica en México, los cuales se muestran en el Cuadro 5.

Cuadro 6. Contenido nutricional de la carne de bovino por región geográfica en México.

Concepto	Norte	Centro	Sur
Humedad (%)	72.9	73.6	72.2
Grasa (%)	3.0	2.7	3.6
Proteína (%)	21.7	22.3	22.3
Colágeno (mg g <sup>-1</sup> )	17.4	15.8	17.0

Delgado et al. (2004)

Holmer et al. (2009) encontraron que la suplementación de CZ en novillos Holstein no afecta el contenido de humedad en el *Gluteus medius*. Sin embargo, en el *Longissimus lumborum*, indicaron menor contenido de grasa.

Garmyn et al. (2014) no encontraron efecto en el contenido de humedad, grasa y pH en novillos suplementados con CZ y CR. Sin embargo, la carne de los bovinos suplementados con CZ tuvo mayor contenido de proteína y menos colágeno a

diferencia de aquellos suplementados con CR y el testigo, cuyos valores no fueron diferentes. También encontraron que la grasa y el colágeno tienen una relación de incremento lineal.

López-Carlos et al. (2012) indicaron que no hubo diferencias entre tratamientos de las principales características de la carne (pH, pérdidas por humedad, y composición química) a excepción del contenido de grasa que fue reducido en los tratamientos con CR y CZ en corderos.

## **2.3 Difosfato de tiamina**

### **2.3.1 Vitaminas**

Son un grupo de nutrientes orgánicos que se utilizan en pequeñas cantidades para la realización de funciones bioquímicas. Sin embargo, algunas no pueden ser sintetizadas por el organismo, por lo que deben de estar suministradas en la dieta. Signos de deficiencia pueden presentarse debido a enfermedades que alteran la digestión y absorción de estas vitaminas, así como dietas bajas en grasa o con aportes insuficientes de estas (Ganong, 2010 y Rodwell, 2015).

Estos nutrientes se dividen en dos grupos: vitaminas liposolubles e hidrosolubles. Las primeras son compuestos liposolubles que pueden absorberse con eficiencia solo cuando hay absorción normal de lípidos entre las cuales se encuentran las vitaminas A, D, E y K, se transportan en la sangre por medio de las lipoproteínas o fijadas en proteínas de unión específica. Cumplen con diferentes funciones en el organismo como metabolismo de minerales, antioxidantes, coagulación de sangre, visión y diferenciación celular (Ganong, 2010). Cantidades adecuadas de estas vitaminas ayudan a un buen funcionamiento del organismo, sin embargo, excesos pueden provocar intoxicación y mal funcionamiento del organismo (Rodwell, 2015).

Las vitaminas hidrosolubles funcionan principalmente como cofactores de enzimas, dentro de las cuales se encuentran las vitaminas del complejo B y la C. La deficiencia de alguna sola vitamina del complejo B es rara, debido a que las

dietas inadecuadas se relacionan más con estados de deficiencia múltiple (Rodwell, 2015).

### 2.3.2 Vitamina B<sub>1</sub>

También conocida como tiamina, la vitamina B<sub>1</sub> tiene una función importante en el metabolismo que genera energía, especialmente en el de los carbohidratos. El difosfato de tiamina también llamado pirofosfato de tiamina o cocarboxilasa (Fielder et al., 2002) forma activa de la vitamina B<sub>1</sub>, es una pirimidina que contiene un anillo pirimidino (2,5-dimetil-6-aminopirimidino) y un anillo tiazol (tiazol etil 4-metil-5-hidroxi) unidos por un puente metilo. También participa como coenzima para tres complejos múltiples de descarboxilación oxidativa (Cuadro 6), donde esta coenzima dona un carbono reactivo en la parte del triazol que forma un carbanión y después se agrega al grupo carbonilo como el piruvato y se forma por fosforilación de la tiamina por ATP en una reacción catalizada por la tiamina pirofosfoquinasa (Rodwell, 2015).

Cuadro 7. Reacciones de descarboxilación oxidativa donde participa el difosfato de tiamina como coenzima.

Proceso	Reacción
Metabolismo de carbohidratos	Piruvato deshidrogenasa
Ciclo del ácido cítrico (ciclo de Krebs)	$\alpha$ -cetoglutarato deshidrogenasa
Metabolismo de la leucina, isoleucina y valina	Cetoácido de cadena ramificada deshidrogenasa
Ruta de la pentosa fosfato/lanzadera	Fase oxidativa: se genera NADPH Fase no oxidativa: síntesis de pentosas-fosfato y otros monosacáridos-fosfato

Bender, 2009

El difosfato de tiamina es un importante cofactor de distintas enzimas en el metabolismo de energía en la célula. Es esencial en la biocatálisis que se encuentra involucrada en numerosas rutas metabólicas o un gran número de funciones catalíticas. La deficiencia de esta vitamina puede acarrear problemas cardíacos y en el sistema nervioso, causando tres síndromes: neuritis periférica crónica, beriberi, beriberi pernicioso agudo y encefalopatía de Wernicke (Bender, 2009).

La función del pirofosfato de tiamina en la piruvato deshidrogenasa se traduce como una alteración en la conversión de acetil CoA cuando hay deficiencia de dicha vitamina. Por lo tanto, cuando hay una dieta relativamente alta en carbohidratos, origina un incremento en las concentraciones plasmáticas de lactato y piruvato, lo que provoca una acidosis láctica que puede causar la muerte (Bender, 2015).

En el humano y otros mamíferos la tiamina no puede ser sintetizada, tienen que obtenerla de los nutrientes exógenos vía absorción intestinal para su absorción y mantenimiento de los niveles adecuados de esta vitamina. Además, es un optimizador de energía metabolizable de alta eficiencia que mejora los parámetros de producción al propiciar la utilización de mayores cantidades de energía, sobre todo de aquella que los organismos no pueden metabolizar (Montenegro et al., 2000).

En la engorda de bovinos de carne hay poca información que respalde la utilización del difosfato de tiamina. Uno de estos trabajos corresponde al de Carrera (2017) donde suplementó a bovinos carne con difosfato de tiamina y reportó que la suplementación con este aditivo mejora el consumo entre los periodos de transición de una dieta y otra, haciendo que la ingesta de alimento no se reduzca. En cuanto a características de la canal, no identificó mejoras significativas en el peso de la canal caliente y rendimiento en canal con el uso de este aditivo. Además, no señaló diferencias en el contenido de grasa, humedad y colágeno, sin embargo, hubo una reducción en el contenido proteico de la carne. Adicional a este, Landa-Trujillo (2016) no encontró diferencias en PVF, ganancia total de peso y GDP en novillos en finalización suplementados con difosfato de tiamina durante 90 días, y a pesar de que no se analizó de forma estadística el consumo, este denota una diferencia numérica mínima entre el tratamiento con difosfato de tiamina y el testigo. Por otro lado, Hernández (2010) no encontró diferencias en ganancia de peso entre becerras suplementadas y no suplementadas con difosfato de tiamina por 60 días.

Por todo lo anteriormente revisado se concluye que la utilización de  $\beta$ AA en la finalización de ganado bovino tiene un efecto importante en la respuesta productiva como PVF, GDP, así como EA, de igual forma, en las características de la canal fundamentalmente en la conformación (desarrollo muscular) y grado de engrasamiento (grasa de cobertura y grasa de marmoleo). Dichas variables juegan un papel importante dentro del sistema económico productivo y su preservación en el mercado. Sin embargo, la mayoría de los estudios se han llevado a cabo en sistemas de finalización en confinamiento en las regiones templadas, áridas y semi-áridas del país y otras regiones del mundo; habiendo poca información de la implementación de este tipo de aditivos en la finalización de ganado bovino en sistemas de trópico seco, siendo regiones importantes en la producción de alimentos de origen animal y vegetal.

## 2.4 Literatura citada

- Apperly, G. H., Daly, M. J., & Levy, G. P. (1976). Selectivity of beta-adrenoceptor agonists and antagonists on bronchial, skeletal, vascular and cardiac muscle in the anaesthetized cat. *Br. J. Pharmacol*, 57, 235-246.
- Arp, T. S., Howard, S. T., Woerner, D. R., Scanga, J. A., McKenna, D. R., Kolath, W. H., Chapman, P. L., Tatum, J. D., & Belk, K. E. (2014). Effects of ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride supplementation on *Longissimus* muscle shear force and sensory attributes of beef steers. *J. Anim. Sci.*, 2013.91:5989–5997, doi:10.2527/jas2013-7042.
- Arp, T. S., Howard, S. T., Woerner, D. R., Scanga, J. A., McKenna, D. R., Kolath, W. H., Chapman, P. L., Tatum, J. D., & Belk, K. E. (2014). Effects of dietary ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride supplementation on performance, carcass traits, and carcass cutability in beef steers. *J. Anim. Sci.*, 92:836–843, doi:10.2527/jas2013-7122.
- Avendaño-Reyes, L., Torres-Rodríguez, V., Meraz-Murillo, F. J., Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F., & Robinson, P. H. (2006). Effects of two  $\beta$ -adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. *J. Anim. Sci.*, 84, 3259–3265, doi:10.2527/jas.2006-173.
- Avendaño-Reyes, L., Meraz-murillo, F. J., Pérez-linares, C., Figueroa-Saavedra, F., Correa, A., Álvarez-Valenzuela, F. D., Guerra-Liera, J. E., López-Rincón, G., & Macías-Cruz, U. (2016). Evaluation of the efficacy of Grofactor, a beta-adrenergic agonist based on zilpaterol hydrochloride,



using feedlot finishing bulls. *J. Anim. Sci.* 94: 2954–2961  
doi:10.2527/jas2015-9878.

- Beermann, D. H., Hogue, D. E., Fishell, V. K., Dalrymple, R. H., & Ricks, C. A. (1986). Effects of cimaterol and fishmeal on performance carcass characteristics and skeletal muscle growth in lambs. *J. Anim. Sci.*, 62, 370-380, doi:10.2527/jas1986.622370x.
- Beermann, D. H., Butler, W. R., Hogue, D. E., Fishell, V. K., Dalrymple, R. H., Ricks, C. A., & Scanes, C. G. (1987). Cimaterol-induced muscle hypertrophy and altered endocrine status in lambs. *J. Anim. Sci.*, 65, 1514-1524, doi:10.2527/jas1987.6561514x.
- Bender, D. A. (2009). Harper Bioquímica Ilustrada (28ª edición). Temas especiales; Micronutrientes: vitaminas y minerales. Bioquímica de Harper. Manual Moderno, México, D.F. Sección VI, p. 467.
- Bowman, W. C., & Nott, M. W. (1969). Actions of sympathomimetic amines and their antagonists on skeletal muscle. *Pharmacol, Rev.* 21, 27-72.
- Burr, T., Clausen, T., Holmberg, E., Johansson, U., & Waldeck, B. (1982). Desensitization by terbutaline of 3-adrenoceptors in the guinea-pig soleus muscle: biochemical alterations associated with functional changes. *Br. J. Pharmacol*, 76, 313-317, doi: 10.1111/j.1476-5381.1982.tb09222.x.
- Brooks, J. C., Claus, H. C., Dikeman, M. E., Shook, J., Hilton, G. G., Lawrence, T. E., Mehaffey, J. M., Johnson, B. J., Allen, D. M., Streeter, M. N., Nichols, W. T., HuTTheson, J. P., Yates, D. A., & Miller, M. F. (2014) Effects of zilpaterol hydrochloride feeding duration and postmortem aging on Warner-Bratzler shear force of three muscles from beef steers and heifers. *J. Anim. Sci.*, 87:3764–3769, doi:10.2527/jas.2009-1885.
- Carrera-Cabrera, L. A. (2017). Uso de promotores de crecimiento (difosfato de tiamina y clorhidrato de zilpaterol) en la finalización de toretes en confinamiento. Tesis profesional, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 75 p.
- Castellanos, R. A. F.; Rosado, R. J. G.; Chel, G. L. A., & Betancur, A. D. A. (2006). Empleo del zilpaterol en novillos con alimentación intensiva en Yucatán, México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 14, Núm. 2, 56-59.
- Coleman, M. E., Ekren, P. A., & Smith, S. B. (1988). Lipid synthesis and adipocyte growth in adipose tissue from sheep chronically fed a beta-adrenergic agent. *J. Anim. Sci.*, 66:372-378, doi:10.2527/jas1988.662372x.

- Delgado, E. J., Rubio, M. S., Iturbe, F. A., Méndez, R. D., Cassís, L., & Rosiles, R. (2004). Composition and quality of Mexican and imported retail beef in Mexico. *Meat Science*, 69, 465-471, doi:10.1016/j.meatsci.2004.10.003.
- Domínguez-Vara, I. A., Mondragón, A. J., González, R. M., Salazar, G. F., Bórquez, G. J. L., & Aragón, M. A. (2009). Los  $\beta$ -agonistas adrenérgicos como modificadores metabólicos y su efecto en la producción, calidad e inocuidad en la carne de bovinos y ovinos: una revisión. *CIENCIA ergo sum*, 16, 278-284.
- Drennan, W. G., & Yong, M. S. (1994). Clenbuterol not approved for use in cattle in Canada. *Canadian Veterinary Journal*, 35(8), 1994, pp. 474-474.
- Dunshea, F. R., D'Souza, D. N., Pethic, D. W., Harper, G. S., & Warner, R. D. (2005). Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat Sci.* 71:8–38, doi:10.1016/j.meatsci.2005.05.001.
- Ekpe, E. D., Moibi, J. A., & Christopherson, R. J. (2000). Beta-adrenergic receptors in skeletal muscles of ruminants: effects of temperature and feed intake. *Canadian Journal of Animal Science*, 80, 20, doi:10.4141/A99-027.
- Emery, P. W., Rothwell, N. J., Stock, M. J., & Winter, P. D. (1984). Chronic effects of  $\beta_2$ -adrenergic agonists on body composition and protein synthesis in the rat. *Biosci.*, 4, 83-91, doi: 10.1007/BF01120827.
- FAO. (2017). Producción y Sanidad Animal. Composición nutricional de la carne. Departamento de Agricultura y Protección al consumidor. Disponible en: [http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr\\_composition.html](http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html). Consultado el 10 de julio de 2017.
- Fiedler, E., Thorell, S., Sandalova, T., Golbik, R., König, S., & Schneider, G. (2002). Snapshot of a key intermediate in enzymatic thiamin catalysis: crystal structure of the alpha-carbanion of (alpha,beta-dihydroxyethyl)-thiamin diphosphate in the active site of transketolase from *Saccharomyces cerevisiae*. *PNAS.* 99 (2):591-5, doi:10.1073/pnas.022510999.
- Gadberry, S. (2015). Feed Additives for Beef Cattle. Agriculture and Natural Resources. University of Arkansas. FSA3012.
- Ganong, W. F. (2010). Fisiología Médica (23<sup>a</sup> ed. Esp.), Manual Moderno. México, D. F. Sección II., 5. P. 109.

- Garmyn, A. J., Brooks, J. C., Hodgen, J. M., Nichols, W. T., HuTTheson, J. P., Rathmann, R. J., & Miller, M. F. (2014). Comparative effects of supplementing beef steers with zilpaterol hydrochloride, ractopamine hydrochloride, or no beta agonist on strip loin composition, raw and cooked color properties, shear force, and consumer assessment of steaks aged for fourteen or twenty-one days postmortem. *J. Anim. Sci.*, 92:3670–3684, doi:10.2527/jas2014-7840.
- Hanrahan, J. P., Quirke, J. F., Bomann, W., Allen, P., McEwan, J. C., Fitzsimons, J. M., Kotzian, J., & Roche, J. F. (1986).  $\beta$ -agonist and their effects on growth and carcass quality. *Recent Advances in Animal Nutrition* (Haresigh, W., ed.), pp. 125-138, doi: 10.1016/B978-0-407-01162-5.50013-7.
- Hales, K. E., Shackelford, S. D., Wells, J. E., King, D. A., Hayes, M. D., Brown-Brandl, T. M., Kuehn, L. A., Freetly, H. C., & Wheeler, T. L. (2014). Effects of feeding dry-rolled corn-based diets with and without wet distillers grains with solubles and zilpaterol hydrochloride on performance, carcass characteristics, and heat stress in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.*, 92:4023–4033, doi:10.2527/jas2014-7638.
- Helferich, W. G., Jump, D. B., Anderson, D. B., Skjaerlund, D. M., Merkel, R. A., & Bergen, W. G. (1990). Skeletal muscle  $\alpha$ -actin synthesis is increased pretranslationally in pigs fed the phenethanolamine ractopamine. *Endocrinology*, 126, Issue 6, 1 Pages 3096–3100, doi:10.1210/endo-126-6-3096.
- Hernández-Vistha, J. (2010). *Modificación de Parámetros Productivos en Becerras Holstein mediante el uso de Cocarboxilasa*. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Coahuila, México. 45 p.
- Hilton, G. G., Garmyn, A. J., Lawrence, T. E., Miller, M. F., Brooks, J. C., Montgomery, T. H., Griffin, D. B., VanOverbeke, D. L., Elam, N. A., Nichols, W. T., Streeter, M. N., HuTTheson, J. P., Allen, D. M., & Yates, D. A. (2014). Effect of zilpaterol hydrochloride supplementation on cutability and subprimal yield of beef steer carcasses. *J. Anim. Sci.*, 88:1817–1822. doi:10.2527/jas.2009-2386.
- Holmer, S. F., Fernández-Dueñas, D. M., Scramlin, S. M., Souza, C. M., Boler, D. D., McKeith, F. K., Killefer, J., Delmore, R. J., Beckett, J. L., Lawrence, T. E., VanOverbeke, D. L., Hilton, G. G., Dikeman, M. E., Brooks, J. C., Zinn, R. A., Streeter, M. N., HuTTheson, J. P., Nichols, W. T., Allen, D. M., & Yates, D. A. (2009). The effect of zilpaterol hydrochloride on meat quality of calf-fed Holstein steers. *J. Anim. Sci.*, 87:3730–3738, doi:10.2527/jas.2009-1838.

- Howard, S. T., Woerner, D. R., Vote, D. J., Scanga, J. A., Chapman, P. L., Bryant, T. C., Acheson, R. J., Tatum, J. D., & Belk, K. E. (2014). Effects of ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride supplementation on *Longissimus* muscle shear force and sensory attributes of calf-fed Holstein steers. *J. Anim. Sci.*, 92:376–383 doi:10.2527/jas2013-7041.
- Howard, S. T., Woerner, D. R., Vote, D. J., Scanga, J. A., Acheson, R. J., Chapman, P. L., Bryant, T. C., Tatum, J. D., & Belk, K. E. (2014). Effects of ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride supplementation on carcass cutability of calf-fed Holstein steers. *J. Anim. Sci.*, 92:369–375 doi:10.2527/jas2013-7104.
- Hu, C. Y., Suryawan, A., Forsberg, N. E., Dalrymple, R. H., & Ricks, C. A. (1988). Effect of cimaterol on sheep adipose tissue lipogenesis. *J. Anim. Sci.*, 66: 6: 1393-1400doi:10.2527/jas1988.6661393x.
- Kim, Y. S., Lee, Y. B., & Ashmore, C. R. (1988). Effects of cimaterol on carcass and skeletal muscle characteristics under *ad libitum* and restricted feeding conditions in lambs. *AJAS.*, 1 (No. 4), 223-232, doi:10.5713/ajas.1988.223.
- KreTThmar, D. H., Hathaway, M. R., Epley, R. J., & Dayton, W. R. (1989). *In vivo* effect of a  $\beta$ -adrenergic agonist on activity of calcium-dependent proteinases, their specific inhibitor, and cathepsins B and H in skeletal muscle. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 275, Issue 1, 15, P. 228-235, doi.org/10.1016/0003-9861(89)90368-8.
- Landa-Trujillo, J. A. (2016). Efecto de la administración de vitamina B1 sobre el comportamiento productivo de toretes en corral de engorda. Tesis Profesional, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. 37 p.
- Larios, C. S. (2012). Evaluación del comportamiento productivo, rendimiento en canal y costos de producción de ganado bovino en finalización suplementado con beta-agonistas. Tesis profesional, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 75 p.
- Li, Y. Z., Cristopherson, R. J., Li, B. T., & Moibi, J. A. (2000). Effects of a  $\beta$ -adrenergic agonist (L-644,969) on performance and carcass traits of growing lambs in a cold environment. *Canadian Journal of Animal Science*, 80(3), 459-465, doi:10.4141/A99-076.
- Liggett, S. B., Shah, S. D., & Cryer, P. E. (1988). Characterization of beta-adrenergic receptors of human skeletal muscle obtained by needle biopsy. *Am. J. Physiol.*, 254, 795-798.

- López, C. D. G., Hernández, B. C. A., Loredó, O. J., Adame, G. J. A., & Guerrero, G. S. (2014). Relación beneficio – costo utilizando dos  $\beta$ -adrenérgicos en la engorda de bovinos en corral. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 34, 883-896.
- López-Carlos, M. A., Ramírez, R. G., Aguilera-Soto, J. I., Rodríguez, H., Aréchiga, C. F., Méndez-Llorente, F., Chavez, J. J., Medina, C. A., & Silva, J. M. (2012). Effect of the administration program of 2  $\beta$ -adrenergic agonists on growth performance and carcass and meat characteristics of feedlot ram lambs. *J. Anim. Sci.*, 90:1521–1531, doi:10.2527/jas2010-3513.
- Maxwell, C. L., Bernhard, B. C., O'Neill, C. F., Wilson, B. K., Hixon, C. G., Haviland, C. L., Grimes, A. N., Calvo-Lorenzo, M. S., VanOverbeke, D. L., Mafi, G. G., Richards, C. J., Step, D. L., Holland, B. P., & Krehbiel, C. R. (2015) The effects of technology use in feedlot production systems on feedlot performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.*, 93:1340–1349, doi:10.2527/jas2014-8127.
- McElligott, M. A., Mulder, J. E., Chaung, L. Y., & Barreto, A. Jr. (1987). Clenbuterol-induced muscle growth: investigation of possible mediation by insulin. *Am. J. Physiol.*, 253, 370-375, doi: 10.1152/ajpendo.1987.253.4.E370.
- McElligott, M. A., Barreto, A. Jr., & Chaung, L. Y. (1989). Effect of continuous and intermittent clenbuterol feeding on rat growth and muscle. *Comp. Biochem. Physiol.*, 92, 135-138.
- Mersmann, H. J. (1998). Overview of the effects of  $\beta$ -adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action. *J. Anim. Sci.*, 76(1):160-72, doi:10.2527/1998.761160x.
- Mersmann, H. J. (2002). Beta-adrenergic receptor modulation of adipocyte metabolism and growth. *J. Anim. Sci.*, 80, (E. Suppl. 1), 24-29, doi:10.2527/animalsci2002.0021881200800ES10005x.
- Montenegro, A. H., Benitez, A. E., Leyva, A. S., Vázquez, A. N., Rodríguez, T. M., López, R. M., & Gómez, M. A. (2000). Disfunciones hepáticas tratadas con pirofosfato de tiamina. *Bioquímica* 2:45-48.
- Montgomery, J. L., Krehbiel, C. R., Cranston, J. J., Yates, D. A., HuTTheson, J. P., Nichols, W. T., Streeter, M. N., Swingle, R. S., & Montgomery, T. H. (2009). Effects of dietary zilpaterol hydrochloride on feedlot performance and carcass characteristics of beef steers fed with and without monensin and tylosin. *J. Anim. Sci.*, 87:1013–1023, doi:10.2527/jas.2008-1169.
- Núñez-López, J. J., Ortega-Gutiérrez, J. A., Soto-Zapata, M., & Rodríguez-Aguilar, M. L. (2010). Factores socioeconómicos que determinan el

- consumo de carne de bovino en dos ciudades en Chihuahua, México. *Tecnociencia*, 4(3): 142-153.
- Parish, J., & Rhinehart, J. (2009). *Feed Additives for Beef Cattle Diets*. Department of Agriculture. Publication 2518. POD01-09.
- Prieto, M., Mouwen, J. M., López P. S., & Cerdeño S. A. (2008). Concepto de calidad en la industria agroalimentaria. *Interciencia*, 33(4): 258-264.
- Pringle, T. D., Calkins, C. R., Koohmaraiet, M., & Jones, S. J. (1993). Effects over time of feeding a  $\beta$ -adrenergic agonist to whether lambs on animal performance, muscle growth, endogenous muscle proteinase activities, and meat tenderness. *J. Anim. Sci.*, 71, 3:636-644, doi:10.2527/1993.713636x.
- Reeds, P. J., Hay, S. M., Dorwood, P. M., & Palmer, R. M. (1986). Stimulation of muscle growth by clenbuterol: lack of effect on muscle protein biosynthesis. *Br. J. Nutr.*, 56(1), 249-258, doi:10.1079/BJN19860104.
- Ravindran, V. (2010). *Aditivos en la Alimentación Animal: Presente y Futuro*. Institute of Food, Nutrition and Human Health. XXVI Curso de Especialización FEDNA. Madrid, España. 25 p.
- El Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea. (2003). Reglamento (CE) No 1831/2003 del Parlamento Europeo y del Consejo de 22 de septiembre de 2003 sobre los aditivos en la alimentación animal. *Diario oficial de Unión Europea*. L 268/43.
- Ricks, C. A., Baker, P. K., & Dalrymple, R. H. (1984). Use of repartitioning agents to improve performance and body composition of meat animals. *Proc. Recip. Meat. Conf. Lubbock, TX.*, 37:5–11.
- Rodwell. V., Kennelly, P., Bender, D., Weil, P., & Botham, K. (2015). Micronutrientes: vitaminas y minerales. In Bender, D. A. (Ed.), *Harper Bioquímica Ilustrada (30va ed. Esp.)* (pp. 546-563). México: McGraw Hill Education.
- Rogers, H. R., Brooks, J. C., Hunt, M. C., Hilton, G. G., VanOverbeke, D. L., Killefer, J., Lawrence, T. E., Delmore, R. J., Johnson, B. J., Allen, D. M., Streeter, M. N., Nichols, W. T., HuTTheson, J. P., Yates, D. A., Martin, J. N., & Miller, M. F. (2010). Effects of zilpaterol hydrochloride feeding duration on beef and calf-fed Holstein strip loin steak color. *J. Anim. Sci.* 2010. 88, 1168–1183, doi:10.2527/jas.2009-2369.
- Rubio, L. Ma. S., Braña, V. D., Méndez, M. D., Torrescano, U. G. R., Sánchez, E. A., Pérez, L. C., Figueroa, S. F., & Delgado, S. E. (2013). *Guía práctica para la estandarización y evaluación de canales bovinas mexicanas*.

Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal. Folleto Técnico No. 23. 66 p.

- Schroeder, T. C., Tonsor, G. T., Pennings, J. M. E., & Mintert, J. (2007). Consumer food safety risk perceptions and attitudes impacts on beef consumption across countries. *Journal of Economic Analysis and Policy*, 7(1), 1682-1934, doi.org/10.2202/1935-1682.1848.
- Scramlin, S. M., Platter, W. J., Gomez, R. A., Choat, W. T., McKeith, F. K., & Killefer, J. (2010). Comparative effects of ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride on growth performance, carcass traits, and *Longissimus* tenderness of finishing steers. *J. Anim. Sci.*, 88:1823–1829, doi:10.2527/jas.2009-2405.
- Sillence, M. N., Hooper, J., Zhou, G. H., Liu, Q., & Munn, K. J. (2005). Characterization of porcine  $\beta$ 1- and  $\beta$ 2-adrenergic receptors in heart, skeletal muscle, and adipose tissue, and the identification of an atypical  $\beta$ -adrenergic binding site. *J. Anim. Sci.*, 83:2339–2348, doi:10.2527/2005.83102339x.
- Soria, J. L. B., & Arias, M. J. A. (1997). Señalización celular por segundos mensajeros. *In: Curso Internacional Pre-congreso: "Actualización en Fisiología"*. XI Congreso Nacional de Temas Fisiológicos. Ed. Sociedad Nacional de Temas Fisiológicos.
- Shelver, W. L., & Smith, D. J. (2006). Tissue residues and urinary excretion of zilpaterol in sheep treated for 10 days with dietary zilpaterol. *J. Agric. Food Chem.*, 54, 4155-4161, doi:10.1021/jf060552m.
- Smith, T. J., Dana, R., Krichevsky, A., Bilezikian, J. P., & Schonberg, M. (1981). Inhibition of  $\beta$ -adrenergic responsiveness in muscle cell cultures by dexamethasone. *Endocrinology*, 109, 2110-2116, doi:10.1210/endo-109-6-2110.
- Smith, D. J., & Paulson, G. D. (1997). Distribution, elimination, and residues of [ $^{14}$ C] clenbuterol HCl in Holstein calves. *J. Anim. Sci.*, 75:454–461, doi:10.2527/1997.752454x.
- Stackhouse-Lawson, K. R., Calvo, M. S., Place, S. E., Armitage, T. L., Pan, Y., Zhao, Y., & Mitloehner, F. M. (2013) Growth promoting technologies reduce greenhouse gas, alcohol, and ammonia emissions from feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 91:5438–5447, doi:10.2527/jas2011-4885.
- Stock, R., & Mader, T. (1985). G85-761 Feed Additives for Beef Cattle. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln. Institute of Agriculture and Natural Resources. Extension. 294.

- Sumano, L. H., Ocampo, C. L., & Gutiérrez, O. L. (2002). Clenbuterol y otros  $\beta$ -agonistas ¿una opción para la producción pecuaria o un riesgo para la salud pública? *Veterinaria México*, 33, Núm. 2. 33 p.
- Tashiro, N. (1973). Effects of isoprenaline on contractions of directly stimulated fast and slow muscles of the guinea pig. *Br. J. Pharmacol*, 48, 121-131, doi:10.1111/j.1476-5381.1973.tb08229.x.
- USDA-FAS. (2016). Mexico: Livestock and Products Annual. USDA. Disponible en: <https://www.fas.usda.gov/data/mexico-livestock-and-products-annual-2>. Consultado 24 de noviembre de 2017.
- Van Hoof, N., Schilt, R., Van der Vlis, E., Boshuis, P., Van Baak, M., Draaijer, A., De Wasch, K., Van de Wiele, M., Van Hende, J. Courtheyn, D., & De Brabander, H. (2005). Detection of zilpaterol (Zilmax ®) in calf urine and faeces with liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Analytical Chemical Acta*. 529, 189-197, doi.org/10.1016/j.aca.2004.08.072.
- Waldeck, B., Jeppsson, A.-B., & Widmark, E. (1986). Partial agonism and functional selectivity: A study on  $\beta$ -adrenoceptor mediated effects in tracheal, cardiac and skeletal muscle. *Acta Pharmacol. Toxicol.*, 58, 209-218, 10.1111/j.1600-0773.1986.tb00096.x.
- Wallace, D. H., Hedrick, H. B., Seward, R. L., Daurio, C. P., & Convey, E. M. (1987).  $\beta$ -Agonists and their effects on animal growth and carcass quality. (Hanrahan, J. P., ed.) Elsevier Applied Science, pp. 143-151.
- Wang, S.-Y., & Beermann, D. H. (1988). Reduced calcium-dependent proteinase activity in cimaterol-induced muscle hypertrophy in lambs. *J. Anim. Sci.*, 66, 2245-2550, doi:10.2527/jas1988.66102545.
- Watson-Wright, W. M., & Wilkinson, M. (1986). The muscle slice — A new preparation for the characterization of beta adrenergic binding in fast- and slow-twitch skeletal muscle. *Muscle Nerve*, 9, 416-422, doi:10.1002/mus.880090506.
- Williams, P. E. V., Pagliani, L., Innes, G. M., Pennie, K., Harris, C. I., & Carthwaite, P. (1987). Effects of a  $\beta$ -agonist (clenbuterol) on growth, carcass composition, protein and energy metabolism of veal calves. *Br. J. Nutr.* 57, 417-428, doi:10.1079/BJN19870049.
- Yang, Y. T., & McElligott, M. A. (1989). Multiple actions of the  $\beta$ -adrenergic agonists on skeletal muscle and adipose tissue. *Biochem. J.*, 261, 1-12, doi: 10.1042/bj2610001.
- Zeman, R. J., Ludemann, R., Easton, T. G., & Etlinger, J. D. (1988). Slow to fast alterations in skeletal muscle fibers caused by clenbuterol, a beta 2-receptor agonist. *Am. J. Physiol.*, 254, 726-732.



### 3. RESPUESTA PRODUCTIVA, COSTOS DE PRODUCCIÓN, CALIDAD DE LA CANAL Y DE LA CARNE DE TORETES SUPLEMENTADOS CON DIFOSFATO DE TIAMINA Y $\beta$ -AGONISTAS

Rosas-Aragón, J., Aranda-Osorio, G., Palma-García, J. M., Sánchez-del Real, C.

#### 3.1 Resumen

El objetivo del presente estudio fue evaluar la respuesta productiva, relación Beneficio-Costo, calidad de la canal y de la carne en la finalización de toretes suplementados con aditivos. Sesenta toretes de cruza comerciales (*Bos taurus* x *Bos indicus*) con un peso vivo inicial de  $338 \pm 32$  kg se alojaron en cinco corrales. El periodo de alimentación duró 139 días y en los últimos 49 se ofreció la dieta de finalización de acuerdo con los tratamientos asignados de manera aleatoria: 1) Testigo (TT, sin aditivos); 2) Difosfato de tiamina (DT) ( $1 \text{ kg} \cdot \text{ton}^{-1}$ ); 3) DT+Clorhidrato de ractopamina (CR) ( $300 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$ ); 4) DT+Clorhidrato de zilpaterol (Lab. Virbac) (CZ1) ( $125 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$ ); y 5) DT+Clorhidrato de zilpaterol (Lab. Pisa) (CZ2) ( $125 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$ ). La respuesta productiva fue evaluada con los resultados de los 60 toretes al término de la etapa de finalización. Posteriormente, se sacrificaron 4 toretes por tratamiento y se obtuvieron las chuletas de entre la 12va y 13va costilla para evaluar las características de calidad de la canal y de la carne. Los datos se analizaron mediante ANCOVA con una vía de clasificación y una covariable. De acuerdo con TT: el tratamiento DT+CZ2 mejoró ( $P < 0.05$ ) 55.6% la ganancia diaria y 8.5% el peso final. Las características de calidad de la canal fueron similares entre tratamientos ( $P > 0.05$ ). DT+CZ2 aumentó 22.4% el valor de  $L^*_{24}$  ( $L^*$ , en canal fría) y redujo 21.1% el valor de  $a^*_{45}$  ( $a^*$ , en canal caliente) ( $P < 0.05$ ). La relación Beneficio-Costo fue 5.6% mejor con DT+CZ2 en comparación a TT. En general, el tipo de aditivo  $\beta$ AA en asociación con difosfato de tiamina agregados a la dieta puede influir en la respuesta productiva y calidad de la carne en aspectos como el color, así como en la relación Beneficio-Costo.

Palabras clave: Bovinos carne, difosfato de tiamina, beta-agonistas, finalización.

# PRODUCTIVE PERFORMANCE, PRODUCTION COSTS, CARCASS AND MEAT QUALITY OF FINISHING BULLOCKS SUPPLEMENTED WITH THIAMINE DIPHOSPHATE AND $\beta$ -AGONISTS

Rosas-Aragón, J., Aranda-Osorio, G., Palma-García, J. M., Sánchez-del Real, C.

## 3.2 Abstract

The aim of this study was to evaluate productive performance, Cost-Benefit ratio, and carcass and meat quality of finishing bullocks supplemented with additives. Sixty commercial cross bullocks (*Bos taurus* x *Bos indicus*) with an initial body weight of  $338 \pm 32$  kg were allotted in five pens. The feedlot period lasted 139 days, in the last 49 days the finishing diet was supplemented with additives and randomly assigned to the following treatments: 1) Control (TT, without additives); 2) Thiamine diphosphate (TD) ( $1 \text{ kg} \cdot \text{ton}^{-1}$ ); 3) TD+Ractopamine hydrochloride (RH) ( $300 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$ ); 4) TD+Zilpaterol hydrochloride 1 (Virbac Lab.) (ZH1) ( $125 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$ ); y 5) TD+Zilpaterol hydrochloride 2 (Pisa Lab.) (ZH2) ( $125 \text{ g} \cdot \text{ton}^{-1}$ ). Productive performance was evaluated according to the results obtained from the 60 bullocks at the end of finishing feedlot. Subsequently, four bullocks were slaughtered per treatment and the rib eye from 12<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup> rib was obtained to evaluate carcass and meat quality. Data was analyzed using one-way ANCOVA with one covariate. According to TT: The treatment TD+CZ2 improved ( $P < 0.05$ ) 55.6% for ADG and 8.5% for final live weight. Carcass traits of quality were similar ( $P > 0.05$ ) among treatments. In meat quality, TD+CZ2 increased 22.4% the  $L^*_{24}$  value ( $L^*$ , in cold carcass) and decreased 21.1% the  $a^*_{45}$  value ( $a^*$ , in hot carcass) ( $P < 0.05$ ). The Cost-Benefit ratio was 5.6% better with TD+CZ2 than TT. In general, the type of  $\beta$ AA additive may influence productive performance and meat quality in aspects such as color, as well as Cost-Benefit ratio.

Key words: Beef cattle, thiamine diphosphate, beta-agonist, feedlot.

### 3.3 Introducción

La finalización de bovinos es una actividad que se encuentra en constante cambio según el mercado demandante que busca obtener canales bien conformadas y con poca cantidad de grasa debido a los usos y costumbres de los consumidores o del mercado objetivo. Sin embargo, el consumo *per cápita* de carne de bovino en México ha venido a la baja, ya que en el 2007 el consumo era de 18 kg y para el 2016 tan solo de 14.8 kg (USDA-FAS, 2016). De acuerdo con el Consejo Mexicano de la Carne en su Compendio Estadístico 2016 indica que esta situación en parte se puede deber al menor poder adquisitivo del consumidor y a que ha aumentado el precio la carne, ésto como consecuencia de mayores costos en los sistemas de producción bovina, reflejándose por una parte en los costos del ganado y por otra, en los costos de alimentación, en el primer caso, el productor tiene poca injerencia, mientras que en el segundo, puede reducir los costos haciendo más eficiente el proceso productivo. Por lo anterior, es importante mejorar el sistema de alimentación que repercute en forma directa la rentabilidad de la unidad de producción y que de igual forma define las características del producto final del ganado en pie y características de la canal.

Los aditivos alimenticios tienen la función de mejorar el consumo, la digestibilidad, absorción y/o metabolismo de los nutrientes contenidos en el alimento, por lo tanto, eficientizan la respuesta animal (Gadberry, 2015). En este sentido, los  $\beta$ -adrenérgicos agonistas ( $\beta$ AA) cumplen la función de ser repartidores de nutrientes de tal manera que mejoran la síntesis e tejido muscular y, por otro lado, reducen la síntesis de grasa, lo que repercute en una mejor conformación de los animales de abasto y una menor cantidad de grasa de cobertura, cualidades altamente apreciadas en la mayoría de los mercados nacionales (Yang & McElligott, 1989).

De acuerdo con Avendaño-Reyes et al. (2006), México y Sudáfrica aprobaron el uso de  $\beta$ -adrenérgicos agonistas como Clorhidrato de Zilpaterol (CZ) y Clorhidrato de Ractopamina (CR) hace más de 20 años para uso en las dietas de bovinos en finalización y en Estados Unidos de América, el CR se aprobó en

el 2003 y más tarde, en el 2006 se aprobó el uso del CZ para mejorar la eficiencia alimenticia, ganancia de peso y reducir la deposición de grasa intramuscular en ganado bovino bajo condiciones de confinamiento en los últimos 20 a 40 días de finalización (Dunshea et al., 2005, Holmer et al., 2009, López, Hernández, Loredo, Adame y Guerrero, 2014). A pesar de ello, la mayor parte de estudios se han realizado bajo condiciones controladas y un tanto alejadas de la realidad en la finalización de ganado en México.

Otro aditivo alimenticio para la etapa de finalización puede ser el difosfato de tiamina el cual actúa como un catalizador en la síntesis de energía metabolizable (glucogénesis) (Ganong, 2010) haciendo más eficientes los aportes energéticos del alimento ingerido resultando en una mayor ganancia diaria de peso. Sin embargo, los estudios realizados sobre el uso de difosfato de tiamina en la finalización de ganado bovino son escasos.

Por lo anterior el objetivo del presente estudio fue evaluar el comportamiento productivo, la relación Beneficio-Costo, calidad de la canal y de la carne de toretes en finalización suplementados con  $\beta$ AA y difosfato de tiamina bajo un sistema de producción comercial en México.

### **3.4 Materiales y Métodos**

#### **3.4.1 Localización**

El presente trabajo se llevó a cabo en los corrales del Rancho El Mirador, ubicado en la carretera Axochiapan - Tlalayo km 10 Axochiapan, Morelos. De acuerdo con García (2004) Axochiapan cuenta con un clima Aw (cálido subhúmedo con lluvias en verano), temperatura media anual de 22 a 24° C y una precipitación anual de 1,000 mm.

#### **3.4.2 Características del ganado y manejo de la recepción**

Se utilizaron 60 toretes con  $338 \pm 32$  kg de peso promedio, con una edad aproximada de entre 18 a 24 meses y un encaste racial de *Bos taurus* x *Bos indicus* o “cruzas comerciales”, procedentes de Candelaria, Campeche. Recibieron un manejo de recepción el cual constó en: pesaje individual e

identificación, desparasitado, vitaminado y aplicación de vacunas. En el Cuadro 8 se muestra los productos (nombre comercial, ingrediente activo y dosis) utilizados en la identificación y manejo profiláctico del ganado durante la recepción.

Cuadro 8. Productos utilizados en el manejo de recepción de los toretes utilizados en el presente estudio.

Producto	Ingrediente activo	Dosificación	Aplicación
ADE Biofarmex®	Vit. A, D y E	5 ml cabeza <sup>-1</sup>	Intramuscular
Ivomec F®	Ivermectina + clorsulón	1ml 50 kg <sup>-1</sup> PV	Subcutánea
Biobac 11 vías®	Contra sepas de <i>Clostridium</i> , <i>Pasteurella</i> , <i>Histophilus</i> y <i>Mannheimia</i>	5 ml cabeza <sup>-1</sup>	Intramuscular
		5 ml cabeza <sup>-1</sup>	Intramuscular
Ralgro®	Zeranol	36 mg animal <sup>-1</sup>	Subcutánea

Adicional al manejo de recepción se realizó un pesaje y un manejo profiláctico, el cual consistió en vitaminar (vitaminas A, D y E), vacunar (Biobac 11 vías) y aplicación de un esteroide anabólico con el nombre comercial de Nandro Bold Plus del Laboratorio Folgen, Alemania; ingrediente activo: undecilenato de boldenona, decanato de nandrolona y zeranol, a razón de 1 ml 50 kg<sup>-1</sup> de peso vivo vía intramuscular a los 49 días.

### 3.4.3 Alimentación y distribución de los tratamientos

Los toretes recibieron tres dietas: adaptación, pre-finalización y finalización (Cuadro 9) durante el ciclo productivo de finalización de 139 días; se consideró un periodo de retiro de tres días para los tratamientos con clorhidrato de zilpaterol. El ganado se recibió con heno de alfalfa que se ofreció durante los primeros dos días. Posteriormente se ofreció la dieta de adaptación durante 11 días, seguido de la dieta de pre-finalización por 77 días, ambas adicionadas con difosfato de tiamina, continuando con la dieta de finalización junto los βAA más el difosfato de tiamina por los últimos 49 días del periodo. El alimento se sirvió *ad*

*libitum* dos veces por día, a las 06:30 h se ofreció el 40% de la ración y a las 14:30 h el 60% restante con previa lectura de comedero.

Cuadro 9. Ingredientes y composición nutricional de las dietas utilizadas en la finalización de toretes suplementados con  $\beta$ AA\* y difosfato de tiamina.

Dieta <sup>z</sup>	Adaptación	Pre-Finalización	Finalización
Ingrediente (% MS)			
Rastrojo de sorgo	21.55	21.15	11.98
Ensilado de maíz	6.50	4.30	6.08
Sorgo, grano molido	28.96	27.53	28.80
Maíz, grano molido	16.20	17.06	20.51
Pasta de soya	7.50	6.10	4.60
Desechos de panadería	15.20	17.25	19.59
Grasa de sobrepaso	0.65	2.78	4.48
Urea	1.30	1.73	1.79
Bio-Min Engorda	1.90	1.80	1.88
Secuestrante de micotoxinas	0.13	0.12	0.10
Aditivos:			
Difosfato de tiamina, kg·ton <sup>-1</sup>		10	1
Ractopamina, g·ton <sup>-1</sup>			300
Zilpaterol, g·ton <sup>-1</sup>			125
Composición nutricional:			
MS, %	76.82	80.8	78.10
PC, %	14.90	15.20	14.90
ENm, Mcal·kg <sup>-1</sup> MS	1.75	1.82	1.92
ENg, Mcal·kg <sup>-1</sup> MS	1.12	1.19	1.29
FC, %	11.41	10.49	7.89
EE, %	4.78	7.12	9.00
Ca: P	1.7: 1	1.7: 1	1.7: 1

\* $\beta$ AA=  $\beta$ -adrenérgicos agonistas.

<sup>z</sup>MS= materia seca; PC= proteína cruda; ENm= energía neta de mantenimiento; ENg= energía neta de ganancia; FC= fibra cruda; EE= extracto etéreo; Ca: P= relación calcio-fósforo.

Aditivos que se utilizaron:

- Difosfato de tiamina 25% difosfato disódico 6.65% con el nombre comercial de Glukogen® Plus Intensive, Laboratorio Nutritech, México. Se suministró a razón de 1 kg·ton<sup>-1</sup> de alimento, durante 126 días.

- Clorhidrato de ractopamina al 10% con el nombre comercial de Racmina premix 10 ®, Laboratorio Pisa, México. Se suministró a razón de 400g·ton<sup>-1</sup> de alimento, durante 49 días.
- Clorhidrato de zilpaterol al 4.8% “1” con el nombre comercial de Grofactor® laboratorio Virbac, Francia. Se suministró a razón de 125 g·ton<sup>-1</sup> de alimento (buscando suministrar 0.15 mg·animal<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup> de ingrediente activo), durante 46 días, con un periodo de retiro de tres días.
- Clorhidrato de zilpaterol al 4.8% “2” con el nombre comercial de Zipamix® laboratorio Pisa, México. Se suministró a razón de 125 g·ton<sup>-1</sup> de alimento (buscando suministrar 0.15 mg·animal<sup>-1</sup>·día<sup>-1</sup> de ingrediente activo), durante 46 días, con un periodo de retiro de tres días.

Los 60 toretes se distribuyeron en cinco corrales con las siguientes características: superficie de 110 m<sup>2</sup> (12 x 9.2 m) con piso de concreto, orientados de este a oeste, malla sombra de 3 m de ancho ubicada a lo largo de los corrales en la parte central, dos bebederos por corral, comedero de norte a sur con 12 m de largo y 0.6 m de ancho, báscula electrónica, pasillo, manga y corrales de manejo. Quedando 12 toretes por corral al que se le asignó un tratamiento (TT o DT) al azar (Cuadro 10) del día 1 al 49 y 50 al 90 antes de la etapa de finalización.

Cuadro 10. Distribución de tratamientos por corral en la suplementación de toretes con difosfato de tiamina 90 días antes de la etapa de finalización.

Corral	Tratamiento <sup>z</sup>	Aditivo
1	TT	Sin aditivos
3	DT	Difosfato de tiamina
5	DT	Difosfato de tiamina
4	DT	Difosfato de tiamina
2	DT	Difosfato de tiamina

TT= tratamiento sin aditivos; DT= difosfato de tiamina, Glukogen® Plus Intensive, Laboratorio Nutritech.

Posteriormente, en la etapa de finalización (últimos 49 días) se asignó de forma aleatoria un tratamiento a cada corral, quedando de la siguiente manera (Cuadro 11):

Cuadro 11. Distribución de tratamientos por corral en la suplementación de  $\beta$ AA y difosfato de tiamina en la finalización de toretes.

Corral	Tratamiento <sup>z</sup>	Aditivo
1	TT	Sin aditivos (testigo)
3	DT	Difosfato de tiamina
5	DT+CR	Difosfato de tiamina + Ractopamina
4	DT+CZ1	Difosfato de tiamina + Zilpaterol "1"
2	DT+CZ2	Difosfato de tiamina + Zilpaterol "2"

<sup>z</sup>TT= tratamiento sin aditivos; DT= difosfato de tiamina, Glukogen® Plus Intensive, Laboratorio Nutritech; DT+CR= clorhidrato de ractopamina, Racmina premix 10 ®, Laboratorio Pisa, México; DT+CZ1= clorhidrato de zilpaterol "1", Grofactor® laboratorio Virbac, Francia; DT+CZ2= clorhidrato de zilpaterol "2", Zipamix® laboratorio Pisa, México.

Los productos utilizados en este trabajo están regulados bajo la Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-015-ZOO-2002 de especificaciones técnicas para el testigo del uso de beta-agonistas en los animales. Los toretes fueron tratados bajo los lineamientos de bienestar animal acorde al Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en el Sistema de Producción de Ganado Productor de Carne en Confinamiento (SAGARPA, 2014).

#### 3.4.4. Recolección de datos

Para las variables de respuesta productiva se realizaron pesajes de los toretes los días 1, 49, 90 y 139 donde se obtuvieron las variables peso vivo inicial (PVI), peso vivo final (PVF) y ganancia diaria de peso (GDP). El consumo de materia seca (CMS) fue determinado diariamente por corral: alimento ofrecido - alimento rechazado; el cálculo de eficiencia alimenticia (EA) fue usando las GDP individuales de cada torete y el CMS por corral, la EA se expresó como g de ganancia de peso  $\cdot 1000^{-1}$  g de alimento consumido.

Para la determinación de las características de calidad de la canal y de la carne se sacrificaron 10 toretes (2 por cada tratamiento) en el día 148, y otro lote similar en el día 154 del experimento. Para cada momento de sacrificio se pesaron los toretes en el rastros, este peso fue considerado para el análisis estadístico de las características de la canal y de la carne como covariable de peso vivo al sacrificio (PVS) y los datos obtenidos en ambos sacrificios se juntaron en un solo análisis.



Al obtener las medias canales se pesaron, registrando el peso de la canal caliente (PCC) y rendimiento de la canal caliente (RCC). En las regiones de pierna (*Gluteus medius*), lomo (*Longissimus dorsi*) y espaldilla (*Triceps brachii*) de cada media canal izquierda se midió pH y temperatura de la canal caliente ( $pH_{45}$ ,  $T_{45}$ ), utilizando un potenciómetro y termómetro portátil para muestras sólidas (HI99163, HANNA® Instruments). En la medición de los parámetros de color: L\* (grado de luminosidad), a\* (índice de rojo a verde) y b\* (índice de amarillo a azul) se utilizó un colorímetro portátil (Miniscan EZ, HunterLab®) realizando tres mediciones a lo largo de la falda de la canal. Con el fin de obtener las características después de 24 h de frío, se guardaron en la cámara fría, volviendo a medir pH ( $pH_{24}$ ), temperatura ( $T_{24}$ ), color y peso de la canal en frío (PCF) para calcular la merma de la canal por frío (MCF).

Para el análisis de las características de la carne se extrajo la chuleta ubicada entre la doceava y treceava costillas de cada media canal izquierda y colocadas en congelador a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis. Posteriormente se midió el área del ojo de la costilla (AOC) utilizando una plantilla graduada en décimas de pulgada que posteriormente los valores se convirtieron al sistema métrico decimal, para obtención del grosor de grasa dorsal (GG) (mm) se utilizó un vernier. Una vez descongeladas las chuletas, se analizaron en el FoodScan® para obtener los valores de humedad, proteína, grasa y colágeno.

La relación Beneficio-Costo se calculó considerando como el rubro de costos, los gastos incurridos en la finalización de los toretes, en el cual se incluyó el peso y precio al embarque, costo de manejo, el cual incluyó los costos de traslado de los animales, medicamentos, mano de obra, combustibles, y otros gastos considerados como egresos. El consumo de alimento se expresó como  $\text{kg}\cdot\text{torete}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}\cdot\text{etapa}^{-1}$ , para ello se utilizó la información determinada de CMS por corral, donde se consideró el costo para cada tipo de alimento y el costo de aditivos. Los ingresos se calcularon de acuerdo con la venta en canal.

### 3.4.5. Análisis estadístico

#### 3.4.5.1 Respuesta productiva

Para las variables de respuesta productiva durante 90 días antes de la etapa de finalización y finalización (últimos 49 días): ganancia diaria de peso (GDP, kg), peso vivo final (PVF, kg) se evaluaron los tratamientos mediante un análisis de covarianza con una vía de clasificación y una covariable (PVI) con el procedimiento GLM (General Linear Model) del paquete estadístico SAS 9.4 (SAS, 2013). Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de  $P < 0.05$  (SAS, 2013). Las características CMS y EA no se analizaron estadísticamente. Posteriormente, para seleccionar los efectos fijos en las características evaluadas se realizaron pruebas preliminares de significancia para obtener un modelo de mejor ajuste. El modelo final utilizado en la etapa de 90 días previos a finalización fue el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + T_i + \beta_{1j} + \epsilon_{ij}$$
$$i = 1, \dots, 2$$
$$j = 1, \dots, 12; 1, \dots, 48$$

Donde:

$y_{ij}$ = característica observada (PVF, GDP)

$\mu$ = media general

$T_i$ = efecto del  $i$ ésimo tratamiento  $i = 1, \dots, 2$

$\beta_{1j}$ = covariable de peso vivo inicial (PVI)

$\epsilon_{ij}$ = efecto residual.

El modelo final utilizado en la etapa de finalización fue el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + T_i + \beta_{1j} + \epsilon_{ij}$$
$$i = 1, \dots, 5$$
$$j = 1, \dots, 12$$

Donde:

$y_{ij}$ = característica observada (PVF, GDP)

$\mu$ = media general

$T_i$ = efecto del  $i$ ésimo tratamiento  $i = 1, \dots, 5$

$\beta_{1j}$ = covariable de peso vivo inicial (PVI)

$\epsilon_{ij}$ = efecto residual.

### 3.4.5.2 Características de la canal y de la carne

Para las características de la canal: peso de la canal (caliente y fría, kg), rendimiento de la canal caliente (RCC, %), merma de la canal por frío (MCF, %), pH<sub>45 y 24</sub> y temperatura (T<sub>45 y 24</sub>) de la canal (caliente y fría) y para características de la carne: color de la carne (L\*, a\* y b\*) en caliente y frío, humedad (%), proteína (%), grasa (%), colágeno (%), grosor de grasa (GG, mm) y área del ojo de la costilla (AOC, cm<sup>2</sup>) se evaluaron por tratamiento mediante un análisis de covarianza con una vía de clasificación y una covariable (PVS) con el procedimiento GLM (General Linear Model) del paquete estadístico SAS 9.4 (SAS, 2013). Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de P< 0.05 (SAS, 2013). Posteriormente, para seleccionar los efectos fijos en las características evaluadas se realizaron pruebas preliminares de significancia para obtener un modelo de mejor ajuste. El modelo final utilizado fue el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + T_i + \beta_{1j} + \epsilon_{ij}$$
$$i = 1, \dots, 5$$
$$j = 1, \dots, 4$$

Donde:

$y_{ij}$ = característica observada (características de la canal y carne)

$\mu$ = media general

$T_i$ =efecto del  $i$ ésimo tratamiento  $i= 1, \dots, 5$

$\beta_{1j}$ = covariable de peso vivo al sacrificio (PVS)

$\epsilon_{ij}$ = efecto residual.

## 3.5 Resultados y Discusión

### 3.5.1 Respuesta productiva

En el Cuadro 12 se muestran los resultados del comportamiento productivo que tuvieron los toretes durante los 90 días previos a la etapa de finalización. No se encontraron diferencias (P>0.05) entre tratamientos, y se presentó efecto de ajuste de la covariable PVI en los días 1 al 49 y 50 al 90 cuyos promedios fueron 337±3 y 426±4 kg respectivamente. Sin embargo, comparado con los días 1 al 49, la GDP tendió a disminuir en los días 50 al 90.

Cuadro 12. Respuesta productiva de toretes con el uso de difosfato de tiamina durante 90 días antes de la etapa de finalización.

Concepto <sup>y</sup>	Tratamientos <sup>z</sup>			P-valor
	TT	DT	EEM	
Toretos	12	48		
<b>*Día 1 a 49</b>				
CMS (kg)	9.8	9.9		
EA (g)	183.2	184.5		
PV, final (kg)	423.1	428.1	6.35	0.96
GDP (kg·d <sup>-1</sup> )	1.8	1.8	0.13	0.96
<b>*Día 50 a 90</b>				
CMS (kg)	11.4	11.5		
EA (g)	104.7	116.5		
PV, final (kg)	472.0	483.3	4.47	0.33
GDP (kg·d <sup>-1</sup> )	1.2	1.3	0.11	0.33

<sup>z</sup>TT = Testigo; DT = difosfato de tiamina; EEM= error estándar de la media.

<sup>y</sup>PV= peso vivo; GDP= ganancia diaria de peso; CMS= consumo de materia seca; EA= eficiencia alimenticia, estas dos últimas variables no fueron sujetas a un análisis estadístico. \*La covariable PVI presentó efecto de ajuste en PV final y GDP en los días 1 al 49 y 50 al 90.

El peso vivo final y la ganancia diaria de peso en los últimos 49 días correspondientes a la etapa de finalización mostraron efecto ( $P < 0.05$ ) con la utilización de los aditivos agregados a la dieta (Cuadro 13). Sin embargo, la covariable PVI no presentó efecto alguno. En ambas características los toretes suplementados con DT+CZ2 registraron los máximos valores, los menores se registraron en los toretes sin suplemento alguno (TT) y con DT+CZ1, la superioridad de este suplemento en comparación a TT y DT+CZ1 fue de 8.5 y 57% para peso final y ganancia diaria de peso, respectivamente. En PVF los tratamientos DT y DT+CZ1 tuvieron un comportamiento similar a TT ( $P > 0.05$ ). Mientras que con DT+CR, esta característica fue 3.8% superior con respecto a TT ( $P < 0.05$ ), pero no fue diferente de los tratamientos DT y DT+CZ1 ( $P > 0.05$ ). La característica GDP fue similar ( $P > 0.05$ ) a TT en los tratamientos DT, DT+CR y DT+CZ1.

Resultados similares fueron encontrados por Carrera (2017) y Landa-Trujillo (2016) al no encontrar diferencias en GDP con el uso de DT comparado a un tratamiento testigo. Mientras que Stackhouse-Lawson et al. (2013) observaron menores resultados en GDP con el uso de CZ (28.00%), mientras que Hales et

al. (2014) indicaron mayores resultados en GDP con el uso de este mismo aditivo al mejorar 73.60%. Montgomery et al. (2009) reportaron un incremento en GDP de un 14.12%, aunque Castellanos et al. (2006) reportaron un incremento de solo 3.14%. Así mismo, Avendaño-Reyes et al. (2006) encontraron una menor GDP con el uso de CZ (35.44%) y mayor con CR (31.64%) respecto a un testigo comparados con este trabajo.

En otros estudios han encontrado diferencias en la magnitud de respuesta con respecto a la GDP a favor del CR con 24.21% con el uso de CZ de tan solo 10.52% (Scramlin et al., 2010), mientras que, en el presente trabajo, los mejores resultados fueron atribuidos al tratamiento DT+CZ. En general, en la GDP tuvieron mejores resultados con el uso de DT+CZ, mientras que con DT y CR el impacto fue mínimo, parecido a los resultados reportados por Carrera (2017) y Cônsolo et al. (2015).

Cuadro 13. Respuesta productiva de toretes en la etapa de finalización (49 días) con el uso de aditivos (difosfato de tiamina y  $\beta$ AA).

Concepto <sup>z</sup>	Tratamientos <sup>y</sup>					EEM	P-valor
	TT	DT	DT+CR	DT+CZ1	DT+CZ2		
Toretos	12	12	12	12	12		
CMS (kg)	11.0	10.9	11.3	10.8	11.3		
EA (g)	69.8	66.6	79.1	92.2	99.0		
PV, Final (kg)	510.4 <sup>c</sup>	532.8 <sup>b</sup>	527.2 <sup>b</sup>	509.3 <sup>c</sup>	550.8 <sup>a</sup>	5.20	0.06
GDP (kg·d <sup>-1</sup> )	0.7 <sup>b</sup>	0.7 <sup>b</sup>	0.9 <sup>ab</sup>	1.0 <sup>ab</sup>	1.1 <sup>a</sup>	0.11	0.05

<sup>y</sup>TT = Testigo; DT = difosfato de tiamina; DT+CR = DT+clorhidrato de ractopamina; DT+CZ1 = DT+clorhidrato de zilpaterol (Laboratorio Virbac); DT+CZ2 = DT+clorhidrato de zilpaterol (Laboratorio Pisa); EEM= error estándar de la media. La covariable PVI no presentó efecto de ajuste en la respuesta productiva.

<sup>z</sup>PV= peso vivo; GDP= ganancia diaria de peso; CMS= consumo de materia seca; EA= eficiencia alimenticia, estas dos últimas variables no fueron sujetas a un análisis estadístico.

Los resultados de GDP del presente estudio fueron bajos para todos los tratamientos comparados con otros estudios (Avendaño-Reyes et al. 2006, Stackhouse-Lawson et al., 2013) a pesar de la utilización de  $\beta$ AA. Factores como la alimentación y en especial, la composición nutricional de las dietas pudo ser un factor importante que explique este fenómeno. Las dietas utilizadas se diseñaron con insumos disponibles en la región presentando concentraciones

energéticas de 1.3 Mcal de ENg, comparado con dietas de investigación con más del 60% de cereales como el maíz rolado y otros insumos de alto valor energético (Avendaño-Reyes et al. 2006, Cônsolo et al. 2015, Hales et al. 2014) que aportan carbohidratos de alta digestibilidad y a su vez proporcionan mayor ENg ( $\geq 1.5$  Mcal), mejorando así la respuesta en el bovino.

### 3.5.2 Características de calidad de la canal

Los valores obtenidos de las características de la canal se muestran en el Cuadro 14, no se encontraron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre tratamientos en las características de la canal, la covariable PVS no tuvo efecto ( $P > 0.05$ ) sobre las características medidas en la canal. Resultados similares fueron obtenidos por Cônsolo et al. (2015) y Carrera (2017) al no encontrar diferencias entre tratamientos con el uso de CR y DT respectivamente, comparados con un tratamiento testigo. Sin embargo, Avendaño-Reyes et al. (2006) reportaron un aumento en peso de la canal caliente (PCC) de 7.5% con CZ y de 4.6% con CR en comparación con un testigo.

Cuadro 14. Características de la canal de toretes en finalización con el uso de aditivos (difosfato de tiamina y  $\beta$ AA).

Concepto <sup>y</sup>	Tratamientos <sup>z</sup>					EEM	P-valor
	TT	DT	DT+CR	DT+CZ1	DT+CZ2		
Canales	4	4	4	4	4		
<sup>y</sup> PCC (kg)	332.5	333.3	355.3	346.5	365.8	10.57	0.18
RCC (%)	62.8	63.1	64.2	64.0	64.9	1.26	0.76
PCF (kg)	328.0	328.8	350.3	342.0	360.5	10.34	0.18
MCF (%)	1.4	1.4	1.4	1.3	1.5	0.08	0.77
AOC (cm <sup>2</sup> )	77.9	78.4	79.7	84.2	78.7	5.04	0.90
GG (cm)	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.05	0.70

<sup>z</sup>TT = tratamiento testigo; DT = difosfato de tiamina; DT+CR = DT+clorhidrato de ractopamina; DT+CZ1 = DT+clorhidrato de zilpaterol (Laboratorio Virbac); DT+CZ2 = DT+clorhidrato de zilpaterol (Laboratorio Pisa); <sup>y</sup>PCC = peso de la canal caliente; RCC = rendimiento de la canal caliente; PCF = peso de la canal fría; MCF = merma de la canal por frío; AOC = área del ojo de la costilla; GG = grosor de grasa. Sin efecto de la covariable PVS. EEM= error estándar de la media.

Resultados diferentes fueron reportados por Montgomery et al. (2009) y Hales et al. (2014) al encontrar incrementos de solo 4 y 3% respectivamente en PCC con

la suplementación de CZ. Los resultados atribuidos a rendimiento de la canal caliente (RCC) y merma de la canal por frío (MCF) encontrados en el presente trabajo fueron menores a los reportados en otras investigaciones (Avendaño-Reyes et al. 2006, Montgomery et al. 2009, Hales et al. 2014, Maxwell et al. 2015).

Los resultados no presentaron diferencias en las características de la canal ( $P>0.05$ ), a diferencia de otros estudios (Hales et al., 2014, Maxwell et al. 2015), esto pudo ser debido que se utilizaron pocas muestras en el experimento.

### 3.5.3 Características de la carne

En el análisis de las características de la carne no hubo diferencias ( $P>0.05$ ) entre tratamientos en las concentraciones de proteína, grasa y humedad, sin embargo, la suplementación con DT+CZ2 redujo ( $P<0.05$ ) 8.6% el contenido colágeno mientras que con el resto de los tratamientos tuvo un comportamiento similar respecto a TT ( $P>0.05$ ) (Cuadro 15).

En el pH ( $pH_{45}$ ) y temperatura de la canal caliente ( $T_{45}$ ) no hubo diferencias entre tratamientos ( $P>0.05$ ). Por otro lado, en  $pH_{24}$ , los tratamientos DT+CZ1 y DT+CZ2 se comportaron de forma similar a TT ( $P>0.05$ ), mientras que DT y DT+CR marcaron una reducción del 0.88% con respecto a TT ( $P<0.05$ ), sin embargo, estos valores se encuentran dentro del parámetro de  $pH_{24}$  (5.4 a 5.8) para conservar las características de calidad de la carne (Ponce-Alquicira, Braña-Varela, & López-Hernández, 2013).

La luminosidad de la carne de la canal caliente ( $L_{45}^*$ ) no presentó diferencias ( $P>0.05$ ) entre los tratamientos. Por otro lado, los valores de luminosidad en canal fría  $L_{24}^*$  aumentaron 22.4% con el uso de DT+CZ2 y 14.4% con DT+CZ1 ( $P<0.05$ ), lo que sugiere que la utilización de CZ mejora la luminosidad de la carne en la maduración *post mortem*. El valor en la escala de los rojos en canal caliente ( $a_{45}^*$ ) tendió a ser menos intenso (rosado) con el uso de DT, DT+CR y DT+CZ1, a pesar no haber diferencias ( $P>0.05$ ) entre estos tratamientos con respecto a TT, sin embargo, con el uso de DT+CZ2, se encontró una reducción de 21.1% ( $P<0.05$ ).

Mientras que en el periodo de maduración ( $a_{24}^*$ ) esta característica no fue diferente entre tratamientos ( $P>0.05$ ).

El contenido nutricional de la carne obtenido en el presente estudio concuerda con los resultados del trabajo de Delgado et al. (2004) al tener una semejanza con la región centro del país y con Carrera (2017) al no encontrar diferencias entre tratamientos en el contenido de humedad, pero si una disminución en el contenido de colágeno.

Cuadro 15. Características de la calidad de la carne de toretes en finalización con el uso de aditivos ( $\beta$ A y difosfato de tiamina).

Concepto <sup>y</sup>	Tratamientos <sup>z</sup>					EEM	P-valor
	TT	DT	DT+CR	DT+CZ1	DT+CZ2		
Canales	4	4	4	4	4		
Calidad Nutritiva							
Humedad (%)	74.06	73.93	72.99	74.17	73.90	0.40	0.28
Proteína (%)	23.37	22.95	23.78	23.49	23.56	0.27	0.31
Grasa (%)	2.61	2.60	3.09	2.11	2.38	0.39	0.51
Colágeno (%)	1.39 <sup>ab</sup>	1.40 <sup>a</sup>	1.40 <sup>a</sup>	1.29 <sup>ab</sup>	1.27 <sup>b</sup>	0.04	0.07
pH <sub>45</sub>	6.79	6.69	6.68	6.81	6.78	0.11	0.88
T <sub>45</sub> (°C)	20.08	20.52	21.33	19.61	21.05	0.90	0.66
pH <sub>24</sub>	5.73 <sup>a</sup>	5.66 <sup>bc</sup>	5.65 <sup>c</sup>	5.71 <sup>a</sup>	5.70 <sup>ab</sup>	0.01	<0.01
T <sub>24</sub> (°C)	10.54	11.25	9.87	11.61	11.42	0.61	0.29
Color							
L <sub>45</sub> <sup>*</sup>	42.70	43.85	42.90	45.88	48.25	1.68	0.16
a <sub>45</sub> <sup>*</sup>	12.15 <sup>a</sup>	11.98 <sup>a</sup>	12.73 <sup>a</sup>	11.54 <sup>a</sup>	9.59 <sup>b</sup>	0.62	0.03
b <sub>45</sub> <sup>*</sup>	13.23 <sup>a</sup>	13.18 <sup>a</sup>	12.60 <sup>b</sup>	13.14 <sup>a</sup>	13.20 <sup>a</sup>	0.07	<0.01
L <sub>24</sub> <sup>*</sup>	38.38 <sup>c</sup>	40.64 <sup>bc</sup>	40.10 <sup>bc</sup>	43.89 <sup>ab</sup>	46.98 <sup>a</sup>	1.66	0.02
a <sub>24</sub> <sup>*</sup>	15.66	15.55	16.12	16.02	14.74	1.22	0.93
b <sub>24</sub> <sup>*</sup>	11.72 <sup>b</sup>	13.35 <sup>b</sup>	13.24 <sup>b</sup>	15.57 <sup>a</sup>	16.09 <sup>a</sup>	0.54	<0.01

<sup>z</sup>TT = tratamiento testigo; DT = difosfato de tiamina; DT+CR = DT+clorhidrato de ractopamina; DT+CZ1 = DT+clorhidrato de zilpaterol (Laboratorio Virbac); DT+CZ2 = DT+clorhidrato de zilpaterol (Laboratorio Pisa).

<sup>y</sup>pH<sub>45</sub> = pH canal caliente; pH<sub>24</sub> = pH canal fría; T<sub>45</sub> °C = temperatura canal caliente; T<sub>24</sub> °C = temperatura canal fría; L<sub>45</sub><sup>\*</sup> = luminosidad canal caliente; L<sub>24</sub><sup>\*</sup> = luminosidad canal fría; a<sub>45</sub><sup>\*</sup> = escala de rojos canal caliente; a<sub>24</sub><sup>\*</sup> = escala de rojos canal fría; b<sub>45</sub><sup>\*</sup> = escala de amarillos canal caliente; b<sub>24</sub><sup>\*</sup> = escala de amarillos canal fría. Sin efecto de la covariable PVS.

EEM= error estándar de la media.

A pesar de encontrarse una reducción en las concentraciones de colágeno en la carne, estas concuerdan con los valores encontrados en la literatura (Alvarez et al. 2001; Hill, 1965) que oscilan de 0.7 a 1.7%. Resultados similares fueron



obtenidos por Holmer et al. (2009) ya que no se encontraron diferencias entre tratamientos en el contenido de humedad con el uso de CZ, aunque encontraron una disminución en el contenido de grasa, sin embargo, dicha disminución no fue observada en este trabajo, esto puede ser debido al número de muestras analizadas. Por otro lado, se encontraron semejanzas con el trabajo de Garmyn et al. (2014) que indicó menor contenido de colágeno y no reportó cambios en el contenido de humedad y grasa, pero dicho autor encontró mayor porcentaje de proteína de músculo.

Avendaño-Reyes et al. (2006) y Rogers et al. (2010) reportaron resultados diferentes al presente estudio, ya que no encontraron diferencias en cuanto a los valores  $L^*$  y  $a^*$  en comparación a un testigo con el uso de CR y CZ. Mientras que resultados similares fueron reportados por Montgomery et al. (2009) al encontrar un color “rojo cereza” (mayor en la escala  $a^*$ ) y un “rojo menos oscuro” (menor en la escala  $L^*$ ) con respecto a un testigo con el uso de CZ. Sin embargo, Cônsolo et al. (2015) no reportaron diferencias entre tratamientos en los valores de  $L^*$  con la utilización de CR.

#### **3.5.4 Relación Beneficio-Costo**

En el Cuadro 16, se muestran los costos de producción e ingresos registrados en el presente estudio que tuvo una duración de 139 días. Se observa que la relación Beneficio - Costo fue positiva en todos los tratamientos, donde DT y DT+CZ2 tuvieron la menor y mayor relación Beneficio-Costo con -2.8 y 5.6% respectivamente, comparados con TT.

Tendencias similares se observaron con respecto al trabajo de Carrera (2017) quienes encontraron una mejor relación Beneficio-Costo con la utilización de CZ y la menor, con el uso de DT tendiendo una relación de 1.08 y 1.02 respectivamente, sin embargo, fueron menores comparadas con las del presente estudio. Estas diferencias podrían ser explicadas por factores como precio de compra del ganado, manejo y precios de insumos diferentes entre estudios, y de acuerdo con los factores productivos observados, hubo mejores GDP en el

estudio de Carrera (2017), y a pesar de ello este presentó menores retornos económicos.

Cuadro 16. Análisis de la relación Beneficio-costo en la finalización de ganado bovino en confinamiento con la suplementación difosfato de tiamina, clorhidrato de ractopamina y de zilpaterol.

Concepto	Tratamientos <sup>2</sup>				
	TT	DT	DT+CR	DT+CZ1	DT+CZ2
<b>Toretos</b>					
Peso embarque, kg	375.42	383.83	378.75	379.83	380.58
Costo kg PV <sup>-1</sup>	39	39	39	39	39
Costo animal <sup>1</sup> , \$	14,641	14,969	14,771	14,813	14,843
Costo de manejo, \$	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
<b>Costo total, \$</b>	<b>15,641</b>	<b>15,969</b>	<b>15,771</b>	<b>15,813</b>	<b>15,843</b>
<b>Alimentación</b>					
Consumo (139 días), kg	1,869.85	1,870.74	1,907.82	1,867.27	1,916.29
Precio promedio kg <sup>-1</sup> , \$	3.63	3.63	3.63	3.63	3.63
<b>Costo de dieta basal, \$</b>	<b>6,788</b>	<b>6,791</b>	<b>6,925</b>	<b>6,778</b>	<b>6,956</b>
<b>Aditivos</b>					
Cantidad de DT, g		2,066	2,106	2,058	2,116
Precio de DT, g <sup>-1</sup> , \$		0.20	0.20	0.20	0.20
Cantidad de βAA, g			233.33	56.93	68.03
Precio de βAA, g <sup>-1</sup> , \$			1.10	2.90	2.70
<b>Costo total de aditivos, \$</b>		<b>413.20</b>	<b>677.86</b>	<b>576.70</b>	<b>606.88</b>
<b>Egresos totales, \$</b>	<b>22,429</b>	<b>23,173</b>	<b>23,374</b>	<b>23,168</b>	<b>23,406</b>
Venta en canal					
PCC, kg	332.50	333.25	355.25	346.50	365.75
Precio kg PV <sup>-1</sup>	72	72	72	72	72
<b>Ingresos totales, \$</b>	<b>23,940</b>	<b>23,994</b>	<b>25,578</b>	<b>24,948</b>	<b>26,334</b>
Ganancia, \$	1,511	821	2,204	1,780	2,928
<b>Relación Beneficio-Costo</b>	<b>1.07</b>	<b>1.04</b>	<b>1.09</b>	<b>1.08</b>	<b>1.13</b>

<sup>2</sup>TT = tratamiento testigo; DT = difosfato de tiamina; DT+CR = DT+clorhidrato de ractopamina; DT+CZ1 = DT+clorhidrato de zilpaterol (Laboratorio Virbac); DT+CZ2 = DT+clorhidrato de zilpaterol (Laboratorio Pisa).

### 3.6 Conclusiones

En la finalización de toretes bajo un sistema de producción comercial en México el tipo de aditivo βAA en asociación con difosfato de tiamina agregados a la dieta puede influir en la respuesta productiva y calidad de la carne en aspectos como el color, así como en la relación Beneficio-Costo.

Con base en los resultados obtenidos en respuesta productiva, calidad de la carne y relación Beneficio-Costo, agregar como aditivo el difosfato de tiamina junto con el clorhidrato de zilpaterol del laboratorio Pisa® a la dieta de finalización de toretes bajo un sistema de producción comercial en México podría representar una opción recomendable.

### 3.7 Literatura citada

- Alvarez, M. I., & Moreira dos Santos, W. L. (2001). Evaluación del porcentaje de colágeno total del bife angosto (músculo Longissimus dorsi) de bovinos machos castrados mestizos Nelore. Cátedra Tecnología de la Carne y Derivados; Cátedra Inspección de Carnes. UNNE y U.F.M.G. 4 p.
- Avendaño-Reyes, L., Torres-Rodríguez, V., Meraz-Murillo, F. J., Pérez-Linares, C., Figueroa-Saavedra, F., & Robinson, P. H. (2006). Effects of two  $\beta$ -adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. *J. Anim. Sci.*, 84, 3259–3265, doi:10.2527/jas.2006-173.
- Avendaño-Reyes, L., Meraz-murillo, F. J., Pérez-linares, C., Figueroa-Saavedra, F., Correa, A., Álvarez-Valenzuela, F. D., Guerra-Liera, J. E., López-Rincón, G., & Macías-Cruz, U. (2016). Evaluation of the efficacy of Grofactor, a beta-adrenergic agonist based on zilpaterol hydrochloride, using feedlot finishing bulls. *J. Anim. Sci.* 94: 2954–2961 doi:10.2527/jas2015-9878.
- Carrera-Cabrera, L. A. (2017). Uso de promotores de crecimiento (difosfato de tiamina y clorhidrato de zilpaterol) en la finalización de toretes en confinamiento. Tesis profesional, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 75 p.
- Castellanos, R. A. F.; Rosado, R. J. G.; Chel, G. L. A., & Betancur, A. D. A. (2006). Empleo del zilpaterol en novillos con alimentación intensiva en Yucatán, México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 14, Núm. 2, 56-59.
- Cônsolo, N. R. B., Mesquita, B. S., Rodriguez, F. D., Rizzi, V. G., & Silva, L. F. P. (2015). Effects of ractopamine hydrochloride and dietary protein content on performance, carcass traits and meat quality of Nelore Bulls. *Animal*. 10:3, pp 539–546, doi:10.1017/S1751731115001895.
- Delgado, E. J., Rubio, M. S., Iturbe, F. A., Méndez, R. D., Cassís, L., & Rosiles, R. (2004). Composition and quality of Mexican and imported retail beef in Mexico. *Meat Science*, 69, 465-471, doi:10.1016/j.meatsci.2004.10.003.

- Dunshea, F. R., D'Souza, D. N., Pethic, D. W., Harper, G. S., & Warner, R. D. (2005). Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat Sci.* 71:8–38, doi:10.1016/j.meatsci.2005.05.001.
- Gadberry, S. (2015). *Feed Additives for Beef Cattle*. Agriculture and Natural Resources. University of Arkansas. FSA3012.
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (Quinta Edición: corregida y aumentada)*. Instituto de Geografía-UNAM, México. 90 p.
- Garmyn, A. J., Brooks, J. C., Hodgen, J. M., Nichols, W. T., HuTTheson, J. P., Rathmann, R. J., & Miller, M. F. (2014). Comparative effects of supplementing beef steers with zilpaterol hydrochloride, ractopamine hydrochloride, or no beta agonist on strip loin composition, raw and cooked color properties, shear force, and consumer assessment of steaks aged for fourteen or twenty-one days postmortem. *J. Anim. Sci.*, 92:3670–3684, doi:10.2527/jas2014-7840.
- Guerrero, I., Ponce, E., & Pérez, M. L. (2002). *Curso Práctico de Tecnología de Carnes y pescado*. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, México.
- Hales, K. E., Shackelford, S. D., Wells, J. E., King, D. A., Hayes, M. D., Brown-Brandl, T. M., Kuehn, L. A., Freetly, H. C., & Wheeler, T. L. (2014). Effects of feeding dry-rolled corn-based diets with and without wet distillers grains with solubles and zilpaterol hydrochloride on performance, carcass characteristics, and heat stress in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.*, 92:4023–4033, doi:10.2527/jas2014-7638.
- Hilton, G. G., Garmyn, A. J., Lawrence, T. E., Miller, M. F., Brooks, J. C., Montgomery, T. H., Griffin, D. B., VanOverbeke, D. L., Elam, N. A., Nichols, W. T., Streeter, M. N., HuTTheson, J. P., Allen, D. M., & Yates, D. A. (2014). Effect of zilpaterol hydrochloride supplementation on cutability and subprimal yield of beef steer carcasses. *J. Anim. Sci.*, 88:1817–1822. doi:10.2527/jas.2009-2386.
- Hill, F. (1965). The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages. *The Agricultural Institute*, p. 161-166, doi:org/10.1111/j.1365-2621.1966.tb00472.x.
- Holmer, S. F., Fernández-Dueñas, D. M., Scramlin, S. M., Souza, C. M., Boler, D. D., McKeith, F. K., Killefer, J., Delmore, R. J., Beckett, J. L., Lawrence, T. E., VanOverbeke, D. L., Hilton, G. G., Dikeman, M. E., Brooks, J. C., Zinn, R. A., Streeter, M. N., HuTTheson, J. P., Nichols, W. T., Allen, D.

- M., & Yates, D. A. (2009). The effect of zilpaterol hydrochloride on meat quality of calf-fed Holstein steers. *J. Anim. Sci.*, 87:3730–3738, doi:10.2527/jas.2009-1838.
- Landa-Trujillo, J. A. (2016). Efecto de la administración de vitamina B1 sobre el comportamiento productivo de toretes en corral de engorda. Tesis Profesional, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. 37 p.
- López, C. D. G., Hernández, B. C. A., Loredó, O. J., Adame, G. J. A., & Guerrero, G. S. (2014). Relación beneficio – costo utilizando dos  $\beta$ -adrenérgicos en la engorda de bovinos en corral. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 34, 883-896.
- Maxwell, C. L., Bernhard, B. C., O'Neill, C. F., Wilson, B. K., Hixon, C. G., Haviland, C. L., Grimes, A. N., Calvo-Lorenzo, M. S., VanOverbeke, D. L., Mafi, G. G., Richards, C. J., Step, D. L., Holland, B. P., & Krehbiel, C. R. (2015) The effects of technology use in feedlot production systems on feedlot performance and carcass characteristics. *J. Anim. Sci.*, 93:1340–1349, doi:10.2527/jas2014-8127.
- Montgomery, J. L., Krehbiel, C. R., Cranston, J. J., Yates, D. A., HuTTheson, J. P., Nichols, W. T., Streeter, M. N., Swingle, R. S., & Montgomery, T. H. (2009). Effects of dietary zilpaterol hydrochloride on feedlot performance and carcass characteristics of beef steers fed with and without monensin and tylosin. *J. Anim. Sci.*, 87:1013–1023, doi:10.2527/jas.2008-1169.
- Ponce-Alquicira, E., Braña-Varela, D., & López-Hernández, L. H. (2013). Evaluación de la Frescura de la Carne. Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México D.F. 87 p.
- SAS. (2013). Base SAS® 9.4 Procedures Guide: Statistical Procedures, Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Scramlin, S. M., Platter, W. J., Gomez, R. A., Choat, W. T., McKeith, F. K., & Killefer, J. (2010). Comparative effects of ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride on growth performance, carcass traits, and *Longissimus* tenderness of finishing steers. *J. Anim. Sci.*, 88:1823–1829, doi:10.2527/jas.2009-2405.
- Stackhouse-Lawson, K. R., Calvo, M. S., Place, S. E., Armitage, T. L., Pan, Y., Zhao, Y., & Mitloehner, F. M. (2013) Growth promoting technologies reduce greenhouse gas, alcohol, and ammonia emissions from feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 91:5438–5447, doi:10.2527/jas2011-4885.

USDA-FAS. (2016). Mexico: Livestock and Products Annual. USDA. En línea. Consultado 24/11/17. <https://www.fas.usda.gov/data/mexico-livestock-and-products-annual-2>.

Yang, Y. T., & McElligott, M. A. (1989). Multiple actions of the  $\beta$ -adrenergic agonists on skeletal muscle and adipose tissue. *Biochem. J.*, 261, 1–12, doi: 10.1042/bj2610001.

### 3.8 Apéndice

**3.8.1 Descripción con fotografías del procedimiento realizado desde el sacrificio del ganado hasta el procesamiento de las muestras para la obtención de las características de calidad.**

*3.8.1.1 Pesaje de los toretes en el sacrificio.*



### 3.8.1.2 Sacrificio y obtención de las medias canales.





### 3.8.1.3 Pesaje e identificación de las canales.

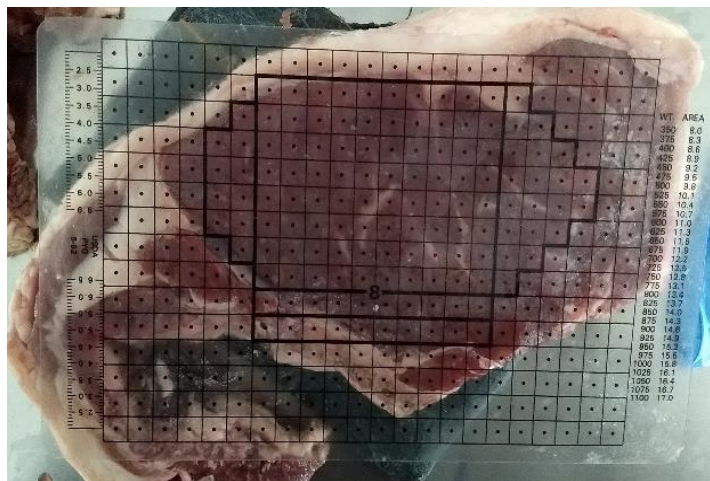
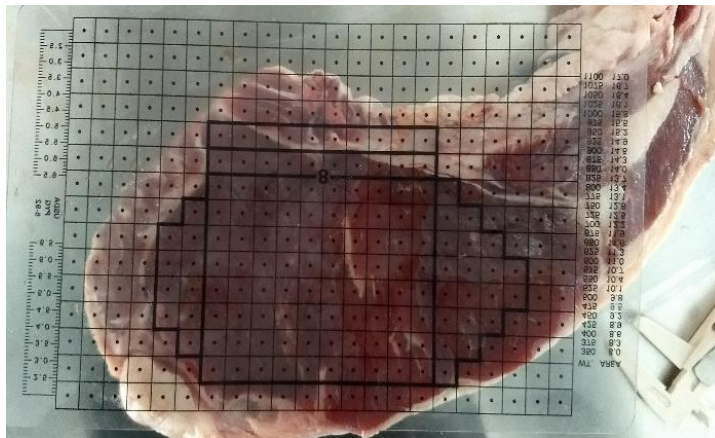


### 3.8.1.4 Medición de pH y color.





3.8.1.5 Medición del área del ojo de la costilla (AOC), grosor de grasa (GG) y grado de marmoleo (por tratamientos).



Tratamiento testigo (TT):





Tratamiento DT+CZ2:



Tratamiento DT:



Tratamiento DT+CZ1:





Tratamiento DT+CR:

