UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

TESIS

INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE METIONINA DE ZINC Y CLORHIDRATO DE ZILPATEROL EN LA RESPUESTA PRODUCTIVA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE TORETES EN FINALIZACIÓN

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

PRESENTA
MOISÉS VERDUGO INSUA

DIRECTOR DE TESIS
DR. RUBÉN BARAJAS CRUZ

CO-DIRECTOR
DR. JAVIER ALONSO ROMO RUBIO

ASESOR

DR. LEOPOLDO RAÚL FLORES AGUIRRE

MC. ALEJANDRO CAMACHO CASTELLANOS

CULIACÁN, SINALOA; MARZO DE 2014

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **MOISÉS VERDUGO INSUA**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA; Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR DE TESIS _____
DR. RUBÉN BARAJAS CRUZ

CO-DIRECTOR DE TESIS _____
DR. JAVIER ALONSO ROMO RUBIO

ASESOR DE TESIS_____
DR. LEOPOLDO RAÚL FLORES AGUIRRE

ASESOR DE TESIS_____
MC. ALEJANDRO CAMACHO CASTELLANOS

CULIACÁN, SINALOA; MARZO DE 2014

DEDICATORIA

Al Colegio de Ciencias Agropecuarias por el apoyo brindado para realizar mis estudios de maestría.

A mis directores y asesores de tesis, quienes me brindaron su apoyo y paciencia en estos últimos años.

Al CONACyT por haberme apoyado económicamente para realizar mis estudios.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, donde me brindaron las herramientas necesarias, para realizar mis estudios de maestría con calidad.

Para mi familia que me apoyó y me siguen apoyando en todo momento.

Para todas mis amistades, que me alentaron en estos últimos años.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres; Sr. Guadalupe Verdugo Gutiérrez
Sra. Blanca Verónica Insua Gener
Con profundo agradecimiento por el apoyo y cariño que me brindaron, y que permitieron culminar mis estudios y forjar en mi un profesionista.

A mis hermanos; Daniel Verdugo Insua.
José Juan verdugo Insua.
Por su apoyo y paciencia, en esos días de estudio que nos los deje dormir, gracias.

A mis familiares; Quienes siempre me dieron su apoyo.

A mis amigos; A todos ellos, que me acompañaron en mi carrera, que crecieron junto conmigo profesionalmente; a los amigos de la infancia, que siempre estuvieron dando su buena vibra y apoyo, gracias.

Especial agradecimiento, para Ing. Regulo Terraza Romero y Ganadera "Los Migueles", S.A. de C.V., por haberme brindado la oportunidad y los recursos para poder realizar mi trabajo tesis.

A mis Directores de Tesis Dr. Rubén Barajas Cruz.
Dr. Javier Alonso Romo Rubio.

A mis Asesores de Tesis MC. Alejandro Camacho Castellanos.
DR. Leopoldo Raúl flores Aguirre

Con mucho agradecimiento a mis directores y asesores de tesis por haberme dado esta oportunidad de trabajar con ellos y aprender tantas cosas, por su valiosa colaboración para la realización de este trabajo, y por ser grandes amigos, gracias.

A mi Director de la Facultad; MC. Jaime Eleazar Borbolla Ibarra.
Con mucha gratitud por ser un gran maestro y director

A mi Facultad; Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia,
Con eterna gratitud

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS vi

ÍNDICE DE FIGURAS vii

RESUMEN viii

ABSTRACT ix

I. INTRODUCCIÓN 1

II. REVISIÓN DE LITERATURA 2

2.1. Antecedentes 2

2.2. Zinc 2

2.2.1. Función biológica del zinc 3

2.2.2. Deficiencias del zinc 5

2.2.3. Absorción y transporte del zinc 6

2.2.4. Excreción del zinc 7

2.2.5. Fuentes de zinc y dosis 7

2.2.6. El zinc en la respuesta productiva de bovinos en engorda 8

2.3. Agonistas β adrenérgicos (AβA) 9

2.3.1. Receptores adrenérgicos 10

2.3.2. Mecanismos de acción de los agonistas β adrenérgicos 11

2.3.3. Función biológica de los agonistas β adrenérgicos 13

2.3.4. Absorción de los agonistas β adrenérgicos 13

2.3.5. Metabolismo de los agonistas β adrenérgicos 14

2.3.6. Eliminación y residuos de los agonistas β adrenérgicos 14

2.3.7. Clorhidrato de zilpaterol en la respuesta productiva de bovinos en engorda intensiva..... 16

III HIPÓTESIS..... 17

IV. OBJETIVO GENERAL..... 18

4.1. OBJETIVO ESPECIFICOS..... 18

V MATERIAL Y MÉTODOS..... 19

5.1. Localización geográfica..... 19

5.2. Animales y alojamiento..... 19

5.3. Diseño experimental y tratamientos..... 19

5.4. Desempeño en corral..... 20

5.5. Mediciones en canal..... 22

5.6. Análisis estadístico..... 22

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 25

6.1. Respuesta productiva..... 25

6.2. Características de la canal..... 28

VII. CONCLUSIONES..... 30

VIII. LITERATURA CITADA..... 31

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	TÍTULO	PÁGINA
1	Composición en base seca de la dieta utilizada en la etapa de finalización de bovinos en engorda intensiva.....	24
2	Efecto de la suplementación de metionina de zinc y clorhidrato de zilpaterol en la respuesta productiva de toretes en finalización.....	27
3	Efecto de la adición conjunta de metionina de zinc y clorhidrato de zilpaterol en las características de canal de toretes en finalización.....	29

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
1	Estructura de los dedos de zinc.....	4
2	La estructura general de fenetanolamina agonistas β adrenérgicos.	9
3	Función de los agonistas β adrenérgicos dentro de la célula.....	11

Resumen

Influencia de la adición de metionina de zinc y clorhidrato de zilpaterol en la respuesta productiva y características de la canal de toretes en finalización

M.V.Z. Moisés Verdugo Insua

Ochenta toretes (488.8 ± 4.17 kg) fueron utilizados en un experimento de 32 d para evaluar el la influencia de la adición de metionina de zinc y clorhidrato de zilpaterol en la respuesta productiva en corral de engorda y características de la canal de toretes alimentados con una dieta de finalización. Los animales fueron pesados individualmente, y en grupos de cinco alojados en 16 corraletas (6 x 12 m). los corrales fueron asignados a uno de cuatro tratamientos: 1) Dieta basal (Testigo); 2) Testigo más clorhidrato de zilpaterol; 3) Testigo más 40 mg de Zn en base seca (ZN); o 4) Testigo más clorhidrato de zilpaterol y 40 mg de Zn en base seca (ZHZN). La dieta basal (PC 14%, 1.86 Mcal de ENm y 60 mg Zn/kg de MS) fue suplementada con 57 mg de Zn/kg usando sulfato de zinc. Ambos, ZH y ZN adicionados a la dieta en el comedero con la técnica "top dress". El ZH fue proporcionado diariamente en la forma de 1.63 g de Zilmax ® (Merck Animal health)/torete (lo que equivalió a 0.15 mg ZH/kg PV). Zilmax fue retirado tres días antes del sacrificio. El ZN fue proporcionado diariamente como 4.6 g de ZINPRO® (Zinpro Corporation)/torete. El producto ZINPRO contiene 10% de Zn como complexo de metionina de zinc. El experimento fue analizado por covarianza como un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial 2 x 2 de los tratamientos. El peso inicial fue utilizado como la co-variable asociada. La alimentación con ZH incrementó ($P < 0.05$) el peso final (1.9%) y la GDP (29.9%), mejoró ($P < 0.05$) la tasa consumo/ganancia en 31% y aumentó ($P < 0.01$) en 14.3 kg el peso de la canal caliente y el rendimiento píe a canal en1.4%. ZN no tuvo efecto en las variables medidas ($P > 0.20$). Una tendencia ($P = 0.11$) fue observada para la interacción ZH x ZN en el peso de la canal, con valores promedio de 328, 337, 323 y 342 kg para Testigo, ZH, ZN y ZHZN, respectivamente. Una interacción ($P < 0.05$) fue detectada para el porcentaje de rendimiento con valores promedio de 62.8, 63.2, 61.5 y 64.0% para Testigo, ZH, ZN y ZHZN, respectivamente. Los tratamientos no tuvieron efecto en las características de la canal ($P > 0.20$). Los resultados sugieren la adición de Zn suplementario en dietas que contienen ZH puede contribuir a incrementar el porcentaje de rendimiento y a producir canales más pesadas de toretes en finalización.

Palabras clave: Clorhidrato de zilpaterol, Toretes, Zinc

Abstract

Influence of zinc methionine and zilpaterol hydrochloride supplementation on feedlot performance and carcass characteristics of yearling-finishing bulls

M.V.Z. Moisés Verdugo Insua

Eighty yearling-bulls (488.8 ± 4.17 kg) were utilized in a 32 d experiment to evaluate the influence of zinc methionine and zilpaterol hydrochloride supplementation on feedlot performance and carcass characteristics of yearling-bulls fed a finishing diet. Cattle were individually weighed, and groups of five were placed in 16 pens (6 x 12 m). Pens were randomly assigned to one of four treatments 1) Basal diet (CTRL); 2) CTRL plus zilpaterol hydrochloride (ZH); 3) CTRL plus 40 mg Zn/kg DM (ZN); or 4) CTRL plus zilpaterol hydrochloride and zinc-methionine (40 mg Zn/kg DM; ZHZN). The basal diet (14% CP; 1.86 Mcal of NE_m/kg and 60 mg Zn/kg of DM) was supplemented with 57 mg of Zn/kg using zinc sulfate. Both, ZH and ZN were top-dress on the diet in the feed bunk. The ZH was supplied daily as 1.63 g of Zilmax® (Merck Animal Health)/bull (which equate to 0.15 mg ZH/kg BW). Zilmax was withdrawn three days prior harvest. The ZN was daily supplemented as 4.6 g ZINPRO® (Zinpro Corporation)/per bull. The ZINPRO product contains 10% Zn as zinc-methionine complex. The experiment was analyzed by co-variance as a completely randomized design with 2 x 2 factorial arrangement of treatments. Initial weight was the associate co-variable. Feeding ZH increased ($P < 0.05$) final weight (1.9%) and ADG (29.9%), improved ($P < 0.05$) feed/gain ratio 31%, and augmented ($P < 0.01$) hot carcass weight 14.3 kg, and dressing percentage by 1.4%. The ZN has no effect on the measured variables ($P > 0.20$). A tendency ($P = 0.11$) was observed for ZH x ZN interaction on carcass weight, with mean values of 328, 337, 323, and 342 kg for CTRL, ZH, ZN and ZHZN, respectively. A ZH x ZN interaction ($P < 0.05$) was detected for dressing percentage with mean values of 62.8, 63.2, 61.5 and 64.0 for CTRL, ZH, ZN and ZHZN, respectively. Treatments had no effect on carcass characteristics ($P > 0.20$). Results suggest that the Zn supplementation to diets that contains ZH could contribute to increased dressing percentage and heavier hot carcass weight of yearling finishing bulls.

Key words: Yearling bulls, Zilpaterol hydrochloride, Zinc

I. INTRODUCCIÓN

En la región central del estado del Estado de Sinaloa durante todo el año, es común la variación en los principales insumos alimenticios del ganado bovino, debido a la zona productiva, la alta comercialización y a las características climatológicas que afectan a la producción agropecuaria (SAGARPA, 2006). Esto implica buscar tecnologías que fomenten a mejorar la productividad, y las características de producción en ganado de engorda, por este motivo se ha buscado aditivos y promotores de crecimiento adicionados en el alimento, que ayuden a mejorar las características productivas (Aranda, 2008). El Zinc (Zn) ha sido reconocido como un elemento indispensable para el crecimiento de los animales, es un componente esencial de las enzimas; entre sus funciones incluyen el metabolismo de carbohidratos y energía, la síntesis de proteínas, metabolismo de los ácidos nucleicos, integridad de los tejidos epiteliales, participa en la reparación y división celular, el transporte, utilización y absorción de la vitamina A y E, así como también en la activación del sistema inmune, la estabilización de las membranas y el mantenimiento de la integridad de la piel (NRC, 2000; Kellogg y col., 2004). Estudios señalan que la suplementación en la dieta de fuentes de zinc orgánico aumenta la ganancia de peso, el rendimiento de la canal y la deposición de grasa en tejido (Greene y col.,1988), por esta razón se ha buscado adicionar zinc, con otras sustancias que promueven el crecimiento como los agonistas β adrenérgicos (AβA), (Spears, 2002), los cuales fomentan la degradación de tejido adiposo y catalizan la síntesis de proteína muscular, aumentando con ello la formación de músculo y así la producción de carne (Sumano y Ocampo, 2006). Uno de los principales AβA usados en bovinos de engorda en finalización es el clorhidrato de zilpaterol (ZH) (Barajas y col., 1998).

Por lo que el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la adición de metionina de zinc y clorhidrato de zilpaterol en la respuesta productiva y características de la canal de toretes en finalización.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes.

La producción de carne de bovino es una actividad importante en el Estado de Sinaloa, en el que se encuentra la mayor concentración de bovinos en engorda intensiva de todo el país, con una capacidad instalada para atender a 200,000 bovinos en corral de engorda (INEGI, 2008); ubicada la mayoría de las engordas en el municipio de Culiacán. El desarrollo de la engorda intensiva en Sinaloa se ha fincado en la disponibilidad de productos y sub-productos de la agricultura para la alimentación (INEGI, 2008); sin embargo, el principal problema que enfrenta esta actividad, es la variación climatológica que limita el uso constante de los insumos alimenticios, que junto con la alta comercialización, limitan, la obtención de los productos, tanto por el aumento de los precios como por la escases de los mismos.

2.2. Zinc.

El zinc es un metal relativamente blando, un catión divalente, con número atómico de 30 y peso atómico de 65.37 unidades de masa atómica; a menudo se encuentra asociado con otros minerales como el plomo, cobre, cadmio, hierro, y se puede encontrar en forma de sulfuros como ZnS (McDowell, 2003). El zinc es un elemento moderadamente abundante que ocupa el 24vo lugar en abundancia de los elementos químicos y se puede encontrar a una concentración aproximada de 10 a 300 ppm en la corteza terrestre (McDowell, 2003). Una de las principales causas de la variación en la concentración de Zn en los alimentos está relacionado con la cantidad de Zn distribuida en el suelo y por lo tanto, la cantidad de Zn que se encuentre en las plantas, al igual que su estado de madures. Entre los pastos puede disminuir la cantidad de Zn casi un 50% en los cortes sucesivos, otro factor que interviene en la concentración de Zn es la diferencia entre las especies. En las gramíneas esta diferencia es menos amplia que en las leguminosas (Suttle, 2010).

En los pastos la concentración de zinc varía entre 25 y 50 mg kg MS. La paja por lo general contienen sólo un tercio de la concentración que se

encuentra en los granos, con frecuencia menos de 12 mg de Zn /kg MS. En los granos de cereal la concentración fluctúa de 14 a 30 mg de Zn/kg/MS. El maíz tiene una concentración aproximada de 19 mg de Zn/kg/MS y el sorgo 14 mg de Zn/kg/MS, en tanto que en los ensilajes la concentración varia de 12 a 45 mg de Zn/kg/MS, esto refleja la variación de zinc en la dieta básica de animales de engorda en los trópicos. En las semillas de oleaginosas la concentración de Zn oscila entre 50 a 70 mg/kg/MS (ppm), y en las fuentes de proteína de origen animal la concentración varía de 90 a 100 ppm (McDowell, 2003; Suttle, 2010).

2.2.1. Función biológica del zinc.

El Zn ha sido reconocido por varias décadas como un elemento indispensable para el crecimiento normal y salud de los animales, por ser un componente esencial de las enzimas (Kellogg y col., 2004; Rosa, 2008). La función principal del Zn en los organismos está relacionada a su asociación a enzimas y proteínas, como parte de la molécula y como un activador; hay más de mil proteínas que están asociadas con el Zn, como las metaloproteinas (metaloenzimas), entre las cuales se encuentran la anhidrasa carbónica, carboxipeptidasa, peptidasas, fosfatasa alcalina, la alcohol deshidrogenasa, la superóxidodismutasa (McDowell, 2003).

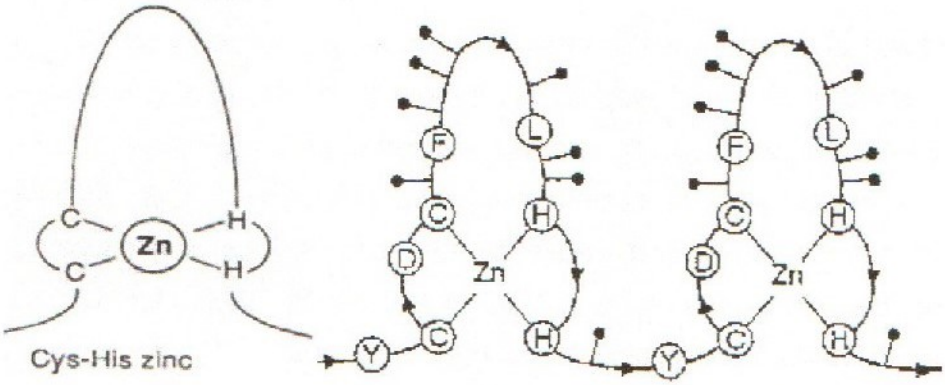
El Zn es necesario para la integridad estructural y funcional de más de 2000 factores de transcripción y señalización, de casi todas las vías metabólicas que requieren proteínas dependientes de zinc (Suttle, 2010).

Entre las principales funciones biológicas del Zn, se encuentran las catalíticas, estructurales y reguladoras (Kellogg y col., 2004). Entre las acciones metabólicas en la que participa el Zn, se incluye el metabolismo de carbohidratos y energía, la síntesis de proteínas, metabolismo de los ácidos nucleicos, integridad de los tejidos epiteliales, reparación y división celular; el transporte, utilización y absorción de la vitamina A y E, así como la activación del sistema inmune, la estabilización de las membranas, y el mantenimiento de la integridad de la piel (NRC, 2000; Kellogg y col., 2004).

Por lo general el Zn se une a proteínas a través de los residuos de cisteína y la histidina, jugando un papel catalizador y a veces un papel estructural. En su

papel estructural, el Zn actúa como estabilizador de la estructura del ADN, ARN y ribosomas, por lo que está involucrado en la transcripción y traducción del material genético (McDowell, 2003). Una secuencia especial de aminoácidos que contienen cisteína e histidina se localizan en una serie de proteínas de unión al ADN (factores de transcripción), esta secuencia tiene una conformación en espiral en la superficie de la proteína, semejando a una salchicha o un dedo, compuesta de unos 30 aminoácidos unidos fuertemente a un átomo de zinc; la estructura es llamada "dedos de zinc" (Figura 1). Se conoce que la unión de la proteína al ADN regula la expresión genética (McDowell, 2003; Suttle, 2010).

Figura 1. Estructura de los dedos de zinc.



Adaptado de Acosta-Viana, 1996.

El Zn también participa en la producción, almacenamiento y secreción de hormonas, así como catalizador de los receptores y respuesta de los órganos diana, entre los cuales destaca la producción de hormonas esteroides en las gónadas, la producción de insulina en el páncreas, así como la producción de corticosteroides en las glándulas suprarrenales (McDowell, 2000). Por esta razón el zinc regula genes implicados en la transducción de señales, entre las cuales se encuentran, la respuesta al estrés, las reacciones de oxidación, reducción, crecimiento; incluyendo un receptor de citoquinas de las células T y uroguanilina, colecistoquinina y la leptina "hormonas controladoras del apetito" (Suttle, 2010).

2.2.2. Deficiencias del zinc.

Una deficiencia de zinc en las especies animales provoca trastornos metabólicos reflejados por la pérdida de apetito, disminución del crecimiento, alteraciones de la piel, problemas reproductivos y problemas de cicatrización. En animales en producción de carne, el bajo consumo de Zn se refleja en la disminución de la ganancia de peso y la respuesta productiva (NRC, 2000; Rosa, 2008). En los tejidos de rápido crecimiento, la deficiencia de Zn reduce la síntesis de proteínas y por lo tanto, compromete la capacidad de la expresión de los genes (McDowell, 2003). Una deficiencia de Zn en gestación, tiene un efecto negativo en el desarrollo fetal, produciendo defectos, en su mayoría teratogénicos (Suttle, 2010).

El desarrollo de los órganos sexuales en el macho y la hembra puede verse afectada por la deficiencia de Zn; de igual forma en todas las fases del proceso reproductivo de la hembra como en la ovulación, hasta el parto y la lactancia. En el macho la principal anomalía es la atrofia testicular y por consiguiente una disminución de la espermatogénesis y la producción de testosterona (NRC, 2000; Suttle, 2010). Otras anomalías que se pueden presentar por una deficiencia, son las anormalidades en la formación del hueso. En becerros se puede observar un arqueamiento de las piernas traseras y rigidez de las articulaciones, esto se debe a una mala expresión de la síntesis del colágeno óseo, provocada por la reducción de la actividad de la colagenasa tibial, una metaloenzima de Zn (McDowell, 2003).

Por otra parte, la piel es particularmente rica en Zn, la cual al tener una deficiencia severa se caracteriza por lesiones como dermatitis, paraqueratosis, agrietamiento en la piel, patas, pesuñas, cuernos, pérdida del pelo (McDowell, 2003; Suttle, 2010). Otro problema de gran importancia, es la atrofia del timo, lo cual ocasiona una depresión en la respuesta de linfocitos T y por consiguiente una inmunosupresión (NRC, 2000; McDowell, 2003).

2.2.3. Absorción y transporte del zinc.

El zinc es absorbido en el intestino delgado (yeyuno e íleon), aquí es ligado a una proteína llamada metalotioneína (metaloproteina); esta proteína es producida en el hígado y se encuentra en todo el organismo, principalmente en intestino delgado; una vez ligado el zinc a las metalotioneinas pasa por los enterocitos de la mucosa intestinal hacia el torrente sanguíneo, el cual se dirige hacia el hígado por la vena porta; ya en hígado, ocurre un recambio proteico (degradación y resíntesis), y rápidamente se vuelve a utilizar el Zn dentro de otra célula, el cual se distribuye al torrente sanguíneo en dos fracciones principales: dos tercios de Zn se dirigen hacia el plasma, unido a la albúmina, y el resto, unido a proteínas de alto peso molecular como α2-macroglobulina y aminoácidos; este se distribuye por la vena hepática hacia la vena cava inferior y por esta vía hacia el corazón para su distribución en el organismo (McDowell, 2003; Rosa, 2008).

El flujo y la acumulación más rápida de Zn se producen mayormente en los tejidos blandos como el páncreas, hígado, riñón, bazo, aparatos reproductores, intestinos y glándulas suprarrenales. La absorción de zinc por el sistema nervioso central y los huesos es relativamente lenta, ya que el Zn se mantiene firmemente unido por largos períodos, en los cuales no está disponible para su uso metabólico (McDowell, 2003; Rosa, 2008). La metalotioneína parece actuar como un almacén temporal para el Zn, sobre todo cuando el elemento está presente por arriba de las necesidades; además, la superóxidodismutasa del hígado también funciona como una forma de almacenamiento de Zn (Carrasco, 2000).

Los requerimientos del zinc varían según la edad y la tasa de crecimiento, ya que la absorción de Zn disminuye con la edad, a medida que disminuye la tasa de crecimiento. Los animales jóvenes y de rápido crecimiento tienen una mayor actividad de zinc con la metalotioneína o una necesidad mayor que animales de viejos o de crecimiento más lento (McDowell., 2003). Otros factores que influyen en la absorción del zinc, son las grandes proporciones del mismo, el cual es limitado por el aumento de la metalotioneína y su acción de secuestrar iones metálicos que están presentes en concentraciones elevadas.

La presencia de metales pesados limita la absorción del zinc; a mayor concentración de Hg, Cd, Cu, Pb, será menor la concentración de Zn ligado a las metalotineinas (McDowell, 2003; Carrasco, 2000). Otro factor que influye en la absorción del zinc es el tipo de fuente adicionada en la dieta, ya qué fuentes orgánicas de zinc han demostrado ser más metabolizables que las fuentes inorgánicas (Spears, 1989).

2.2.4. Excreción del zinc.

La excreción del zinc se produce principalmente a través de las secreciones pancreáticas, las heces, y la orina, y en menor proporción por la pérdida o caída del pelo y/o en otras secreciones (McDowell, 2003; Suttle, 2010).

2.2.5. Fuentes de zinc y dosis.

Existen diferentes fuentes de zinc en el mercado para su utilización como aditivo en bovinos en producción, estas fuentes son: óxido de zinc, sulfato de zinc, metionina de zinc, y proteinato de zinc (Greene y col., 1988; Spears 2002). Al parecer la absorción de metionina de zinc es similar a la de óxido de zinc, sin embargo la metionina de zinc se metaboliza de mejor después de su absorción respecto al óxido de Zn (Spears, 1989). Cao y col. (2000) comentaron que las fuentes orgánicas de zinc son más biodisponibles, en comparación con las inorgánicas.

Spears (1989), adicionó 25/mg/kg de MS de ZnO y ZnMet, en la dieta de vaquillas, mejorando 1.57%, el peso en la etapa de crecimiento, con respecto a no adicionados con zinc. Rosa y col. (2008) señalaron que las concentraciones de Zn en la dieta inferiores a 20 ppm/kg/MS se asocian con manifestaciones de carencia. Se ha establecido un requerimiento de 30 ppm/kg/MS en el alimento para animales productores de carne, 19 ppm/kg/MS para terneros en crecimiento y 50 - 75 ppm/kg/MS para animales de engorda en corral; mientras mayor sea el requerimiento de producción, mayormente será el requerimiento nutricional de Zn. El NRC (2000), señala una dosis de 30 mg Zn/kg de materia seca para bovinos en producción.

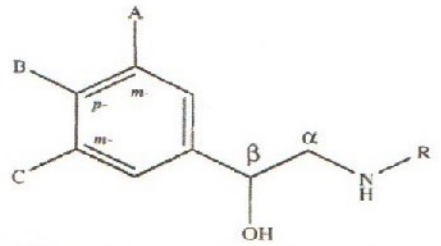
2.2.6. El zinc en la respuesta productiva de bovinos en engorda.

Greene y col. (1988) observaron que dosis de 360 mg de metionina de zinc o de óxido de zinc, mejoraron la deposición de grasa en tejido muscular, así como la deposición de grasa de riñón-pelvis-corazón (> 12 %), respecto de los novillos que no recibieron Zn adicional. Malcolm y col. (2000) observaron el efecto en la adición de 20, 100 y 200 mg/kg de MS de la dieta, de sulfato de Zinc ($ZnSO_4$) en novillos en finalización, teniendo como resultados que la adición de esta fuente de Zn, no modificó las respuesta productiva, ni las características de la canal, sin embargo, el espesor de grasa dorsal mejoró 20% a dosis de 100 mg/Zn/MS. En otro experimento, Malcolm y col. (2000) al comparar sulfato de zinc ($ZnSO_4$), con un complejo de aminoácidos adicionado de zinc y una mezcla de zinc con polisacáridos a dosis de 30 mg/kg/MS de la dieta, no observaron mejora en la respuesta productiva, sin embargo, las características de la canal presentaban un incremento en el porcentaje de grasa en riñón, pelvis y corazón de los novillos suplementados con $ZnSO_4$. Por otra parte, Spears y Kegley (2002) realizaron una investigación con novillos para determinar los efectos del nivel de Zn y la fuente, sobre el rendimiento y características de la canal de novillos de engorde con 4 tratamientos: 1) Testigo, 2) 25mg/kg ZnO, 3) ZnProt-A 10% y 4) ZnProt-B 15%, los resultados fueron, que independientemente de la fuente de zinc, la GDP fue mayor un 9% durante la fase de crecimiento y finalización en comparación del tratamiento testigo; las características de la canal y el peso en canal caliente fue 16% mayor con las fuentes de zinc orgánicas respecto de las inorgánicas; el área de ojo de la costilla fue mejorada en 4% en los novillos que recibieron Zn orgánico. Se ha buscado la manera de suplementar Zn en la dieta de bovinos en producción (Rosa, 2008), ya que los requerimientos nutricionales suelen aumentar con respecto a su producción; actualmente no se ha registrado información de la adición de metionina de zinc y la adición de un promotor del crecimiento en el alimento para toretes en engorda intensiva en finalización.

2.3. Agonistas β adrenérgicos (AβA)

Los agonistas β adrenérgicos son sustancias con una estructura química similar, los cuales se componen de un anillo aromático, un grupo hidroxilo unido a un al carbono β, un nitrógeno alifático y una cadena R (Smith, 1998); en el anillo aromático se realizan las sustituciones con distintos radicales, Figura 2, afectando el metabolismo de los agonistas β adrenérgicos (AβA) y su afinidad para unirse al receptor; mientras que el grupo amino, al encontrarse ionizado provoca que la mayoría de los AβA no sean lipofílicos a menos que existan regiones dentro de la molécula que sean lipofílicas e interactúen con la grasa; por su parte, el carbono β determina la quiralidad, la cual es determinante para que el AβA tenga actividad biológica.

Figura 2.La estructura general de fenetanolamina agonistas β adrenérgicos.



Aromatic Substitution				
A	B	C	Category	Example(s)
-H	-OH	-H	Phenol	Rectopamine, Ritodrine,
-OH	-H	-OH	Resorcinol	Fenoterol, Terbutaline
-OH	-OH	-H	Catechol	Isoproterenol, Dobutamine
$-CH_2OH$	-OH	-H	Saligenin	Salbutamol, Salmeterol

Patrones de sustitución comunes de anillos aromáticos presentes en β agonistas. Para β adrenérgico agonistas, el grupo R adyacente al nitrógeno alifático siempre es voluminoso, comúnmente un grupo t-butilo, grupo isopropilo, alquilfenilo o alquilfenol. El anillo aromático (m y p), indican la posición para m y p en relación con el β -carbono fenetanolamina. Modificado de Smith (1998)

El mecanismo principal de los AβA para producir una respuesta biológica directa es uniéndose a los receptores β adrenérgicos (RβA) en la superficie celular; casi todos los tipos de células dentro del cuerpo de los mamíferos

tienen RβA, integrados en la membrana plasmática (Mersmann ,1998). Cuando se compara entre las especies, hay un 75% o más de homología para cualquiera de los subtipo RβA, por lo tanto el número y tipo de receptores pueden variar dentro y entre especies (Mersmann, 1998). El receptor principal que se encuentra en el tejido adiposo de bovino es el receptor β2 (Baxa, 2008). Otros estudios han determinado que la β2-AR es el subtipo más abundante, tanto en el músculo *Longissimus dorsi*, así como en el tejido adiposo perirenal de ganado (Sillence y Matthews, 1994).

Los β-AR se componen de más de 400 aminoácidos, en una cadena continua que se anclan a la membrana plasmática por siete dominios transmembrana, relativamente hidrófobos (Mersmann, 1998).

2.3.1. Receptores adrenérgicos.

A lo largo del organismo existen receptores en la membrana celular, llamados receptores adrenérgicos, los cuales se encargan de recibir las catecolaminas adrenalina-epinefrina y noradrenalina-norepinefrina (Lynch y Ryall, 2008). Estos receptores adrenérgicos se dividen en dos grupos, α y β, que se encuentran localizados en diferentes proporciones en los tejidos del organismo.

Los receptores α se subdividen en dos familias, α1 y α2 (Lynch y Ryall, 2008). Los α1 se han localizado principalmente en los vasos sanguíneos, músculo liso y corazón, teniendo efectos sobre la vasoconstricción de arteriolas, contracción del miometrio y regulación de la presión sanguínea (Lynch y Ryall, 2008). Los receptores α2 se encuentran en la porción pre sináptica, con un efecto inhibitorio en la liberación de noradrenalina en el sistema nervioso central; la localización post sináptica, en vasos sanguíneos, páncreas y plaquetas tienen un papel importante en la liberación de neurotransmisores, el desempeño cardiovascular y la respuesta a la sedación (Lynch y Ryall, 2008).

Los receptores β se dividen en tres subtipos: β1, β2, β3, los cuales se encuentran en la mayoría de las células. La localización de estos receptores está muy ligada con los efectos que éstos inducen (Mersmann, 2002). Se han

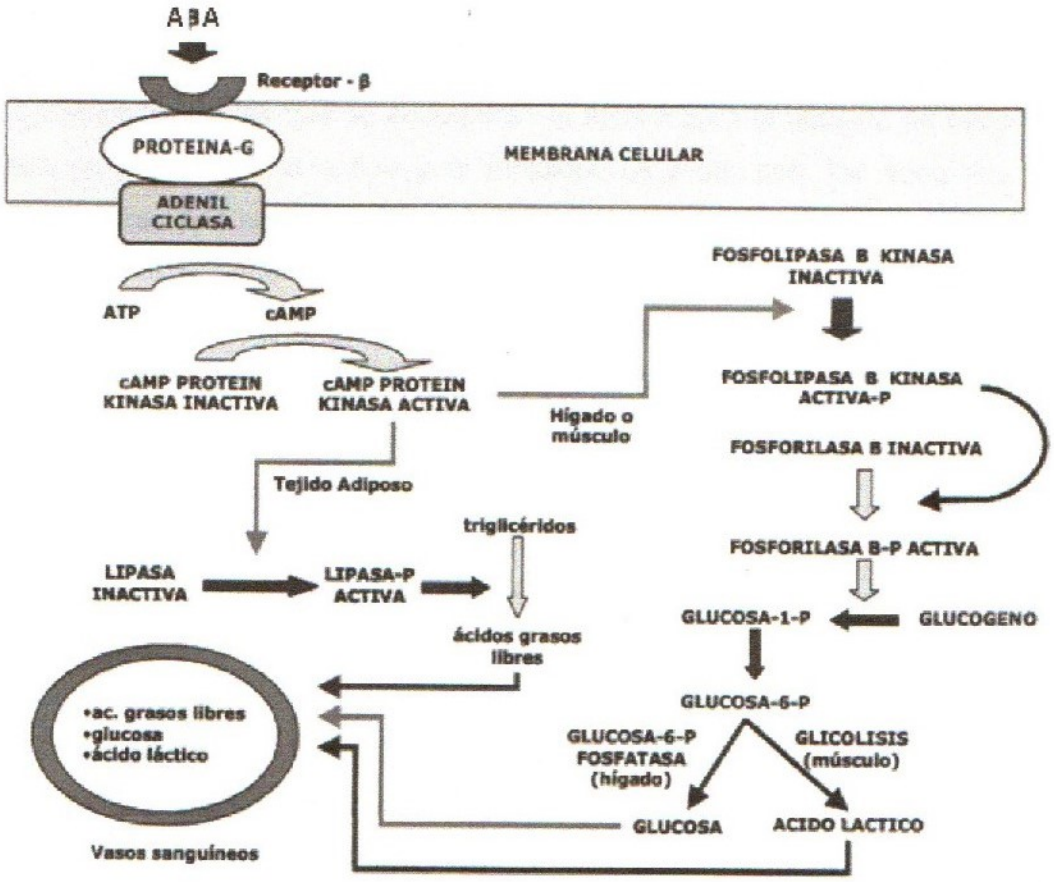
encontrado receptores β1 en la porción post sináptica, pero pueden ubicarse en la porción pre sináptica. Se encuentran en el corazón, plaquetas y glándulas salivales, ocasionando incremento en la contracción y la frecuencia cardiaca, agregación plaquetaria y secreción de amilasa de las glándulas salivales (Baxa, 2008). Los receptores β2, se pueden encontrar en la porción post sináptica y están localizados en vasos sanguíneos, bronquios, tracto gastrointestinal, músculo esquelético, hígado y células cebadas, su activación genera vasodilatación, bronco dilatación, disminución de la motilidad y el tono gástrico e intestinal; induce relajación de la vesícula y ductos biliares, del miometrio; induce glucógenolisis en el hígado, en páncreas induce la liberación de insulina y glucagon, en músculo provoca la glucogenólisis y la producción de lactato, y se asocia con la ganancia de tejido muscular (Lynch y Ryall, 2008). Los receptores β3 se han encontrado principalmente en el tejido adiposo, en músculo esquelético, hígado e íleon, ocasionando lipólisis, termogénesis, reduciendo el consumo voluntario (Lynch y Ryall, 2008).

2.3.2. Mecanismos de acción de los agonistas β adrenérgicos.

A diferencia de los anabólicos esteroidales, los AβA no pueden pasar a través de la membrana celular, y por lo tanto se unen a la porción extracelular de la célula, receptores adrenérgicos (RA) que activa la porción intracelular de las β-RA/GS o complejo β-RA/GI. La activación del complejo GS conduce a la activación de la adenilato ciclasa para producir AMP cíclico a partir de ATP, los aumentos de AMPc activan la proteína quinasa A, que conduce a la fosforilacion de los residuos de serina/treonina de las enzimas clave de proteínas, esto puede causar la activación o inactivación de estas enzimas proteicas (Mersmann, 1998; Cassie, 2006). Una de las proteínas que se puede activar es la lipasa, sensible a hormonas, que es el paso limitante de la velocidad en la lipólisis. Una proteína que puede ser inactivada es acetil CoA carboxilasa, que es el paso limitante en la lipogénesis (Mersmann, 1998; Cassie, 2006). La activación de genes también pueden verse afectados por la proteína quinasa A (PKA) que fosforila factores de transcripción como la proteína de unión a elementos de respuesta a AMPc (CREB), que se une al

ADN (Mersmann ,1998), Figura 3. Otros estudios han informado el efecto de los AβA para aumentar la cantidad de ARN de transcripción para las proteínas musculares, como la miosina de cadena ligera, actina y calpastatina (Smith y col., 1989). Estas respuestas biológicas a partir de la activación de los β-RA indican cómo la acumulación y deposición de tejido pueden verse afectadas. Mersmann (1998), señaló que la actividad biológica de los AβA depende de la afinidad por el β-RA y de su composición química, con características que afectan la absorción, distribución, metabolismo y eliminación de los compuestos. En la Figura 3 se esquematiza la función de los AβA dentro de la célula.

Figura 3. Función de los agonistas β adrenérgicos dentro de la célula.



Adaptado de Millar, 2010.

2.3.3. Función biológica de los agonistas β adrenérgicos.

Uno de los efectos generados por la administración de los β agonistas en el alimento que consumen lo bovinos en engorda, es el aumento de la masa muscular en mayor proporción al tiempo de consumo. Se reconoce un incremento de la síntesis de proteína muscular y un decremento en la degradación de esta (Sumano y Ocampo, 2006). Una de las características de los β agonistas, es aumentar el crecimiento de las células satélite, las cuales tienen acción en la reparación de las células musculares e hipertrofia de la mismas (Baxa, 2008). Las células satélite son células mono nucleadas que se encuentran entre la lámina basal y sarcolema de las fibras musculares, se puede dividir e incorporar en la fibra muscular existente (Baxa, 2008). La forma en la que actúan los β agonistas es uniéndose a los receptores adrenérgicos que se encuentran en la superficie de la membrana celular (Baxa, 2008). Los β agonistas incrementa la cantidad de ARNm para varias proteínas del músculo esquelético, entre las que se encuentran el ARNm para la miosina de cadena ligera, el ARNm de la actina y el inhibidor de proteasas, los agonistas β adrenérgicos pueden aumentar el flujo sanguíneo en ciertas partes del organismo, ese aumento permite el proceso de hipertrofia en el músculo esquelético, al trasportar mayores cantidades de sustratos y fuentes de energía hacia el interior de la célula para la síntesis de proteína (Sumano y Ocampo, 2006).

2.3.4. Absorción de los agonistas β adrenérgicos.

Los compuestos AβA tienen una vida media variable. A pesar de que los AβA comparten la estructura básica, la absorción, la excreción y por tanto la vida media difieren entre compuestos debido a las propiedades químicas particulares a cada uno; los AβA presentan una rápida absorción vía digestiva en general. El pH del tracto gastrointestinal influye en la absorción; un pH ácido en el abomaso favorece la ionización del compuesto, mientras que un pH neutro en intestino delgado disminuye la ionización y favorece la absorción pasiva a través de la mucosa intestinal. Los niveles plasmáticos más altos se

alcanzan 1 y 3 h después de la administración oral (Smith, 1998; Sumano y col., 2002).

En becerros tratados con clenbuterol (5 µg/kg), se detectó en sangre entre 20 minutos y 1 h después de la administración, y al cabo de 2 a 7 h después, la concentración plasmática alcanzó 0.5 ng/ml; además, se demostró el efecto acumulativo del clenbuterol ya que para el d 21 del tratamiento, la concentración plasmática fue de 1.1 ng/ml (Meyer y Rinke, 1991; Sumano y col., 2002). Para el salbutamol, las concentraciones plasmáticas máximas son alcanzadas en ganado bovino entre 3 y 4 h después de la administración oral (dosis 78 µg/kg), y de 4.8 y 4 ng/ml en los días 1 y 10, respectivamente (Pou y col., 1992).

2.3.5. Metabolismo de los agonistas β adrenérgicos.

El metabolismo depende considerablemente de la ruta de administración; la activación o inactivación puede ocurrir en el tracto digestivo. La unión a proteínas plasmáticas en la mayoría de los β-agonistas es insignificante y existe una considerable distribución extravascular de la dosis administrada, por vía intravenosa la eliminación es predominantemente renal, mientras que las dosis vía oral son eliminadas por biotransformacion en hígado (Smith, 1998).

2.3.6. Eliminación y residuos de los agonistas β adrenérgicos.

Más del 50% de los compuestos AβA se eliminan a las 48 h siguientes a la administración, principalmente por vía urinaria (Smith, 1998; Smith y Shelver, 2002). En becerros, el 50% del clenbuterol se excretó por orina y el 2% en heces (Smith, 1998). En novillos, la excreción del cimaterol fue del 90% a las 3 h de la administración, sin embargo, sólo un 20% del cimaterol fue recuperado en la orina (Byrem y col., 1992).

Shelver y Smith (2006) incluyeron 0.15 mg/kg/día de zilpaterol durante 10 días en la ración de ovinos, determinando que a 2 días del retiro, los residuos en hígado, riñón y músculo disminuyeron a un nivel muy bajo, desapareciendo o reduciéndose a cantidades traza después de 5 días post retiro. La excreción

urinaria en ovinos siguió un patrón de excreción de primer orden de (15.3 +/- 1.8 h).

Smith y Shelver (2002) midieron la excreción urinaria y residuos de ractopamina en hígado y riñones de vaquillas, ovejas y patos, encontrando que tanto bovinos como ovinos excretan cantidades detectables de residuos de ractopamina y metabolitos en la orina hasta por 5 a 7 días post-retiro, estos investigadores no encontraron residuos detectables de ractopamina en vísceras de pato, aún sin periodo de retiro; mientras que en ovejas y vaquillas, los residuos en hígado y riñón desaparecieron a un nivel no detectable (2.5 ppb) a los 7 días.

Shelver y Smith (2006) administraron zilpaterol en dosis de 0.15 mg/kg/d a ovinos durante 10 d y evaluaron el periodo de retiro por 0, 2, 5 y 9 d, encontrando que el zilpaterol se elimina durante los 3 primeros d del período de retiro, seguido un patrón de excreción de primer orden, con una media de eliminación promedio de vida de 15.3±1.8 h. Además, los residuos en el hígado de ovinos fueron de 29.3, 1.5, 0.13, y 0.10 ng/g después de 0, 2, 5 y 9 d de retiro respectivamente; mientras que los residuos en los riñones alcanzaron 29.6, 1.10, 0.09 ng/g, para los d 0, 2 y 5 post retiro, y por debajo del límite de detección en el d 9; por su parte los residuos del músculo fueron de 13.3, 0.86, 0.12, y 0.08 ng/g, en los tiempos de retiro ya mencionados.

Los AβA como el clenbuterol, salbutamol, terbutaline y ractopamina se unen a la melanina en pelo y tejido pigmentado del ojo, y pueden ser detectados en estos tejidos por más tiempo del que se detectan en cualquier otro, como músculo y vísceras (Smith, 2002). Cabe mencionar que para los AβA clenbuterol, zilpaterol y ractopamina, el fármaco original es el residuo marcador y constituye el único residuo de importancia sanitaria, por lo que se considera a lo encontrado como el 100% de los residuos totales en el músculo, la grasa y la leche y 60% de los residuos totales en el hígado y riñón de los bovinos (Sumano, 2002).

2.3.7. Clorhidrato de zilpaterol en la respuesta productiva de bovinos en engorda intensiva.

Se han realizado estudios con β adrenérgicos con el afán de mejorar el rendimiento y características de la canal de bovinos en engorda, utilizando principalmente el clorhidrato de zilpaterol, AβA de elección. En toretes en finalización, la adición de 6.8 mg/kg/MS de clorhidrato de zilpaterol, mejoró la respuesta productiva (Barajas y col., 1998). Vasconcelos y col. (2008), observaron un incremento del 10% en la respuesta productiva, una mejora del 11% en el rendimiento de la canal y una reducción del 5% en la grasa de riñón, pelvis y corazón por la adición de 8.33 mg/kg/MS de clorhidrato de zilpaterol en novillos en finalización.

La administración de clorhidrato de zilpaterol a dosis de 8.3 mg/kg/MS, incremento un 1.8% la respuesta productiva, mejoró un 6% las características de la canal, con un 13% de incremento en el rendimiento y una disminución de 6% de la grasa en riñón, pelvis y corazón de toretes en finalización durante los últimos 30 días (Baxa y col., 2010).

Es clara la efectividad del clorhidrato de zilpaterol al mejorar la respuesta productiva y características de la canal de bovinos, sin embargo es nula la información sobre los resultados de la adición conjunta de metionina de zinc y clorhidrato de zilpaterol de toretes en la etapa de finalización.

III. HIPÓTESIS

La adición conjunta de 40 mg/kg de MS de metionina de zinc y 6.08 mg/kg de MS de clorhidrato de zilpaterol a la dieta, mejora la respuesta productiva y las características de la canal en toretes en finalización.

IV. OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de la adición conjunta de 40 mg/ kg de MS de metionina de zinc y 6.08 mg/kg de MS de clorhidrato de zilpaterol en la ganancia diaria de peso, el consumo de alimento, conversión alimenticia y características de la canal de toretes en finalización.

4.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4.1.1. Medir el efecto de la adición conjunta de 40 mg/ kg de MS de metionina de zinc y 6.08 mg/kg de MS de clorhidrato de zilpaterol, en la ganancia diaria de peso, el consumo de alimento y conversión alimenticia de toretes en finalización.

4.1.2. Evaluar la influencia de la adición conjunta de 40 mg/ kg de MS de metionina de zinc y 6.08 mg/kg de MS de clorhidrato de zilpaterol, en las características de la canal de toretes en finalización.

V. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Localización geográfica

El experimento se realizó en la "Unidad Experimental para Bovinos en Engorda Intensiva en Trópico Seco" de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa, ubicada en Ganadera Los Migueles S.A de C.V. localizada en el km 4 de la carretera federal N° 15, tramo Culiacán–Los Mochis en Culiacán, Sinaloa, con la siguiente localización geográfica a 24° 51' de latitud Norte y 107° 26' de longitud Oeste, a 57 msnm, con una temperatura media anual de 24.8 °C y una precipitación media anual de 689 mm (INEGI, 2009).

5.2. Animales y alojamiento

Todos los animales que se utilizaron en este experimento fueron tratados de acuerdo con las recomendaciones de la *Guidefor the Care and Use of Agricultural Animals in Agricultural Research and Teaching* (Consortium, 1988).

Se utilizaron 80 toretes provenientes de un proceso de engorda intensiva y cuyo peso corporal al inicio de la fase de medición, que comprendió los últimos 32 días de la engorda, fue de 488 ± 10 kg.

5.3. Diseño experimental y tratamientos

Setenta días antes de iniciar la fase de medición, los animales se pesaron individualmente y de acuerdo a su peso corporal se dividieron en cuatro bloques y se agruparon bajo un diseño de bloques completos al azar (Hicks, 1973), divididos en grupos de 5 animales y se alojaron en 16 corraletas (4 corraletas por tratamiento) con piso de tierra (6 x 12 m), provistas con 2.4 m de comedero lineal de concreto y 0.60 m de bebedero automático. Dentro de cada bloque de corraletas, se les asignó aleatoriamente a los tratamientos que debiesen consumir 70 días después, cuando entraran a la última fase de finalización y que fueron los siguientes: 1) Dieta de finalización con una proporción concentrado: forraje 89:11 (Testigo); 2) Dieta Testigo adicionada

con 40 mg/kg/MS de zinc orgánico; 3) Dieta Testigo adicionada con 9.6 gramos de clorhidrato de zilpaterol y 4) Dieta Testigo adicionada con una mezcla de 40 mg/kg/MS de zinc orgánico y 9.6 gramos de clorhidrato de zilpaterol.

La composición de la dieta de finalización se presenta en el Cuadro 1. El zinc orgánico se proporcionó en forma de metionina de Zn a partir de la premezcla Zinpro (Zinpro Corporation, Eden Prairie, MN), que contiene 10% de Zn. La dosis de Zn orgánico se proporcionó a cada corraleta (cinco animales) mezclando 26 g de Zinpro en 1 kg de sorgo molido y se adicionó al alimento directamente en el comedero, después de haber servido el alimento, con el cual se mezcló manualmente (Técnica de "Top dressing"). En las corraletas asignadas al tratamiento testigo, se proporcionó 1 kg de sorgo molido para homogeneizar el aporte de energía en todos los tratamientos.

La adición de clorhidrato del zilpaterol se proporcionó a partir de una premezcla (Zilmax; Lab Intervet - MSD) que contiene 48 g de clorhidrato de zilpaterol 1000 g de olote de maíz. La dosis se proporcionó a cada corraleta (cinco animales) mezclando de 9.6 g de zilmax en 1 kg de sorgo molido y se adicionó al alimento directamente en el comedero, después de haber servido el alimento, con el cual se mezcló manualmente (Técnica de "Top dressing"). En las corraletas asignadas al tratamiento testigo, se proporcionó 1 kg de sorgo molido para homogeneizar el aporte de energía en todos los tratamientos.

5.4. Desempeño en corral

Una vez que los animales completaron su periodo de engorda previo a la fase final en la que se adicionaría el clorhidrato de zilpaterol. Los animales fueron pesados individualmente (peso inicial del experimento) y se les dejó alojados en los mismos corrales en que habían sido engordados para evitar los problemas relacionados con el restablecimiento del orden social que se presentan al mezclar animales de distintos corrales, los que usualmente se manifiestan en modificaciones del consumo de alimento y de la respuesta productiva; dado que el efecto de la interacción social por reagrupamiento puede enmascarar las respuestas atribuidas a los tratamientos.

Los animales se alimentaron en condiciones de libre acceso (105% del consumo del día anterior) con la dieta que se presenta en el Cuadro 1. La ración se sirvió una vez al día (16 h). El consumo de alimento se midió diariamente, el alimento rechazado se removió y se pesó diariamente (15:45 h). Cada 14 días se tomaron muestras de cada una de las dietas (4 Kg) directamente a la salida del remolque mezclador repartidor (Tormex1200); posteriormente se secó a 105 °C durante 24 h para determinar el contenido de MS (AOAC, 1995).

El consumo diario de materia seca se consideró como el alimento ofrecido menos el rechazo acumulado durante la semana, dividido entre los días del periodo respectivo y luego dividido entre el número de animales dentro de la corraleta y ajustado por el contenido de MS del alimento. La ganancia diaria de peso expresada en kg/día se calculó restando al peso final del periodo el peso inicial y se dividió entre el número de días del periodo respectivo. La conversión alimenticia se calculó como la relación producto de la división del consumo de alimento (kg /cabeza /día) entre la ganancia diaria de peso (kg).

Para desarrollar los cálculos de energía neta (EN) retenida, al peso en báscula de los toretes, se le descontó el 4% como llenado del tracto digestivo (NRC, 1984).

La energía retenida (ER, mega calorías) fue derivada de las mediciones del peso corporal (PV, kg) y de la ganancia diaria de peso (GDP, kg/día) de acuerdo con la ecuación: Toretes ER (Mcal) = $(0.0562\ PV^{0,75})\ GDP^{1,097}$ (NRC, 1984). El contenido de energía neta para mantenimiento y ganancia se calculó asumiendo un incremento de la producción de calor constante (MQ) de 0.077 $PV^{0,75}$Mcal/día (Lofgreen y Garrett, 1968), que se estableció como el requerimiento diario de ENm en relación con el peso de los bovinos. A partir de las estimaciones de ER y MQ, los valores de ENm y ENg de la dieta, se obtuvieron por un proceso iterativo (Zinn, 1987), fijando una ENg (Mcal) = (0.877 ENm) - .41 (NRC, 1984). La eficiencia en el uso de la energía neta se estimó como el producto de dividir la EN observada entre la EN esperada de acuerdo con la composición de la dieta (NRC, 2000).

5.5. Mediciones en canal

Una vez concluido la etapa de finalización, los animales se pesaron y se trasladaron a un rastro tipo TIF (FAPSA). Los toretes se sacrificaron, se pesó la canal y se calculó el rendimiento en canal caliente. Después de 24 h en cuarto frio (2 °C), en el lado izquierdo de la canal se realizó un corte transversal entre la 12va y 13va costilla, para medir el espesor de la grasa dorsal (mm) con un vernier digital (Absolute Digimatic 500, Mitutoyo Corporation; Japón); se midió el área del ojo de costilla (cm^2) con una regleta graduada de referencia (USDA, 1996); se observó el grado de marmoleo y se comparó con fotografías de referencia, el cual se expresa en la categorías de ligero, pequeño, modesto y moderado (USDA, 1996; 1997); la grasa alrededor de riñón, pelvis y corazón (RPC), se estimó visualmente y se expresó como porcentaje de la canal (USDA, 1996; 1997); también se midió el pH de la carne, en el músculo pectoral con potenciómetro equipado con electrodo de penetración (HI8314 membrane pH-meter; Hanna Instruments).

5.6. Análisis estadístico

Al momento de iniciar la fase experimental (últimos 32 días de la engorda), el análisis de varianza del peso inicial de los animales, indicó la existencia de diferencia estadística entre los tratamientos a los que se encontraban asignados, a pesar de no haber comenzado a recibirlos, por lo que el peso inicial de la fase experimental se utilizó como covariable para el análisis de los resultados y se eliminó el concepto de bloques, dado que los bloques fueron conformados inicialmente en base al peso de los animales y de esta manera no duplicar el efecto del peso corporal como factor de ajuste en los resultados del experimento.

Los resultados fueron analizados por covarianza de acuerdo a un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial de 2 x 2 de los tratamientos y se utilizó el peso inicial como co-variable asociada (Hicks, 1973). Se consideró a cada corraleta (promedio de cinco animales) como la unidad experimental y se fijó un nivel máximo de $P \leq 0.05$ para aceptar diferencia estadística. Todos

los cálculos estadísticos fueron desarrollados con la versión 9 del paquete computacional Statistix® (2007).

El modelo matemático (Hicks, 1973) utilizado fue el siguiente:

$$\mathbf{Y}_{ijk} = \mu + \mathrm{m}_i + \mathbf{Z}_j + (\mathrm{m}\mathbf{Z})_{ij} + \sigma X_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$\mathbf{Y}_{ijk} =$ Variable de respuesta

$\mu =$ Media general

$\mathrm{m}_i =$ Efecto del *i*-ésimo nivel de Metionina de Zn

$\mathbf{Z}_j =$ Efecto del *j*-ésimo nivel de Zilpaterol

$(\mathrm{m}\mathbf{Z})_{ij} =$ Efecto de la interacción Zn-met x Zilpaterol

$X_{ij} =$ Covariable

$\sigma =$ Coeficiente de covarianza

$\varepsilon_{ijk} =$ Error aleatorio (experimental)

Cuadro 1. Composición en base seca de la dieta utilizada en la etapa de finalización de bovinos en engorda intensiva

Ingredientes	Cantidad
Rastrojo de Maíz	11.31
Sorgo molido	61.83
Pasta de Cacahuate	1.77
Granos Secos de Destilería DDG	13.66
Melaza de caña	8.57
Ganamin Total	2.86
Total	100%
Análisis calculado (En base seca)[1]	
MS, %	87.52
PC, %	14.17
ENm, Mcal/kg	1.861
ENg, Mcal/kg	1.234

[1] Calculado con base a valores publicados (NRC, 2000).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Respuesta productiva

La adición de metionina de zinc y clorhidrato de zilpaterol en la respuesta productiva de toretes en finalización se presentan en el Cuadro 2. Como factor, la adición de 6.08 mg/kg/MS de clorhidrato de zilpaterol a la dieta incrementó en 1.9% (P = 0.03) el peso final de los toretes en relación a los que no consumieron. Resultado similar al aumento de 5.5% observado por Barajas y col. (1998), cuando suministraron 6.8 mg/ kg/MS de clorhidrato de zilpaterol a dietas que fueron ofrecidas a toretes en finalización. Avendaño y col. (2006), encontraron un aumento del 4% en el peso final de novillos en finalización suplementados con 7.09 mg/kg/ms clorhidrato de zilpaterol durante 33 días, con respecto a los animales no suplementados con ZH. El aumento en el peso de los animales que recibieron zilpaterol se asocia con el incremento en la síntesis de proteína que a nivel de músculo induce éste β-agónista (Mersmann, 1998).

La ganancia de peso del periodo de toretes mejoró (P = 0.03) en 29.5%, en los toretes suplementados con clorhidrato de zilpaterol (45.24 *vs.* 34.93 kg) en relación a los no suplementados. La ganancia diaria de peso, mejoró (P = 0.03) cerca de 30% con la adición de clorhidrato de zilpaterol con respecto a los que no se les adicionó (1.446 *vs.* 1.112). Barajas y col. (1998), observaron una mejora del 25% con la administración de clorhidrato de zilpaterol en toretes durante 30 días. Elam y col. (2009) reportan 23% de mejora en la ganancia diaria de peso, con la adición de clorhidrato de zilpaterol en novillos en finalización durante los últimos 30 días.

La adición de clorhidrato de zilpaterol mejoro (P < 0.02) la conversión alimenticia en un 31% (11.699 *vs.* 8.044) con relación a los toretes no suplementados con zilpaterol.

Respuestas similares han sido observadas por otros investigadores (Vasconcelos y col., 2008; Montgomery y col., 2009), aunque en proporción algo menor de entre 8 y 15% suplementando con 8.3 mg/kg/MS de zilpaterol dietas ofrecidas a novillos.

La adición de 40 mg de Zn /kg MS a partir de metionina de zinc en la dieta de toretes en finalización, no influyó en la respuesta productiva ($P > 0.20$), y no se encontró interacción zilpaterol x metionina de zinc para ninguna de las variables de respuesta productiva ($P > 0.20$). A pesar de que ha mencionado que las fuentes orgánicas de zinc pueden contribuir a mejorar la respuesta productiva de los bovinos en crecimiento (Greene y col., 1988; Spears y Kegley, 2002), en el presente trabajo no se observó una respuesta positiva a la adición de zinc orgánico a dietas que contenían zinc en cantidad suficiente para cubrir los requerimientos de acuerdo a lo propuesto por NRC (2000). Los resultados observados por Spears (1989), en los que la suplementación con 25 mg de Zn/kg de MS a partir de metionina de zinc a dietas en las que ya se encontraba cubierto el requerimiento de zinc a partir de fuentes inorgánicas indujo una mejora en la respuesta productiva durante la parte inicial del periodo de alimentación en corral a vaquillas en crecimiento, sin embargo, durante los últimos 56 días no se apreció ventaja alguna en la administración adicional de metionina de zinc, de alguna manera sugieren que posiblemente el beneficio del zinc orgánico adicional pudiera ser evidente en las etapas de crecimiento rápido de los animales jóvenes, más que en la fase final de la engorda intensiva.

Cuadro 2. Efecto de la suplementación de metionina de zinc y clorhidrato de zilpaterol en la respuesta productiva de toretes en finalización.

Variables	Tratamientos				EEM[1]	Efectos principales Valores de *P*		
	Control	Zilpaterol	Zn-Met	Zn-Met+ Zilpaterol		ZH	Zn	ZH x Zn
Toros n	20	20	20	20				
Corraletas	4	4	4	4				
Días de prueba	32	32	32	32				
Peso corporal, kg								
Inicial[2]	488.87	488.77	488.87	488.87				
Final [3,4]	521.87	533.28	525.74	534.24	4.175	0.03	0.60	0.76
Ganancia de Peso								
Periodo completo, kg[3]	32.999	44.513	36.867	45.971	4.175	0.03	0.57	0.76
Diaria, kg/día[3]	1.036	1.430	1.189	1.462	0.135	0.03	0.54	0.64
Consumo MS, kg/día [3]	11.903	11.405	12.585	11.805	0.371	0.12	0.24	0.71
Conversión alimenticia, kg/kg[3]	12.401	7.837	10.997	8.252	1.248	0.02	0.73	0.48

1.- Error estándar de la media.

2.- Se calculó restando la ganancia de peso del periodo a la media de mínimos cuadrados del peso final calculado por covarianza

3.- Medias de mínimos cuadrados, los valores se obtuvieron mediante análisis de covarianza, utilizando el peso corporal a los 76 días en los corrales de engorda como covariable asociada.

4.- Peso final se midió en el rastro inmediatamente después de que los toros fueron sacrificados y se transformaron en valores mínimos cuadrados por análisis de covarianza.

6.2. Características de la canal

En el Cuadro 3, se presentan los resultados de la adición de metionina de Zinc y clorhidrato de Zilpaterol en las características de canal de toretes en finalización. El peso de canal caliente fue 4.3% mayor ($P < 0.001$) en los animales que recibieron clorhidrato de zilpaterol. Este resultado se encuentra en concordancia con el 4% de aumento en el peso de la canal de novillos que recibieron zilpaterol encontrado por Vasconcelos y col. (2008), así como por Montgomery y col. (2009). El rendimiento píe a canal fue incrementado en 2.3% ($P < 0.01$) con la adición de zilpaterol (63.61 *vs.* 62.16%). El incremento en el peso de la canal inducido por la adición de clorhidrato de zilpaterol a la dieta, así como su impacto en el aumento en el rendimiento de la canal, son consecuencia directa del aumento en la masa muscular que provocada por el incremento en la síntesis de proteína atribuido a éste β-agónista (Mersmann, 1998). La adición de metionina de zinc en la dieta no tuvo impacto en las características de la canal ($P > 0.20$).

Se observó una interacción ($P < 0.03$) zilpaterol x zinc en el rendimiento en canal, en el que los animales que recibieron la combinación de zilpaterol + zinc, produjeron un incremento en el rendimiento píe a canal con relación a los animales que recibieron únicamente zilpaterol o metionina de zinc como tratamiento individual; lo que sugiere que la posibilidad de una respuesta sinérgica de estas sustancias. Los valores promedio del rendimiento en canal fueron 62.8, 63.2, 61.5 y 64.0% para Testigo, ZH, ZN y ZHZN, respectivamente. En el mismo sentido se encontró una tendencia a interacción ($P = 0.11$) zilpaterol x zinc en el peso de canal caliente, en el que las canales de los toretes que recibieron la combinación + zinc, produjeron canales más pesadas que las de los toretes que recibieron de manera separada los tratamientos con zilpaterol o metionina de zinc. No se encontraron en la literatura resultados con los que se pudieran comparar los obtenidos en el presente experimento.

Cuadro 3. Efecto de la adición conjunta de metionina de zinc y clorhidrato de zilpaterol en las características de canal de toretes en finalización.

Variable	Tratamientos				EEM[1]	Principales efectos, valor de *P*		
	Control	Zilmax	Zn-Met	Zn-Met + ZH		Zilmax	Zn-Met	ZH x Zn
Toros	20	20	20	20				
Días en prueba	32	32	32	32				
Peso canal caliente, kg	327.88	336.99	322.95	342.41	3.173	< 0.01	0.94	0.11
Rendimiento en canal, %	62.84	63.20	61.48	64.02	4.54	< 0.01	0.60	0.03
Área del ojo de costilla, cm^2	78.94	76.51	76.78	78.36	1.800	0.74	0.91	0.29
Espesor de grasa dorsal, mm	6.96	8.97	8.35	8.30	0.708	0.61	0.17	0.15
Grasa RPC[2], %	2.34	2.41	2.33	2.48	0.123	0.34	0.74	0.87
Marmoleo[3]	459	500	484	480	15.951	0.26	0.87	0.16
Ph carne	6.16	6.15	6.17	6.17	0.017	0.93	0.25	0.92
Temperatura carne °C	0.91	1.50	1.30	1.47	0.231	0.11	0.44	0.38

[1] Error estándar de la media

[2] Grasa alrededor de riñón, pelvis y corazón

[3] Código: ligero = 400, pequeño = 500, modesto = 600

VII. CONCLUSIONES

Los resultados sugieren la adición de zinc suplementario a partir de metionina de zinc en dietas que contienen clorhidrato de zilpaterol y 60 mg o menos de zinc/kg de MS a partir de fuentes inorgánicas puede contribuir a incrementar el porcentaje de rendimiento en canal y a producir canales más pesadas de toretes en finalización.

VIII. LITERATURA CITADA

Acosta-Viana K. Y., Zavala-Castro J. E., 1996. Proteínas de unión a DNA. Rev Biomed 7, 163-172

AOAC. 1995. Official methods of analysis 15th ed. Association of Official Analytical Chemist. Washington, D. C.

Aranda. V. Adelfo, 2008. Biotecnología Aplicada en la Engorda de Becerros en Corral. Memorias del Simposium Nacional sobre Nutrición y Alimentación Animal CAPPS. Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Avendaño-Reyes, L., V. Torres-Rodriguez, F. J. Meraz-Murillo, C. Perez Linares, F. Figueroa Saavedra, and P. H. Robinson, 2006. Effects of two β adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. J. Anim. Sci., 84:3259-3265.

Barajas, C.R., A.R. Virgilio, P. G. Contreras y P. O. R., Monàrrez. 1998. Efecto del clorhidrato de zilpaterol (zilmax) sobre la respuesta productiva de toretes cebú finalizados en trópico seco. XXXIV Reunión Nacional de investigación pecuaria. Querétaro. México. p .144.

Baxa, T. J., J. P. Hutcheson, M. F. Miller, J. C. Brooks, W. T. Nichols, M. N. Streeter, D. A. Yates, and B. J. Johnson,2010. Additive effects of a steroidal implant and zilpaterol hydrochloride on feedlot performance, carcass characteristics, and skeletal muscle messenger ribonucleic acid abundance in finishing steers. J. Anim. Sci., 88:330-337.

Baxa. T. J., 2008. Effect of zilpaterol hydrochloride and steroid implantation on yearling steer feedlot performance, carcass characteristics, and skeletal muscle gene expression. Thesis Master of Science. Kansas State University Manhattan.

Byrem, T.M., Robinson, T.F., Boisclair, Y.R., Bell, A.W., Schwark, W.S., Beermann, D.H., 1992. Analysis and pharmacokinetics of cimaterol in growing Holstein steers. J. Anim. Sci. 70, 3812-3819.

Cao, J. P R Henry, R Guo, R A Holwerda, J P Toth, R C Littell, R D Miles and C B Ammerman, 2000. Chemical characteristics and relative bioavailability

of supplemental organic zinc sources for poultry and ruminants. J. Anim. Sci., 78:2039-2054.

Carrasco. J. T. 2000. Regulación de las Metalotioneinas durante el estrés y la inflamación y su influencia durante la respuesta inflamatoria. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología Celular, Fisiología e Inmunología. Universidad Autónoma de Barcelona.

Cassie Suzanne Abney,.2006. Effects of Optaflexx (Ractopamine hydrochloride) on Performance, Rate and Variation of Intake, and acid-base Balance in Feedlot Cattle. Doctor of philosophy. Faculty of Texas Tech University.

Elam N. A., J. T. Vasconcelos, G. Hilton, D. L. VanOverbeke, T. E. Lawrence, T. H. Montgomery, W. T. Nichols, M. N. Streeter, J. P. Hutcheson, D. A. Yates, and M. L Galyean. 2009. Effect of zilpaterol hydrochloride duration of feeding on performance and carcass characteristics of feedlot cattle. J. Anim. Sci., 87:2133-2141.

Greene. L. W, D. K. Lunt, F. M. Byers, N. K. Chirase, C. E. Richmond, R. E. Knutson and G. T. Schelling , 1988.Performance and Carcass Quality of Steers Supplemented with Zinc Oxide or Zinc Methionine. J. Anim. Sci., 66:1818-1823.

Hicks. C.R. 1973. Fundamental Concepts in the Design of Experiments. Holt, Reinhart and Wiston, New York

INEGI. 2008. Anuario estadístico del estado de Sinaloa. Instituto nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.

INEGI. 2009. Anuario estadístico del estado de Sinaloa. Instituto nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.

Kellogg. D. W., D. J. Tomlinson, M. T. Socha, and A. B. Johnson. 2004. Effects of Zinc Methionine Complex on Milk Production and Somatic Cell Count of Dairy Cows: Review. The Professional Animal Scientist 20:295–301.

Lofgreen. G. P. and W. N. Garrett. 1968. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. J. Anim. Sci. 27:793-807.

Lynch, G.S., Ryall, J.G., 2008. Role of β-adrenoceptor signaling in skeletal muscle: Implications for muscle wasting and disease. Physiol. Rev. 88, 729-767.

Malcolm, C. K. J., G. C. Duff, S. A. Gunter, E. B. Kegley, and D. A. Vermeire, 2000. Effects of supplemental zinc concentration and source on performance, carcass characteristics, and serum values in finishing beef steers. J. Anim. Sci., 78:2801-2808.

McDowell.L. R. 2003. Minerals in animal and human nutrition. 2da Edition. Elsevier Science.

Mersmann, H. J., 1998.Overview of the effects of beta adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action. J. Anim. Sci. 1998, 76:160-172.

Mersmann, H.J., 2002. Beta-adrenergic receptor modulation of adipocyte metabolism and growth. J. Anim. Sci. 80 (Supplement 1), 24-29.

Meyer, H.H.D. L.M.Rinke., 1991. The pharmacokinetics and residues ofclenbuterol in veal calves. J. Anim. Sci. 69, 4538-4544.

Millar. RP. Newton CL, 2010. The year in G protein-coupled receptor research. Mol. Endocrinol. 24 (1):pp. 261–74.

Montgomery. J. L., C. R. Krehbiel, J. J. Cranston, D. A. Yates, J. P. Hutcheson, W. T. Nichols, M. N. Streeter, D. T. Bechtol, E. Johnson, T. TerHune, and T. H. Montgomery. 2009. Dietary zilpaterol hydrochloride. I. Feedlot performance and carcass traits of steers and heifers. J. Anim. Sci., 87:1374-1383.

NRC. 1984. Nutrient Requirements of Beef Cattle. (6th Ed.) National Academy Press, Washington, D.C.

NRC. 2000. Nutrient Requirements of Beef Cattle.7th ed. National Academy Press, Washington, DC. (USA).

Pou, K., Adam, A., Lamothe, P., Gravel, P., Messier, J., Gravel, A., Ong H., 1992. Serum and urinary levels of salbutamol after chronic oral administration in a calf. Can. Vet. J. 33, 467-468.

Relling, Alejandro Enrique y Mattioli, Guillermo Alberto., 2003. Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Cátedra de Fisiología. Facultad de Ciencias Veterinarias. U.N.L.P.

Rosa. D. E., L. E. Fazzio, S. J. Picco, C. C. Furnus, G. A. Mattioli. 2008. Metabolismo y deficiencia de zinc en bovinos. Revision. Analecta Veterinaria; 28:34-44.

SAGARPA, 2006. Situación actual y perspectiva de la carne de bovino en Mexico. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Coordinación general de ganadería.

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.

Sillence, M. N., and M. L. Matthews. 1994. Classical and atypical binding sites for β-adrenoceptor ligands and activation of adenylyl cyclase in bovine skeletal muscle and adipose tissue membranes. Br. J. Pharmacol. 111:866-872.

Smith, D.J., Shelver, W.L., 2002. Tissue residues of ractopamine and urinaryexcretion of ractopamine and metabolites in animals treated for 7 days withdietary ractopamine. J. Anim. Sci. 80,1240-1249.

Smith. D J. 1998. The Pharmacokinetics, Metabolism, and Tissue Residues of b-Adrenergic Agonists in Livestock. J. Anim. Sci., 76:173-194.

Spears. J. W and E. B. Kegley, 2002. Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. J. Anim. Sci. 80:2747–2752.

Spears. J. W, 1989. Zinc Methionine for Ruminants: Relative Bioavailability of Zinc in Lambs and Effects of Growth and Performance of Growing Heifers. J. Anim. Sci., 67:835-843.

Sumano L. S.H.., Ocampo L. C. 2006. Farmacología Veterinaria. Tercera edición. Editorial McGRAW Hill.

Sumano, H., Ocampo, L., Gutierrez, L., 2002. Clenbuterol y otros β-agonistas ¿unaopción para la producción pecuaria o un riesgo para la salud pública? Vet. Mex. 33,137- 159.

Suttle. N. F. 2010. Mineral Nutrition of Livestock. 4th Edition.

USDA. 1996. United States Standards for Grades of Slaughter Cattle. Agric. Marketing Service, USDA, Washington, D.C.

USDA. 1997. United States Standards for Grades of Carcass Beef.

Vasconcelos,J. T. R. J. Rathmann, R. R. Reuter, J. Leibovich, J. P. McMeniman,K. E. Hales, T. L. Covey, M. F. Miller, W. T. Nichols, and M. L. Galyean, 2008. Effects of duration of zilpaterol hydrochloride feeding and days on the finishing diet on feedlot cattle performance and carcass traits. J. Anim. Sci., 86:2005-2015.

Zinn. R.A. 1987. Influence of lasalocid and monensin plus tylosin on comparative feeding value of steam-flaked versus dry-rolled corn in diets for feedlot cattle. J. Anim. Sci. 65:256-266.