

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
Colegio en Ciencias Agropecuarias  
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
**Maestría en Ciencias Agropecuarias**



**TESIS:**

“Efecto de la adición de vitamina D<sub>3</sub> en dietas con clorhidrato de zilpaterol en las características de calidad de la carne en ovinos de finalización”

**Que para obtener el Grado de  
Maestra en Ciencias Agropecuarias**

**PRESENTA:**

Jeidy Valeria Soto López

**DIRECTOR DE TESIS:**

Dr. Juan Carlos Robles Estrada

**CO-DIRECTOR DE TESIS:**

Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón

Culiacán Rosales, Sinaloa; junio de 2018.

ESTA TESIS FUE REALIZADA POR **JEIDY VALERIA SOTO LÓPEZ**, BAJO LA DIRECCIÓN DEL CONSEJO PARTICULAR QUE SE INDICA, Y HA SIDO APROBADA POR EL MISMO, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**

CONSEJO PARTICULAR

DIRECTOR

\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Carlos Robles Estrada

CO-DIRECTOR

\_\_\_\_\_  
Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón

ASESOR

\_\_\_\_\_  
Dr. Horacio Dávila Ramos

ASESOR

\_\_\_\_\_  
Dr. Jesús José Portillo Loera

CULIACÁN ROSALES, SINALOA; JUNIO DE 2018.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**  
**COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA CULIACÁN  
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL FUERTE  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR  
FACULTAD DE AGRONOMÍA VALLE DEL CARRIZO

En la Ciudad de Culiacán Rosales, Sinaloa, el día 20 de enero del año 2020, la que suscribe Jeidy Valeria Soto Lopez, alumna del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias, con número de cuenta 0915028-5, de la Unidad Académica Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la UAS, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la Dr. Juan Carlos Robles Estrada y del Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón y cede los derechos del trabajo titulado "Efecto de la adición de vitamina D<sub>3</sub> en dietas con clorhidrato de zilpaterol en las características de calidad de la carne en ovinos de finalización", a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, del Colegio de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Sinaloa, para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales, todo esto en apego al artículo 27 de la Ley Federal de Derechos de Autor.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ATENTAMENTE

*Soto Lopez Jeidy V.*

Jeidy Valeria Soto Lopez

CORREO ELECTRÓNICO: [jedivet@hotmail.com](mailto:jedivet@hotmail.com)  
CURP: SOLJ910605MSLTPD04

## **AGRADECIMIENTOS**

A dios principalmente por acompañarme a lo largo de este camino y por prestarme vida y salud para realizar mis metas.

A mis padres por su comprensión, su apoyo incondicional, su sabiduría, su presencia y por confiar en mí en cualquier momento. Gracias por su amor, trabajo y sacrificios, por enseñarme siempre a tener fe en mí misma, y superarme cada día más con esfuerzo para lograr mis metas.

A mis hermanos en quienes siempre he encontrado un respaldo incondicional, los que me impulsaron para seguir y concluir mis metas, por su apoyo en todo momento, ¡gracias! por su cariño y amor.

A mi Director de tesis el Dr. Juan Carlos Robles Estrada, por brindarme la oportunidad de estudiar una Maestría bajo su dirección y formar parte de este proyecto, por su confianza, su apoyo incondicional, por compartir su experiencia en el ámbito de la investigación, pero sobre todo por la motivación y su amistad ¡gracias!

A mi Co Director de tesis el Dr. Francisco Gerardo Ríos Rincón, gracias por compartir conmigo sus conocimientos, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua del trabajo, por su apoyo profesional que permitieron la mejora substancial de este trabajo.

A mis asesores, por la dirección, asesorías, el apoyo brindado, por sus aportaciones, sus consejos, su paciencia y por compartir sus conocimientos conmigo.

Al Colegio de Ciencias Agropecuarias por darme la oportunidad de estudiar una Maestría en ciencias agropecuarias, incluida en el programa Nacional de Posgrado de Calidad del CONACYT.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado durante el periodo de mis estudios de maestría.

# CONTENIDO

	PÁGINA
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>V</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VIII</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. ANTECEDENTES</b> .....	<b>3</b>
2.1. Situación de la producción ovina en México y Sinaloa .....	3
2.2. Sistemas de producción ovina de engorda en México .....	6
2.3. Importancia de los promotores de crecimiento en la producción en rumiantes .....	7
2.4. -Agonistas adrenérgicos como promotores del crecimiento en rumiantes .....	8
2.5. Mecanismo de acción de los -Agonistas adrenérgicos.....	9
2.6. Tipos de -Agonistas autorizados .....	9
2.7. Efecto del clorhidrato de zilpaterol en la calidad de la carne en rumiantes .....	10
2.8. Vitaminas liposolubles.....	13
2.9. Propiedades y metabolismo de la vitamina D <sub>3</sub> .....	14
2.10. Funciones de la vitamina D <sub>3</sub> .....	15
2.11. Vitamina D <sub>3</sub> en la calidad de la carne de bovinos.....	16
2.12. Efecto de la vitamina D <sub>3</sub> en el esfuerzo al corte .....	17
2.13. Efecto de la vitamina D <sub>3</sub> y clorhidrato de zilpaterol en el esfuerzo al corte en rumiantes.....	17
<b>III. HIPÓTESIS</b> .....	<b>19</b>
<b>IV. OBJETIVOS</b> .....	<b>20</b>
4.1. Objetivo general .....	20
4.2. Objetivos específicos .....	20
<b>V. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>21</b>
5.1. Localización de la unidad experimental.....	21
5.2. Adaptación y manejo de los animales en corral .....	21
5.3. Características de los ovinos e inicio de la fase experimental.....	21
5.4. Dieta experimental .....	22

5.5. Proceso de obtención de la canal y muestras del músculo <i>Longissimus dorsi</i> ...	23
5.6. Determinación de las características de calidad de la carne .....	23
5.6.1. Análisis instrumental del color .....	24
5.6.2. Análisis del pH .....	24
5.6.3. Esfuerzo al corte .....	25
5.6.4. Capacidad de retención de agua .....	25
5.6.5. Determinación del perfil de ácidos grasos .....	25
5.7. Análisis estadístico .....	27
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>28</b>
<b>VII. CONCLUSIONES .....</b>	<b>33</b>
<b>VIII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>34</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>CUADRO</b>		<b>PÁGINA</b>
<b>1</b>	Efecto del clorhidrato de zilpaterol en la calidad de la carne en ovinos.....	<b>12</b>
<b>2</b>	Efecto del clorhidrato de zilpaterol en el esfuerzo al corte Warner-Bratzler en bovinos.....	<b>13</b>
<b>3</b>	Efecto del clorhidrato de zilpaterol en la calidad de la carne en ovinos.....	<b>14</b>
<b>4</b>	Efecto de la vitamina D <sub>3</sub> en el esfuerzo al corte Warner-Bratzler en rumiantes.....	<b>18</b>
<b>5</b>	Ingredientes y composición nutrimental de las dietas experimentales.....	<b>23</b>
<b>6</b>	Efecto del clorhidrato de zilpaterol y vitamina D <sub>3</sub> en las características de calidad de la carne en ovinos en finalización.....	<b>29</b>
<b>7</b>	Efecto del clorhidrato de zilpaterol y vitamina D <sub>3</sub> en el perfil de ácidos grasos de grasa intramuscular en ovinos en finalización.....	<b>32</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>PÁGINA</b>
<b>1</b>	Comportamiento de la población ganadera de ovinos en México (2005-2014).....	<b>4</b>
<b>2</b>	Comportamiento de la población ganadera de ovinos en Sinaloa (2005-2014). ....	<b>5</b>
<b>3</b>	Comportamiento de la producción de carne en canal de ovinos en México (2005-2014).....	<b>6</b>
<b>4</b>	Comportamiento de la producción de carne en canal de ovinos en Sinaloa (2005-2014).....	<b>7</b>



## RESUMEN

### Efecto de la adición de vitamina D<sub>3</sub> en dietas con clorhidrato de zilpaterol en las características de calidad de la carne en ovinos de finalización

Jeidy Valeria Soto López

Con el objetivo de determinar el efecto de la adición de vitamina D<sub>3</sub> (VIT) en dietas con clorhidrato de zilpaterol (ZIL) en las características de calidad de la carne en ovinos de finalización se condujo una prueba de comportamiento productivo de 29 días de duración en la que se utilizaron 32 ovinos machos ( $37.3 \pm 1.4$  kg/PV) asignados a los siguientes tratamientos: T1. Dieta testigo (T) sin zilpaterol y sin vitamina D<sub>3</sub>; T2. Dieta con zilpaterol y sin vitamina D<sub>3</sub>; T3. Dieta sin zilpaterol y con vitamina D<sub>3</sub>; y T4. Dieta con zilpaterol y con vitamina D<sub>3</sub> (ZILVIT). El suministro de ZIL fue a dosis de 0.20 mg/kg/PV (~9 mg/animal/d) durante 27 días y la VIT se adicionó a  $1.5 \times 10^6$  UI/d los últimos 7 días previos al sacrificio. Posterior al sacrificio, las canales fueron conservadas en refrigeración (24 h; 4°C) para posteriormente ser transportadas a la sala de cortes donde se obtuvieron 16 muestras del músculo *Longissimus dorsi* para su envío al laboratorio de análisis de calidad de la carne. Los resultados de calidad de la carne muestran que la VIT presentó 9.65 % mayor luminosidad (P=0.03) con respecto al testigo. La intensidad del color rojo fue menor (P 0.05) con ZIL en un 12.8 % al compararse con el grupo testigo. El pH fue mayor (P<0.01) con la inclusión del ZIL al compararse con testigo, VIT y ZILVIT (5.3, 4.2, y 4.8 %, respectivamente). La fuerza de corte (Warner Bratzler) fue mayor (P<0.05) en el tratamiento ZILVIT al compararse con el tratamiento con VIT y el grupo testigo (30 y 25.7 %, respectivamente). La retención de agua en el grupo testigo se incrementó en 2.9 % (P=0.02) al compararse con ZIL y un 5.5 % con respecto al tratamiento ZILVIT. El ZIL no afectó la proporción de los ácidos grasos al compararse con el grupo testigo o con ZILVIT (P 0.13). La inclusión de VIT tiende (P=0.07) a aumentar en 3.0 % la proporción del ácido graso palmítico, aumentó (P=0.01) en 0.2 % el ácido graso palmitoleico y redujo (P=0.01) en 6.5 % el ácido graso oleico al compararse con el grupo testigo. Así mismo, la VIT redujo (P=0.03) la relación de ácidos grasos insaturados/saturados totales en 16.0 % al compararse con el tratamiento testigo. Se

concluye que la suplementación de vitamina D<sub>3</sub> en dietas con zilpaterol para ovinos no mejoró la calidad y terneza de la carne, sin embargo, aumentó la proporción total de ácidos grasos saturados y redujo los insaturados.

**Palabras claves:** ovinos; clorhidrato de zilpaterol; vitamina D<sub>3</sub>; calidad carne.

## ABSTRACT

### Effect of vitamin D<sub>3</sub> addition on zilpaterol hydrochloride diets in meat quality characteristics in feedlot lambs

Jeidy Valeria Soto López

With the aim to determine the effect of vitamin D<sub>3</sub> (VIT) addition on diets with zilpaterol hydrochloride (ZIL) in meat quality characteristics of feedlot lambs was conducted a growth performance test of 29 days, were used 32 male lambs ( $37.3 \pm 1.4$  kg/LW) assigned to following treatments: T1. Control (C) no zilpaterol and no vitamin D<sub>3</sub>; T2. Diet with zilpaterol and no vitamin D<sub>3</sub>; T3. Diet with vitamin D<sub>3</sub> and no zilpaterol; and T4. Diet with zilpaterol and vitamin D<sub>3</sub> (ZILVIT). ZIL was administered at a dose of 0.20 mg/kg/PV (~9 mg/animal/d) for 27 d and VIT was added to  $1.5 \times 10^6$  IU/d last 7 days prior to slaughter. After slaughter, the carcasses were chilling (24 h; 4°C) to subsequently sent to the cutting room to obtained 16 *Longissimus dorsi* muscle samples for their shipment to the meat quality analysis laboratory. Meat quality results show that VIT was 9.65% greater luminosity (P = 0.03) than the control group. Redness color was lower (P 0.05) with ZIL by 12.8% when compared to the control group. The pH was higher (P <0.01) with ZIL when compared with control, VIT and ZILVIT (5.3, 4.2, and 4.8%, respectively). Warner Bratzler shear force was higher (P <0.05) in ZILVIT treatment when compared to VIT and control treatments (30 and 25.7 %, respectively). Hold water retention in control group was increased by 2.9% (P = 0.02) when compared with ZIL and by 5.5% with respect to the ZILVIT treatment. ZIL did not affect fatty acids proportion when compared to control group or ZILVIT (P 0.13). VIT inclusion tend (P=0.07) to increase in 3.0 % the proportion of palmitic fatty acid, increase (P=0.01) in 0.2 % palmitoleic fatty acid and reduced (P=0.01) in 6.5 % oleic fatty acid when compared with control group. Likewise, VIT reduced (P=0.03) 16.0 % total unsaturated/saturated fatty acids ratio when compared with the control treatment. It is concluded that vitamin D<sub>3</sub> supplementation in zilpaterol diets for feedlot lambs did not improve the meat quality and tenderness, however, increased total proportion of saturated fatty acids and reduced the unsaturated.

**Keywords:** lambs; zilpaterol hydrochloride; vitamin D<sub>3</sub>; meat quality.

## I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción pecuaria tienen como finalidad incrementar la cantidad y calidad de los alimentos de origen animal para cubrir la demanda necesaria de acuerdo con las preferencias del consumidor, para el logro de este objetivo, en la industria de la carne proveniente de rumiantes se han utilizado ampliamente tecnologías para promover la productividad y el crecimiento de los animales, entre ellos se encuentran los promotores del crecimiento tales como los antibióticos, anabólicos esteroides (implantes), promotores no nutricionales (levaduras e ionóforos) y los  $\alpha$ -Agonistas Adrenérgicos (Preston, 2004).

La producción ovina presenta cambios importantes derivados a la competitividad creciente en los mercados y de mayores exigencias de calidad en sus productos (Folch, 2001). Durante los últimos años el crecimiento poblacional de los ovinos en México, ha sido sostenido del 18%, al pasar de 7.2 millones de cabezas en el año 2005 a 8.5 millones en el 2014 aproximadamente (SIAP, 2015). La explotación ovina presenta una tendencia hacia la utilización de sistemas de producción intensiva con la finalidad de incrementar los indicadores productivos (Partida *et al.*, 2013), y para obtener mayor eficiencia en este sistema de producción, una alternativa es el suministro de promotores de crecimiento (López *et al.*, 2003). El clorhidrato de zilpaterol es un  $\alpha$ -agonista adrenérgico aprobado para su uso en los Estados Unidos como aditivo en dietas de finalización en bovinos de engorda (Garmyn *et al.*, 2011); se distingue por mejorar la respuesta productiva, las características de la canal y modifica las características de calidad de la carne de los bovinos (Barajas *et al.*, 1998; Avendaño-Reyes *et al.*, 2006). Las tecnologías aplicadas en grandes rumiantes se utilizan cotidianamente en pequeños rumiantes como los ovinos. Por tal razón, existen diversos trabajos de investigación en los cuales los ovinos reciben en la dieta de finalización con clorhidrato de zilpaterol; la respuesta productiva es similar a la registrada en bovinos (Estrada *et al.*, 2008).

Sin embargo, al incluir el clorhidrato de zilpaterol en la dieta de finalización se ha reportado un incremento en la dureza de la carne medido a través de la técnica Warner-Bratzler; este efecto tiene un impacto negativo en la comercialización de los productos cárnicos (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Hilton *et al.*, 2009; Garmyn *et al.*,

2011). La vitamina D<sub>3</sub> participa en el aumento de los niveles de calcio sérico e intramuscular (Korn *et al.*, 2013a). Al elevarse las concentraciones de calcio y aumentar los depósitos en tejidos blandos, se acelera la activación de las calpaínas y promueven la suavidad de la carne (Korn *et al.*, 2013b); debido a esto, la suplementación oral con dosis supra-nutricionales de vitamina D<sub>3</sub> parece ser una alternativa para mejorar esta característica. Las calpaínas son un sistema proteolítico intracelular dependiente del calcio que en la fibra muscular se encarga de la degradación de proteína y el mejoramiento de la ternura de la carne (Hui y Rosmini, 2012).

El objetivo del presente trabajo es determinar el efecto de la vitamina D<sub>3</sub> en dietas con Clorhidrato de Zilpaterol en las características de calidad de la carne en ovinos de finalización.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1. Situación de la producción ovina en México y Sinaloa

La producción de ovinos en México se realiza en sistemas de producción muy variados, dependiendo de las condiciones de clima, disponibilidad de recursos y nivel socioeconómico de los productores; la actividad ovina constituye una alternativa adecuada de producción de carne por ser animales rumiantes, pequeños, prolíficos, que se adaptan fácilmente a diversos ambientes y aprovechan de manera adecuada los recursos disponibles de cada región del país (Orona *et al.*, 2014). La carne de ovino es un producto de calidad y sus productos son demandados por la población urbana, que la consume frecuentemente en barbacoa (plato tradicional de carne de ovino, cocida en su propio jugo o al vapor), principalmente en las grandes ciudades como el Distrito Federal y el área conurbana del estado de México, Guadalajara y Monterrey (Vélez *et al.*, 2016).

Con base a las estadísticas de SIAP (2015), en los últimos 9 años la ovinocultura en México ha tenido un crecimiento sostenido del 18%, pasando de 7.2 millones de cabezas de ganado ovino en el 2005 a 8.5 millones, aproximadamente en el 2014; entre los principales estados se encuentra México con un inventario de 1.3, Hidalgo con 1.1 y Veracruz con 0.664 millones cabezas. México ocupa actualmente el séptimo lugar en la producción de productos cárnicos en el mundo. En la Figura 1, se muestra como se ha incrementado la población de ovinos en los últimos años en México.

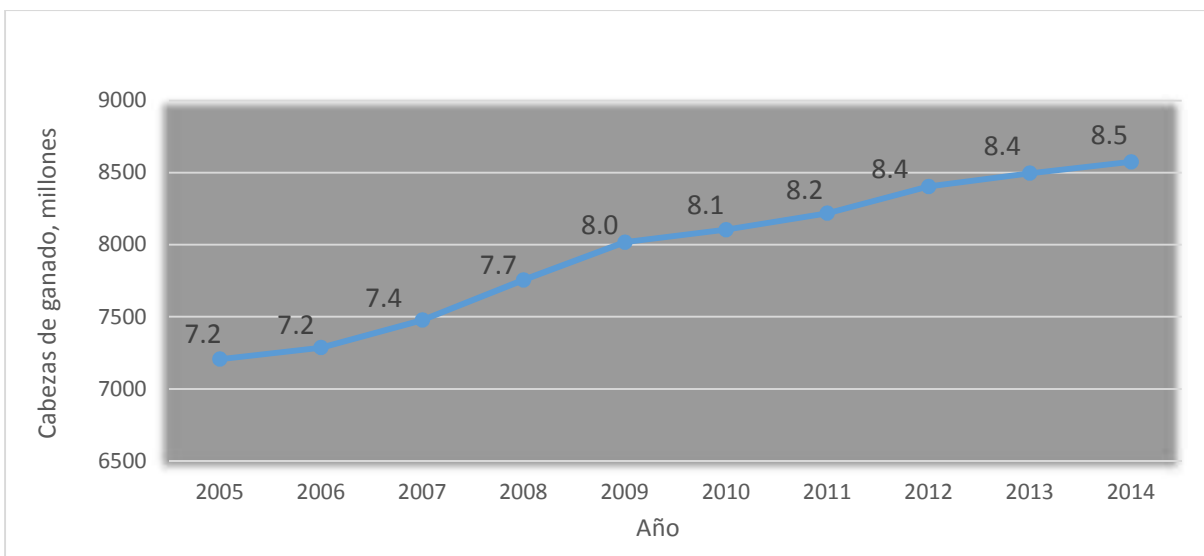


Figura 1. Comportamiento de la población ganadera de ovinos en México (2005-2014).

En el estado de Sinaloa, la población ganadera ovina aumentó un 32 %, pasando de 149,096 de cabezas en el 2005 a 197,842 en el 2014 (Figura 2), este incremento fue menor al registrado en el periodo de 1999 al 2000 que se registró un aumento importante, pues la población creció un poco más del doble al pasar de 69,280 a 140,610 cabezas (SIAP, 2015).

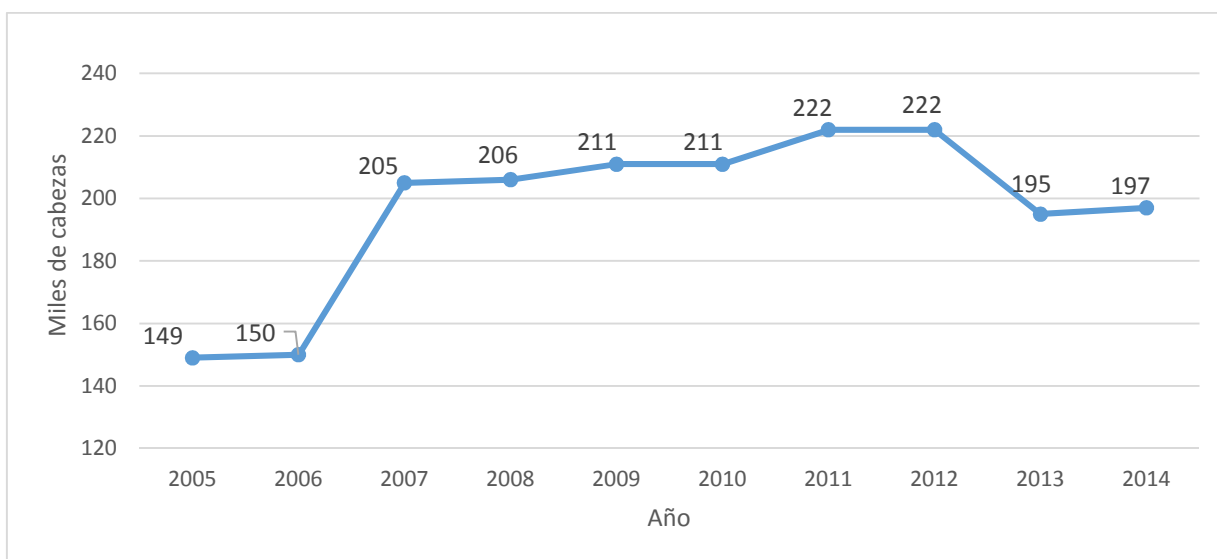


Figura 2. Comportamiento de la población ganadera de ovinos en Sinaloa (2005-2014).

En tanto la producción anual de carne en canal en México, cambio de 46, 229 t en 2005 a 58, 288 t en 2014 (Figura 3), lo anterior indica que la producción ovina se ha vuelto más eficiente pues con un incremento de 26% del 2005 a 2014 en la producción, en el 2008 se importaron 32,210 t de carne, esto ubica a México como el segundo importador de América y el noveno en el mundo (FOASTAT, 2015).

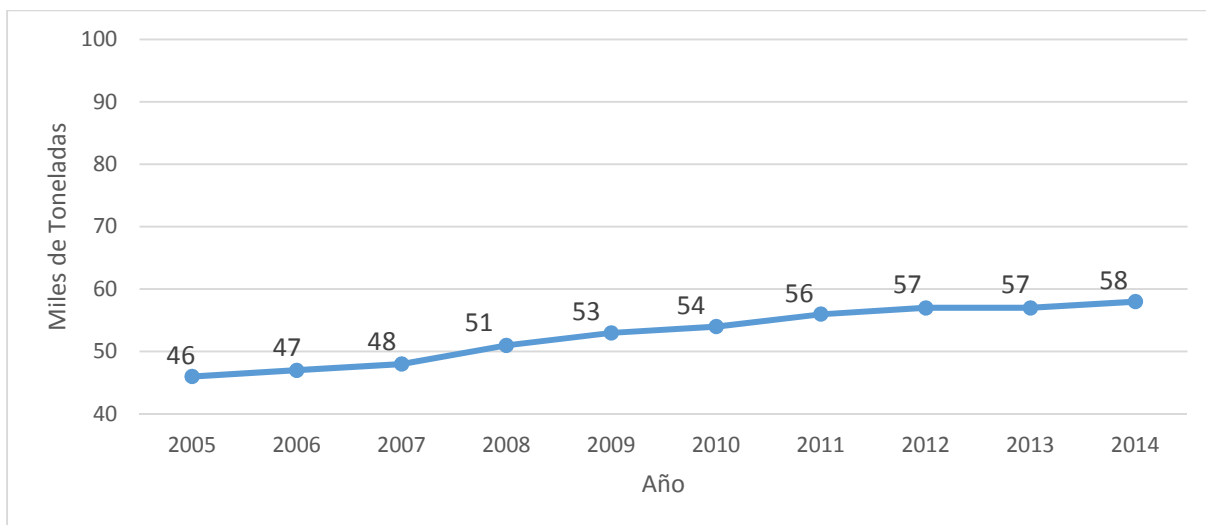


Figura 3. Comportamiento de la producción de carne en canal de ovinos en México (2005-2014).

Durante el periodo del 2005 al 2012 la producción de carne en canal en Sinaloa pasó de 1,968 a 2,291 t (Figura 4), esta cantidad equivale a un incremento de 16.4% (SIAP, 2015). El aumento de la producción nacional y estatal es un nuevo escenario que requiere de la presentación de nuevas alternativas de crecimiento, que permitan que la producción de carne ovina sea más eficiente y rentable.



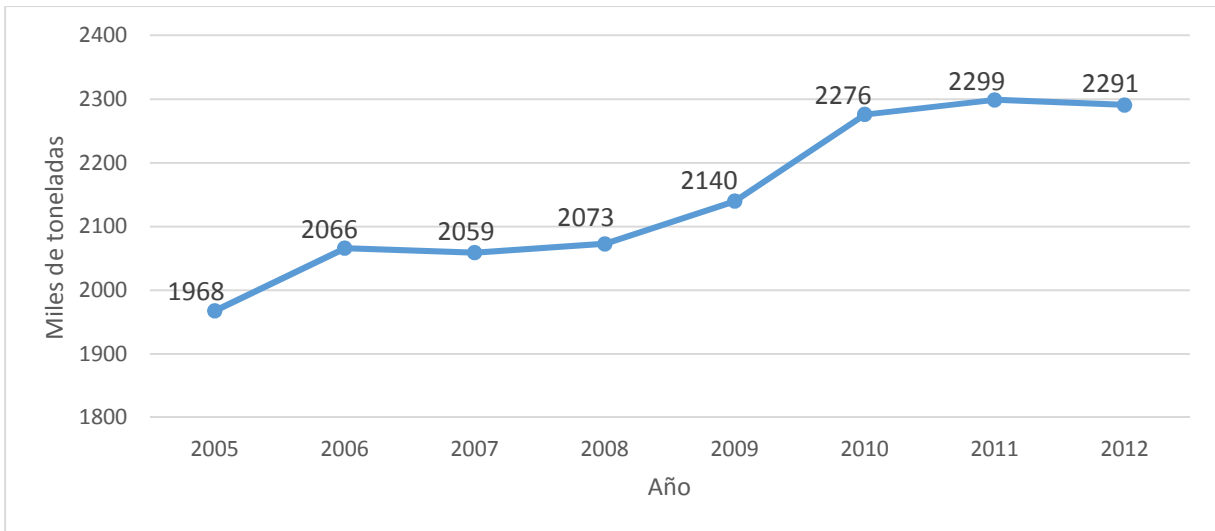


Figura 4. Comportamiento de la producción de carne en canal de ovinos en Sinaloa (2005-2014).

## 2.2. Sistemas de producción ovina de engorda en México

Los sistemas de producción de carne de ovino de la zona templada de México siguen siendo tradicionales, basados en el pastoreo trashumante en pastizales nativos y áreas forestales los cuales presentan bajo nivel de rentabilidad y sostenibilidad (pérdida de cobertura vegetal, de suelo y falta de retención de agua), debido principalmente a deficiencias de manejo en los aspectos de producción, conservación y utilización de forrajes, así como en el manejo nutricional, sanitario, reproductivo y genético de los rebaños (Orona *et al.*, 2014). Existen varios sistemas de producción ovina, que se desarrollan en pastoreo, en estabulación o en la combinación de estas dos modalidades. De acuerdo con la intensidad de su régimen de producción se dividen en: intensivo, semi-intensivo y extensivo (Vélez *et al.*, 2016).

El propósito primordial de los sistemas de producción intensiva es generar ingresos económicos, por lo que deben ser redituables, su viabilidad económica gira en función del precio de los insumos, sobre todo de los cereales, ya que la alimentación representa más del 60 % de los costos de producción; la alimentación se base en el uso de dietas integrales que son proporcionadas a libre acceso, o se emplea la combinación de forrajes de buena calidad con alimentos concentrados, que se ofrecen dos o tres veces al día, buscando tener la conversión alimenticia más equitativa y la máxima eficiencia de transformación (Partida *et al.*, 2013). Los

sistemas de producción semi-intensiva emplean el pastoreo en potreros o plantaciones de árboles en las primeras horas de la mañana y regresan al corral durante la tarde, antes del anochecer; además, reciben alimentación complementaria que pueden ser basada en esquilmos agrícolas y granos de cereales o se proporciona alimento comercial; en este sistema también se tienen algunos cuidados sanitarios y se lleva a cabo el manejo reproductivo del rebaño (Orona *et al.*, 2014). Los sistemas de producción extensiva en la producción ovina se basan en la utilización de la vegetación nativa, el pastoreo se hace de manera continua, moviendo a los animales de un área a otra por un pastor en el día y confinándolos en corrales durante la noche. Por lo general, los animales se mantienen juntos en un solo rebaño que incluye hembras y machos de diferentes edades, no se lleva un control reproductivo ni genético, por lo que hay partos en diferentes épocas del año. No se proporcionan complementos alimenticios, únicamente los animales reciben sales minerales como suplemento y muy esporádicamente se les provee de algún tipo de subproducto agrícola. El manejo sanitario es nulo o muy restringido, por lo que hay afecciones parasitarias frecuentes y una alta incidencia de enfermedades que originan elevada mortalidad en las crías (Partida *et al.*, 2013).

### **2.3. Importancia de los promotores de crecimiento en la producción en rumiantes**

Los sistemas de producción pecuaria tienen como finalidad incrementar la cantidad y calidad de los alimentos de origen animal para cubrir la demanda de la población. La adopción de nuevas técnicas, permiten incrementar la producción; al respecto Dikeman (2007), refieren que en los rumiantes los más utilizados para una mayor eficiencia, son los aditivos y los implantes. Existen varios modificadores metabólicos para promover su crecimiento, ganancia de peso, mejorar la conversión alimenticia y aumentar el rendimiento de la canal; estos modificadores metabólicos se clasifican como: promotores de crecimiento anabólicos esteroides (implantes), las fenetanolaminas o  $\beta$ -agonistas, promotores no nutricionales (levaduras e ionóforos), somatotropina y lípidos sintéticos (Bravo *et al.*, 2009). Uno de los más utilizados en

la producción intensiva de carne bovina son los implantes anabólicos esteroides que aumentan la tasa y la eficiencia del crecimiento del animal (Eng, 2000).

Platter *et al.* (2003) determinaron el efecto de distintas estrategias de implantes anabólicos esteroides en el crecimiento y calidad de la canal de bovinos, utilizando a partir de 2 hasta 5 implantes desde el pre-destete hasta la salida posterior a la engorda intensiva. La estrategia de 5 implantes mejoró en 11 % el peso final de los bovinos comparado con el grupo testigo y la ganancia de peso diario con un 17 %; los autores observaron que al no utilizar ningún implante las canales tenían más puntaje en el porcentaje de marmoleo a diferencia de los animales implantados; también encontraron mayor esfuerzo al corte en las muestras de carne de ovinos al utilizar el implante, comparado con los no implantados (4.19 vs. 3.54 kg/f).

#### **2.4. -Agonistas adrenérgicos como promotores del crecimiento en rumiantes**

Los agonistas  $\alpha$ -adrenérgicos ( $\alpha$ -AA) se utilizan en la producción animal, incluidos los rumiantes, para propiciar una mayor eficiencia de uso del alimento, al cual se manifiesta en mejores características de la canal, así como en la composición química de la carne, al reducir el contenido de grasa y aumentar el de proteína (Domínguez-Vara *et al.*, 2009). Los  $\alpha$ -agonistas son análogos de un grupo natural de compuestos llamados catecolaminas; se unen a ciertos receptores  $\alpha$  - en las superficies de los adipocitos y fibras musculares, modifican los procesos bioquímicos del crecimiento tisular al aumentar la lipólisis, disminuyen la lipogénesis, la degradación proteica, y el aumento de la síntesis de proteínas (Strydom *et al.*, 2009). Los  $\alpha$ -agonistas se incorporan a las dietas de los animales para mejorar la repartición de nitrógeno, actuando a nivel de los receptores adrenérgicos, de este modo, derivan en utilización de la energía calórica y de la lipólisis hacia la síntesis proteica del músculo (Mersmann, 1998). La utilización de los  $\alpha$ -agonistas en la producción animal, presenta una serie de ventajas relacionadas no sólo con la mejora de la productividad, sino también en las características de la canal, con la calidad, pues la carne de animales tratados con  $\alpha$ -AA tiene mayor tejido magro, así como en la composición química de la carne, al reducir el contenido de grasa y aumentar el de proteína (Domínguez-Vara *et al.*, 2009).

Sin embargo, también pueden ocasionar efectos indeseables, uno de ellos es que al utilizar los  $\beta$ -agonistas aumenta la dureza de la carne, este efecto tiene un impacto negativo en la comercialización de los productos cárnicos (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Hilton *et al.*, 2009).

## **2.5. Mecanismo de acción de los $\beta$ -Agonistas adrenérgicos**

Los  $\beta$ -AA son considerados como repartidores de nutrientes actúan directamente en el metabolismo del tejido muscular y el tejido adiposo, causan una hipertrofia en el músculo esquelético, ya que son potenciadores mediados por el receptor de la síntesis de proteínas e inhibidores de la degradación de proteínas (Johnson *et al.*, 2014). Dos tipos de receptores adrenérgicos fueron descubiertos y clasificados, los  $\alpha$  y los  $\beta$ ; pero además fueron revelados tres subtipos de receptores beta adrenérgicos, conocidos como  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  y  $\beta_3$ ; se conoce que la mayoría de las células de los mamíferos contienen los receptores, pero la distribución y número de cada subtipo varía entre los diferentes tejidos, especies y aún en la misma especie (Mersmann, 1998). En el momento en que los  $\beta$ -AA se unen a los receptores  $\beta$ , se forma un complejo agonista-receptor que activa la proteína Gs la unidad alfa de la proteína Gs activa a la adenilatociclase, enzima que produce el monofosfato de adenosina cíclico (AMPc) una de las principales moléculas de señalización intracelular. Esta molécula produce sus efectos al unirse a subunidad reguladora de la cinasa proteínica A, para liberar la subunidad catalítica que fosforila un gran número de proteínas intracelulares (Sumano *et al.*, 2002).

## **2.6. Tipos de $\beta$ -Agonistas autorizados**

La intensificación de la producción animal ha contado con diversos métodos de apoyo, unos consisten en el perfeccionamiento de las técnicas de producción utilizadas, otros en la introducción de nuevas técnicas y procedimientos, esto incluye el uso de algunos fármacos como aditivos en la dieta. De estos últimos, los residuos de fármacos de uso veterinario son relativamente frecuentes en los alimentos para consumo humano; no obstante, las reacciones adversas en humanos son raramente observadas, ya que la cantidad consumida de residuo puede no ser suficiente para

producir signos clínicos de intoxicación (Domínguez-Vara *et al.*, 2009). La administración oral de algunos  $\beta$ -agonistas ha demostrado promover el crecimiento y modificar la composición de la canal de distintas especies tales como bovinos, ovinos, cerdos y pollos (Mersmann, 1998). En el ámbito internacional se destacan el clenbuterol, zilpaterol y la ractopamina entre otros del grupo de las fenetanolaminas; de estos, se ha incrementado su uso para mejorar el rendimiento en canal de varias especies domésticas (Sumano *et al.*, 2002).

En Europa no se permite el uso de  $\beta$ -AA en la producción animal por razones de salud pública; en México, se han usado algunos, como el clorhidrato de clenbuterol y el clorhidrato de zilpaterol en bovinos, y la ractopamina en cerdos. Sin embargo, el uso indebido de clenbuterol ha causado riesgos a la salud pública; por lo tanto, en México la NOM-061-ZOO-1999 prohíbe su uso. Esta norma excluye a la ractopamina y el clorhidrato de zilpaterol, que son fármacos con menor potencia en la broncodilatación, vasoconstricción y en la frecuencia cardiaca (Domínguez-Vara *et al.*, 2009).

## **2.7. Efecto del clorhidrato de zilpaterol en la calidad de la carne en rumiantes**

El pH es uno de los principales parámetros a considerar para verificar la calidad de la carne, porque afecta varias de sus cualidades organolépticas: color, olor, capacidad de retención de agua y suavidad de la carne (Bianchi, 2007). El pH tiene una escala entre 0 y 14, un valor de pH por debajo de 7 es considerado como ácido, y por encima de un valor de 7 se considera alcalino o también denominado básico; el pH del músculo de animales sanos y vivos es de alrededor de 7.04 (Johnson, 1994). La capacidad de retención de agua es la aptitud de la carne para mantener ligada su propia agua, incluso bajo la influencia de fuerzas externas como presión y calor (Swatland, 1991); a diferencia de la pérdida por goteo que se define como la cantidad de líquido exudado en la superficie de la carne, sin la aplicación de una fuerza mecánica externa, solo el efecto de la gravedad; es básicamente agua y proteínas que se liberan del músculo posterior al *rigor mortis* (Honikel, 1998).

Cuadro 1. Efecto del clorhidrato de zilpaterol en la calidad de la carne en bovinos.

Variables	Avendaño-Reyes <i>et al.</i> , (2006)		Hilton <i>et al.</i> , (2009)		Gunderson <i>et al.</i> , (2009)		Strydom <i>et al.</i> , (2009)		
	Tes	CZ	Tes	CZ	Tes	CZ	Tes	CZ	
Color <sup>1</sup>	L*	34.8	35.9	34.5	34.7	48.1	49.7	-	-
	a*	17.5	16.2	15.5	13.9	26.4	25.7	-	-
	b*	9.3	9.2	13.8	12.7	21.9	22.1	-	-
pH	5.4	5.4	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7	
Pérdida de agua									
por goteo, %	4.13	6.17	--	--	--	--	4.71	6.00	

<sup>1</sup>L\*= Luminosidad; a\*= Índice de rojo; b\*= Índice de amarillo; Tes=Testigo; CZ= Clorhidrato de Zilpaterol.

Después del sacrificio, el músculo sufre una serie de transformaciones bioquímicas conocidas globalmente bajo el término de maduración y que afectan a la estructura de las miofibrillas (ruptura de la estructura muscular a nivel de la línea Z) dando como resultado una mayor terniza de la carne; donde se producen modificaciones en el estado químico de la mioglobina, alterando el color de la carne (Bianchi, 2007). Para la medición de la dureza/terniza de la carne, el método más ampliamente utilizado es la determinación de esfuerzo o resistencia al corte, basado en lo propuesto por Bratzler (1949).

Cuadro 2. Efecto del clorhidrato de zilpaterol en el esfuerzo al corte Warner-Bratzler en bovinos.

	Esfuerzo al corte, Kg	
	Testigo	Zilpaterol
Avendaño-Reyes <i>et al.</i> (2006) *	4.39	5.11
Hilton <i>et al.</i> (2009) *	3.63	4.94
Strydom <i>et al.</i> (2009)	5.76	5.79
Claus <i>et al.</i> (2010) *	3.2	4.0
Garmyn <i>et al.</i> (2011) *	2.43	3.58
Knobel-Graves <i>et al.</i> (2016) *	2.84	3.45

\*P= 0.05.

El color de la carne fresca es el principal atributo que influye en la decisión de compra, dado que el consumidor asocia el color con el grado de frescura y calidad (Brewer *et al.*, 2002). Al incidir un rayo de luz en su superficie de la carne se produce una reflexión difusa, esa reflexión es lo que se define como el color; el cual ha sido definido por CIE (Comisión Internationale de L'Éclairage) como el atributo visual que se compone de una combinación cualquiera de componentes cromáticos y acromáticos (Alberti *et al.*, 2005). El sistema de representación del color más adecuado es el espacio de color CIE L\*a\*b\*; este sistema emplea las coordenadas tricromáticas L\* (luminosidad), va de claro a oscuro, a\* (índice rojo) va de verde a rojo y b\* (índice de amarillo) va de azul a amarillo, de manera que a partir de relaciones entre ellas se pueden obtener las coordenadas colorimétricas, la intensidad de color o saturación y el tono (Murray, 1989).

Cuadro 3. Efecto del clorhidrato de zilpaterol en la calidad de la carne en ovinos.

Variables	Ríos <i>et al.</i> , (2008)		López-Carlos <i>et al.</i> , (2010)		Casaya (2011)		
	Tes	CZ	Tes	CZ	Tes	CZ	
Color <sup>1</sup>	L*	33.6	29.9	31.6	31.8	37.7	31.9
	a*	6.4	5.3	10.6	6.9	15.4	12.8
	b*	3.8	3.1	3.4	2.7	8.4	3.7
pH		5.1	5.4	5.7	5.7	--	--
Resistencia al corte, kg		0.5	0.6	--	--	5.3	4.3

<sup>1</sup>L\*= Luminosidad; a\*= Índice de rojo; b\*= Índice de amarillo; Tes=Testigo; CZ= Clorhidrato de Zilpaterol.

## 2. 8. Vitaminas liposolubles

Las vitaminas son un grupo de nutrientes orgánicos necesarios en pequeñas cantidades para diversas funciones bioquímicas que, en general, no se pueden sintetizar en el organismo y, en consecuencia, deben encontrarse en la dieta. Las vitaminas liposolubles son compuestos hidrofóbicos que sólo pueden absorberse con eficiencia cuando hay absorción normal de grasa. Al igual que otros lípidos, se transportan en la sangre en lipoproteínas o fijadas a proteínas de unión específicas (Murray *et al.*, 2010). Las cuatro vitaminas liposolubles, A, D, E y K, son todas ellas compuestos isoprenoides que están formadas, como los esteroides, por unidades activadas de cinco carbonos. Así pues, como grupo tienen una relación estructural que no se da en las vitaminas hidrosolubles. La vitamina A es un alcohol isoprenoide que desempeña un papel clave en la visión, interviene en el control del crecimiento animal, estimulando de alguna manera el desarrollo del sistema nervioso (Mathews *et al.*, 2002); se almacena principalmente en el hígado, es esencial para la regeneración de la rodopsina y del mantenimiento del tejido epitelial (Oka *et al.*, 1998). La vitamina E, también llamada  $\alpha$ -tocoferol, se identificó inicialmente en los estudios como un agente que previene la esterilidad en ratas; al parecer tiene una función antioxidante, en especial para evitar la agresión de los peróxidos sobre los ácidos grasos insaturados de la membrana celular. La vitamina K, es un compuesto que participa en la coagulación de la sangre; se encuentra en las plantas y es



esencial para la carboxilación de los residuos de glutamato en determinadas proteínas que les permite unirse al calcio (Mathews *et al.*, 2002). La vitamina D no se trata realmente de una vitamina puesto que no es necesario ingerirla, ya que se obtiene a partir del 7-dehidrocolesterol, un intermediario de la síntesis del colesterol. La vitamina D es un promotor de la absorción del calcio y del mantenimiento de la función normal del hueso, así mismo juega un papel en la salud del músculo esquelético y una ligera evidencia de prevención de cáncer, diabetes y enfermedades autoinmunes (Duffy *et al.*, 2017).

### **2.9. Propiedades y metabolismo de la vitamina D<sub>3</sub>**

Las dos principales formas de la vitamina D son el ergocalciferol y el colecalciferol. El ergocalciferol (vitamina D<sub>2</sub>) es una forma de vitamina que está disponible en la dieta en algunas plantas comunes, principalmente en los hongos, las plantas producen la vitamina D<sub>2</sub> como respuesta a la estimulación de los rayos UV. El colecalciferol (vitamina D<sub>3</sub>) puede ser obtenido de dos formas, una a partir de fuentes dietéticas exclusivamente de origen animal (carne, hígado, huevo, leche) y la más común sintetizado a partir del 7-dehidrocolesterol enzima presente en la piel de los humanos y animales y que de forma similar por exposición de rayos UV producen el colecalciferol o vitamina D<sub>3</sub>. Actualmente se conoce que la forma más activa de las vitaminas D es el colecalciferol o vitamina D<sub>3</sub> tanto en humanos como animales, siendo en rumiantes aún más marcado este efecto, ya que se cree que la forma dietética de vitamina D<sub>2</sub> podría no pasar al metabolismo de los microorganismos del rumen (Seijo *et al.*, 2012; Church, 1993). Las vitaminas D de origen alimentario tienen que ser absorbidas en el tracto intestinal, siendo más probable su absorción en la porción ileal en grandes cantidades, debido al mayor tiempo de retención de alimentos en la porción distal del intestino (Norman *et al.*, 2007). Cualquier fuente de vitamina D, sea ergocalciferol o colecalciferol, son formas no activas fisiológicamente, por lo cual una vez ingresados en el torrente sanguíneo pasan en primer término por el hígado, la primera transformación se produce en el sistema microsomal, donde hidroxila el carbono de la posición 25 en la cadena lateral de la vitamina D para producir 25-hidroxivitamin D<sub>3</sub> [25 (OH) D<sub>3</sub>], este metabolito es la

principal forma circulante de la vitamina D en condiciones normales y durante el exceso de vitamina D. Posteriormente, la 25 (OH) D<sub>3</sub> se transporta al riñón en la globulina transportadora de vitamina D, donde puede ser convertida por las células contorneadas proximales a una variedad de compuestos, de los cuales el más importante es la 1,25-dihidroxitamin D [1,25 (OH) 2D<sub>3</sub>] (De Luca, 1984). El 1,25 (OH) 2D<sub>3</sub> se conoce como calcitriol, también considerada como una forma hormonal del compuesto que una vez formado en el riñón el 1,25 (OH) 2D<sub>3</sub> se transporta al intestino, huesos o en el cuerpo, donde está implicada en el metabolismo del calcio y fósforo (Bikle, 2014).

### **2.10. Funciones de la vitamina D<sub>3</sub>**

Los principales órganos diana de la vitamina D son las glándulas intestinales, óseas, renales y paratiroides (Dittmer y Thompson, 2011). Participan las hormonas tirocalcitonina (calcitonina) y la parathormona (PTH) que actúan en una relación delicada con la 1,25 (OH) 2D<sub>3</sub> para el control de los niveles de fósforo y Calcio en sangre (McDowell, 2000). Con la PTH, la función principal de la vitamina D es mantener las concentraciones de fosfato y calcio ionizado en plasma dentro de límites fisiológicos estrechos. En el intestino 1,25 (OH) 2D<sub>3</sub> promueve la absorción activa y el transporte transcelular de calcio hacia el torrente sanguíneo por medio de un canal de calcio específico conocido como TRPV6 y la calbindina una proteína transportadora del calcio presente en el intestino (Dittmer and Thompson, 2011). El TRPV6 y la calbindina están reguladas positivamente por 1,25 (OH) 2D<sub>3</sub>, aumentando así la absorción intestinal de calcio, mientras que las concentraciones altas de calcio en sangre proporcionan retroalimentación negativa sobre el número de canales de TRPV6, lo que reduce la absorción intestinal de calcio. El TRPV6 y la calbindina también pueden ser inducidos, independientemente de las concentraciones de vitamina D y calcio en la sangre, por las altas concentraciones de calcio en la dieta y el intestino (Meyer *et al.*, 2006). En el hueso la 1,25 (OH) 2D<sub>3</sub>, en asociación con PTH, promueve la movilización de calcio de las reservas óseas para mantener la concentración de calcio en la sangre dentro de un rango de niveles

normales. Esto se cree que se logra mediante la estimulación del receptor activador de osteoclastos o RANKL (Hoenderop *et al.*, 2005).

La calcitonina, regula los niveles altos de calcio sérico mediante la supresión de la absorción intestinal, deteniendo la desmineralización ósea, y evitando la reabsorción de calcio en el riñón. La vitamina D eleva en el plasma el calcio y fósforo mediante la estimulación de mecanismos específicos de bomba de iones en el intestino, hueso y riñón. Estas tres fuentes de calcio y fósforo proporcionan embalses que permiten a la vitamina D elevar el calcio y fósforo en la sangre a niveles que son necesarios para la mineralización ósea normal y para otras funciones atribuidas al calcio. La 1,25 (OH) 2D<sub>3</sub> regula la expresión génica a través de su unión a los receptores de los tejidos específicos y la posterior interacción entre el receptor y el ADN (Collins y Norman, 1991). El complejo receptor-hormona se mueve hacia el núcleo donde se une a la cromatina y estimula la transcripción de genes particulares para producir mRNA específicos, que codifican para la síntesis de proteínas específicas (Hannah y Norman, 1994).

### **2.11. Vitamina D<sub>3</sub> en la calidad de la carne de bovinos**

La vitamina D<sub>3</sub> se ha utilizado como aditivo en la dieta de bovinos, enfocada principalmente en la calidad de la carne por su efecto a nivel muscular, para mejorar la terneza de la carne (Strydom *et al.*, 2011).

Montgomery *et al.* (2000) encontraron que la administración oral de niveles altos de vitamina D<sub>3</sub> ( $5 \times 10^6$  y  $7.5 \times 10^6$ ) en novillos productores de carne a corto plazo previo al sacrificio, podría mejorar la suavidad de la carne, aumentando los niveles plasmáticos de calcio entre 30-35% mediante la absorción intestinal, remoción en los huesos y la reabsorción renal. El aumento de mayor calcio plasmático se refleja en mayor concentración de calcio muscular que a su vez, conduce a una mayor actividad de las enzimas proteolíticas calpaínas, un factor que determina la terneza de la carne (Korn *et al.*, 2013a).

## 2.12. Efecto de la vitamina D<sub>3</sub> en el esfuerzo al corte

El efecto de la vitamina D<sub>3</sub> en la calidad de la carne, se ve reflejada al evaluar el esfuerzo al corte, diversos estudios concuerdan que se observa una mejora en la terneza de la carne. En el Cuadro 4, se muestran varios autores que incluyeron a la vitamina D<sub>3</sub> en la dieta, en distintas dosis y en diferentes tiempos, observando similitudes entre sus resultados.

Cuadro 4. Efecto de la vitamina D<sub>3</sub> en el esfuerzo al corte Warner-Bratzler en rumiantes.

	Vitamina D <sub>3</sub> UI / día					
	0 x 10 <sup>6</sup> (Tes)	0.7	1 x 10 <sup>6</sup>	2 x 10 <sup>6</sup>	5 x 10 <sup>6</sup>	7.5 x 10 <sup>6</sup>
Montgomery <i>et al.</i> (2000) <sup>1</sup>	3.25 <sup>a</sup>	--	--	--	2.80 <sup>b</sup>	7.78 <sup>b</sup>
Wiegand <i>et al.</i> (2001) <sup>2</sup>	3.56 <sup>a</sup>	--	--	2.82 <sup>b</sup>	--	--
Montgomery <i>et al.</i> (2004) <sup>1</sup>	5.02 <sup>a</sup>	--	3.99 <sup>b</sup>	--	4.21 <sup>b</sup>	--
Rider <i>et al.</i> (2004) <sup>1</sup>	3.68 <sup>a</sup>	--	--	--	5.11 <sup>b</sup>	4.19 <sup>a</sup>
Foote <i>et al.</i> (2004) <sup>1</sup>	3.45 <sup>a</sup>	--	--	--	2.84 <sup>b</sup>	--
Boleman <i>et al.</i> (2004) <sup>2</sup>	2.9	2.6	--	--	--	--

Tes= testigo. <sup>ab</sup>= Diferencias Significativas 1=bovinos, 2=ovinos.

## 2.13. Efecto de la vitamina D<sub>3</sub> y clorhidrato de zilpaterol en el esfuerzo al corte en rumiantes

Es ampliamente conocido que los  $\beta$ -agonistas afectan negativamente la suavidad de la carne, debido a un aumento en la actividad de la calpastatina en el músculo, y esto a su vez causa un aumento en la dureza de la carne, uno de los más utilizados en rumiantes es el clorhidrato de zilpaterol (Hansen *et al.*, 2011; Strydom *et al.*, 2011). Para minimizar este efecto en la calidad de la carne, se han implementado niveles supra-nutricionales de vitamina D<sub>3</sub> en la dieta durante los últimos días antes

del sacrificio (Montgomery *et al.*, 2002; Strydom *et al.*, 2011), aumentando la terneza de la carne mediante una mayor actividad de las calpaínas activadas por el calcio en el músculo (Montgomery *et al.*, 2000).

Un estudio conducido por Strydom *et al.* (2011), donde evaluaron el efecto del clorhidrato de zilpaterol y vitamina D<sub>3</sub> en calidad de la carne en novillos, suplementando 1 x 10<sup>6</sup> UI (9 días) 7 x 10<sup>6</sup> UI (3 días) de vitamina D<sub>3</sub> antes del sacrificio. Encontraron diferencias en esfuerzo al corte (Warner-Bratzler) entre el tratamiento testigo y clorhidrato de zilpaterol (3.7 vs 5.5 kg/f). La vitamina D<sub>3</sub> mejoró la terneza de la carne de animales tratados con zilpaterol cuando las canales no fueron estimuladas eléctricamente. Sin embargo, la dureza producida por el clorhidrato de zilpaterol no fue significativa cuando se estimuló eléctricamente la canal.

Korn *et al.* (2013b) realizaron un estudio donde utilizaron clorhidrato de zilpaterol y vitamina D<sub>3</sub> en novillos, para evaluar el rendimiento de la canal y suavidad de la carne, al utilizar 250,000 UI por 165 días (largo plazo) y 5 x 10<sup>6</sup> UI de Vitamina D<sub>3</sub> por 10 días (corto plazo), en tres diferentes tiempos *post mortem* 7, 14 y 21 días. El clorhidrato de zilpaterol incrementó el valor de esfuerzo al corte (Warner-Bratzler) a los 7 días (2.52 vs 4.25 kg/f) y a los 14 días (2.40 vs 3.48 kg/f); sin embargo, no hubo efectos al utilizar clorhidrato de zilpaterol y vitamina D<sub>3</sub> en la terneza de la carne valorada mediante la técnica Warner Bratzler.

Knobel-Graves *et al.* (2016) realizaron un estudio sobre el efecto de la vitamina D<sub>3</sub> en la suplementación de clorhidrato de zilpaterol en novillos, donde midieron el esfuerzo al corte en tres músculos. Ellos utilizaron 500,000 UI de vitamina D<sub>3</sub>, durante 10 días previos al sacrificio, en cinco diferentes tiempos *post mortem* 7, 14, 21, 28 y 35 días. El clorhidrato de zilpaterol incrementó el valor de esfuerzo al corte (Warner-Bratzler) en el músculo *Longissimus lumborum*, para los diferentes tiempos *post mortem* (P 0.01); sin embargo, no hubo interacción entre clorhidrato de zilpaterol y vitamina D<sub>3</sub>.

### **III. HIPÓTESIS**

La suplementación con dosis supra-nutricionales de vitamina D<sub>3</sub> previo al sacrificio reduce el efecto negativo del clorhidrato de zilpaterol en la calidad y terneza de la carne de ovinos en finalización.

## IV. OBJETIVOS

### 4.1. Objetivo general

Determinar el efecto de la vitamina D<sub>3</sub> en dietas con Clorhidrato de Zilpaterol en las características de calidad de la carne en ovinos de finalización.

### 4.2. Objetivos específicos

4.2.1. Determinar el efecto del clorhidrato de zilpaterol y vitamina D<sub>3</sub> en ovinos en finalización, en el pH, esfuerzo al corte, color (L\*luminosidad, a\*color rojo, b\*color amarillo) y capacidad de retención de agua.

4.2.2. Determinar el perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular del músculo *Longissimus*.

## **V. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **5.1. Localización de la unidad experimental**

El experimento se desarrolló en la Unidad Experimental de Engorda para Ovinos II de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma de Sinaloa. La región se caracteriza por tener un clima semiseco, muy cálido, extremo con lluvias en verano; se localiza a 107° 21' LO y a 24° 46' LN, a 79 msnm; la temperatura promedio anual es de 25.9 °C con máxima de 30.4 °C en junio y julio, y mínima de 20.6 °C en enero; la humedad relativa promedio es de 68 %, con máxima de 81 % en septiembre y mínima de 51 % en abril; la precipitación anual promedio es de 688.5 mm (CIAPAN, 2002).

### **5.2. Adaptación y manejo de los animales en corral**

Se adquirieron 50 machos Dorper x Pelibuey de una engorda comercial (PV  $30 \pm 1.43$  kg), luego se trasladaron a los corrales de la Unidad Experimental, con el propósito de adaptarlos a las instalaciones, manejo y alimentación antes del inicio del experimento. Previo al inicio de la etapa experimental los ovinos se desparasitaron con Triclabendazole 10% y Fenbendazole 10 % (Saguaymic plus®), 10 mg/kg de PV vía oral; recibieron 5000 U.I. de vitamina A/kg de PV. Se les aplicó tratamiento preventivo contra Piroplasmosis y Anaplasmosis (Ganaplus®Novartis) y se vacunaron contra Pasteurelisis neumónica vía SC (Inmunovac 11 vías). Posteriormente se pesaron para formar dos grupos de 25 animales cada uno.

### **5.3. Características de los ovinos e inicio de la fase experimental**

Cuando los ovinos pesaron 35 kg de peso vivo promedio, se seleccionaron 32 machos Dorper x Pelibuey ( $37.33 \pm 1.43$  kg), de acuerdo a su condición corporal ideal para el inicio del experimento. Para iniciar la fase experimental, con base a un diseño de bloques completos al azar, los ovinos se distribuyeron conforme a grupos de peso corporal en 16 corraletas con cuatro repeticiones por tratamiento. Los ovinos se alojaron en corraletas de 6 m<sup>2</sup>, equipados con sombra completa, bebederos de llenado manual, con 1 m lineal de comedero.



Durante la fase experimental (29 días), los ovinos se alimentaron con una dieta integral a base de maíz quebrado y pasta de soya, con un 14.5% de proteína cruda y 1.43 Mcal/ENg, cuya composición se muestra en el cuadro 5. El alimento fue proporcionado dos veces por día (0900 y 1500 h) en una proporción ~30:70, respectivamente. A cada corraleta dentro del mismo bloque le fue asignado al azar uno de los cuatro tratamientos, los cuales consistieron en adicionar a la dieta de finalización 0.20 mg/kg (~9 mg/animal/d) de clorhidrato de zilpaterol (ZILMAX®, MSD) durante 27 días, con tres días de retiro; se adicionó  $1.5 \times 10^6$  UI de vitamina D<sub>3</sub> (Microvit D<sub>3</sub>, ADISSEO) los últimos 7 días previos al sacrificio. Los ovinos fueron asignados aleatoriamente a los siguientes tratamientos: T1) Testigo, dieta sin zilpaterol y sin adición de vitamina D<sub>3</sub>; T2) dieta con zilpaterol y sin vitamina D<sub>3</sub>; T3) dieta sin zilpaterol y con vitamina D<sub>3</sub> y T4) dieta con zilpaterol y con adición de vitamina D<sub>3</sub>.

#### 5.4 Dieta experimental

Para la formulación de las dietas se tomaron como referencia los valores publicados del NRC (1985).

Cuadro 5. Ingredientes y composición nutrimental de las dietas experimentales.

Ingredientes	%
Heno de Sudán	14.5
Maíz quebrado	66.0
Pasta de soya	6.0
Grasa animal	2.0
Melaza	8.0
Premezcla de mineral <sup>1</sup>	2.5
Urea	1.0
Composición Nutrimental en Base Seca	
Materia seca, %	89
Proteína cruda, %	14.5
EN <sub>g</sub> , Mcal/kg/MS	1.43

<sup>1</sup>Agromix ovinos, EN<sub>g</sub>=Energía Neta de Ganancia. NRC (1985).

## **5.5. Proceso de obtención de la canal y muestras del músculo *Longissimus dorsi***

Todos los procedimientos con animales vivos se llevaron a cabo con base en los lineamientos establecidos en las siguientes Normas Oficiales Mexicanas: NOM-051-ZOO-1995 “Cuidado humanitario de animales durante movilización de animales”, NOM-024-ZOO-1995 “estipulaciones y características de Salud Animal durante la transportación de los animales” y NOM-EM-015-ZOO-2002 “Estipulaciones técnicas para el uso controlado de beta agonistas en animales”.

Al finalizar el experimento a los ovinos les fue retirado el alimento 12 horas previas a la movilización a la planta municipal de matanza ubicada en la sindicatura de Costa Rica, Sinaloa, donde permanecieron 12 horas en espera antes del procesamiento en corraletas con piso de concreto y sombra completa con libre acceso al agua de bebida. Una vez obtenidas las canales calientes fueron refrigeradas y conservadas en cuarto frío durante 24 horas hasta alcanzar una temperatura entre 2-4°C. Posteriormente las canales frías fueron trasladadas a la sala de cortes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Universidad Autónoma de Sinaloa. Aleatoriamente se seleccionó una media canal izquierda por cada corraleta, así mismo se obtuvo el músculo *Longissimus dorsi*. Cada una de las 16 muestras del músculo *Longissimus* fue dividida en dos partes de aproximadamente 100 y 500 g, las cuales fueron empacadas al alto vacío y congeladas a -20 °C para su posterior envío al laboratorio de análisis de calidad de la carne.

## **5.6. Determinación de las características de calidad de la carne**

Para la determinación del pH, color ( $L^*$   $a^*$   $b^*$ ), esfuerzo al corte y capacidad de retención de agua se utilizaron 16 muestras (4 por tratamiento) de carne de 500 g del músculo *Longissimus dorsi*; fueron transportadas por vía aérea al laboratorio de calidad de la carne del Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Las muestras de 100 g se analizaron en el laboratorio de calidad de cárnicos en el Centro Nayarita de

Innovación y Transferencia de Tecnología (CENITT) en Tepic, Nayarit para la determinación del perfil de ácidos grasos de la grasa intramuscular.

#### **5.6.1. Análisis instrumental del color**

determinación instrumental del color se midió de la muestra de 500 g del músculo *Longissimus dorsi* con un colorímetro portátil (KONICA-MINOLTA CR10); Con un área de medición de 8 mm de diámetro, La iluminación con lámpara de tungsteno, según el estándar CIE ilumina D65 y el observador a 10°. Se eligió el sistema de medida del color CIE-L\*a\*b\* que define el color con la utilización de tres componentes; L\* que determina la intensidad de la luminosidad (L\*=0 oscuro, L\*=100 luminoso); a\* que indica el tono de color de la muestra dentro del espacio de color rojo-verde (+60 rojo, -60 verde); y, b\* que revela el tono de color dentro del espacio de color amarillo-azul (+60 amarillo, -60 azul). Las mediciones del color se realizaron sobre la superficie de las muestras y a temperatura ambiente ( 22 °C). Para realizar la medición se retiró toda la grasa exterior del músculo con la ayuda de un cuchillo, se cortó la muestra con un grosor aproximadamente de 2 cm, se expuso al oxígeno del aire (para que se oxigene la mioglobina), se realizó la medición con el colorímetro marca Minolta, dando un disparo, el colorímetro se movió de lugar porque está programado para tres disparos ya que idealmente se debe tener tres diferentes mediciones sobre la muestra; se registraron los valores L\*, a\* y b\* de las 16 muestras con 3 réplicas cada una.

#### **5.6.2. Análisis del pH**

Para la medición del pH se utilizaron 16 muestras de 500 g del músculo *Longissimus dorsi* a los 7 días *post mortem*, se analizaron 3 mediciones por muestra. Se utilizó un potenciómetro (Delta Track Inc., ISFET pH 101, Pleasanton CA). La metodología consistió en perforar la muestra de carne con el cuchillo, se introdujo el electrodo en el músculo seleccionado, perpendicular a la masa muscular a 2 cm de profundidad evitando posible contacto de la sonda con la grasa o el tejido conectivo, tomando la medición del pH con dos lecturas en la misma muestra.

### **5.6.3. Esfuerzo al corte**

Para determinar el esfuerzo al corte se tomó un trozo de la muestra de 500 g de músculo *Longissimus dorsi*, se utilizó el método de cocinado en bolsa a baño María, se introdujo el trozo de carne, previamente pesada, en una bolsa de plástico resistente a la cocción, después se colocó la bolsa con la muestra en un baño de agua a 75 °C durante 1 h, y se dejó enfriar, para obtener la muestra se utilizó un sacabocado en forma de cilindro, este corte se tomó perpendicularmente a la dirección de las fibras musculares, se tomaron 4 mediciones por cada muestra aproximadamente de 2.5 cm de espesor. Las mediciones de esfuerzo al corte (kg / cm<sup>2</sup>) se determinaron usando un texturómetro (Lloyd Instruments, Fareham, Hampshire, RU) equipado con hojas de corte Warner-Bratzler con una velocidad de cruceta de 50 mm / min.

### **5.6.4. Capacidad de retención de agua**

Para la medición de la variable capacidad de retención de agua se tomó un trozo de la muestra de 500 g de músculo *Longissimus dorsi*; se determinó utilizando la técnica de centrifugación, descrita por Guerrero *et al.* (2002); el cual consistió en pesar 10 g de carne y molerla finamente. Se colocaron 5 g de muestra (por duplicado) en tubos para centrífuga con 8 mL de solución de NaCl 0.6M; se agitó con una varilla de vidrio durante 1 minuto; después, se colocaron los tubos en un baño de hielo durante 30 minutos, nuevamente se agitó durante 1 minuto con la varilla de vidrio, se centrifugó la muestra durante 15 minutos a 10,000 rpm, y se recogió el sobrenadante por decantación. Por último, se midió el volumen final y se restó el volumen inicial (8 mL). Este procedimiento se realizó 2 veces por muestra.

### **5.6.5. Determinación del perfil de ácidos grasos**

Se realizó la determinación de perfil de ácidos grasos de acuerdo al método descrito por Soto-León *et al.* (2014), se descongelaron las muestras de 100 g del músculo *Longissimus dorsi* para realizar la extracción de grasa. El procedimiento consistió en pesar 10 g de muestra en una báscula analítica, la cual fue finamente picada en tubos de falcón de plástico, se agregó solución 1:2 metanol:cloroformo, en proporción 10:1 con la muestra, se sonificó por una hora (Ultrasonido Hielscher

ultrasound technology UP400S), se Invirtió solución y se agregó metanol, solución 2:1 metanol:cloroformo, agua 0.8, después se filtró al vacío utilizando un embudo de separación. Se agregó cloroformo, solución 2:2 metanol:cloroformo, agua 1.8, después se dejó reposar 24 horas para la separación de las dos fases (agua y lípidos). En matraces esmerilados, previamente pesados se retiró fase inferior (lípidos), filtrando a través de sodio sulfato anhidro. Se evaporó el disolvente en rotavapor a 45 °C, un aproximado de 40 minutos, se dejó reposar para después pesar el matraz esmerilado con la grasa. El porcentaje de grasa se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de grasa} = \frac{[100 (\text{peso del matraz con muestra} - \text{peso del matraz vacío})]}{\text{peso de la muestra}}$$

Después se agregó KOH (300 µl), metanol (10 mL) y se dejó sonificar por 1 min, por último, se evaporó metanol con vacío y se agregó heptano (10 mL) para después filtrar la mezcla con micro filtro y pasar a viales para su separación y determinación del perfil de ácidos grasos; se realizó en un equipo de cromatografía de gases Agilent 6890N con espectrómetro de masas Agilent 5973, columna Omega Wax 250, Helio como gas acarreador e inyector automático serie 7683. Las condiciones de operación fueron: volumen de inyección, 1 µL; flujo, 1 mL min<sup>-1</sup>; temperatura de columna, 50 a 270 °C (10 min) con una tasa de calentamiento de 5 °C min<sup>-1</sup>.

## 5.7. Análisis estadístico

El análisis de los resultados del experimento se realizó con el procedimiento GLM de SAS (SAS Inst. Inc. Cary, NC, 2004) con el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Medida o valor esperado.

$\mu$  = Media general.

$\tau_i$  = Contribución del tratamiento.

$\beta_j$  = Contribución del bloque.

$\varepsilon_{ij}$  = Error aleatorio (Steel y Torrie, 1985).

A los resultados obtenidos de las pruebas de calidad de la carne y perfil de ácidos grasos se les realizó un análisis de la varianza para un diseño en bloques completos al azar. Se utilizó la comparación de múltiples medias por Tukey-Kramer, los siguientes contrastes fueron probados: T vs. ZIL; T vs. VIT; y ZIL vs. ZILVIT. Para determinar diferencias entre tratamientos se usó un nivel de significancia de 0.05.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 6 se muestran los resultados sobre las características de calidad de la carne en ovinos administrados con el agonista adrenérgico <sup>2</sup> clorhidrato de zilpaterol y vitamina D<sub>3</sub>.

Cuadro 6. Efecto del clorhidrato de zilpaterol y vitamina D<sub>3</sub> en las características de calidad de la carne en ovinos en finalización.

Variables <sup>2</sup>	Tratamientos <sup>1</sup>				EEM	Valor de P		
	T	ZIL	VIT	ZILVIT		T vs. ZIL	T vs. VIT	ZIL vs. ZILVIT
Color								
L*	31.80 <sup>ab</sup>	30.05 <sup>b</sup>	34.87 <sup>a</sup>	31.94 <sup>ab</sup>	0.54	0.21	0.03	0.17
a*	16.45	14.34	15.36	16.80	0.39	0.05	0.32	0.02
b*	13.60	11.51	14.56	14.82	0.48	0.11	0.45	0.01
pH	5.56 <sup>b</sup>	5.86 <sup>a</sup>	5.62 <sup>b</sup>	5.59 <sup>b</sup>	0.02	<0.01	0.29	<0.01
Warner-Bratzler, kg	2.45 <sup>b</sup>	2.78 <sup>ab</sup>	2.36 <sup>b</sup>	3.08 <sup>a</sup>	0.08	0.07	0.62	0.10
Retención agua, %	88.45 <sup>a</sup>	85.49 <sup>ab</sup>	86.01 <sup>ab</sup>	82.86 <sup>b</sup>	0.54	0.02	0.05	0.03
Pérdida agua, %	11.54 <sup>a</sup>	14.50 <sup>ab</sup>	13.98 <sup>ab</sup>	17.13 <sup>b</sup>	0.54	0.02	0.05	0.03

T= Testigo; ZIL= Zilpaterol; VIT= Vitamina D<sub>3</sub>; EEM= Error Estándar de la Media; <sup>2</sup>L\*= Luminosidad; a\*= Índice de rojo; b\*= Índice de amarillo. Letras diferentes en la misma línea (Tukey-Kramer, P < 0.05).

El color como característica de calidad de la carne está determinado por la Luminosidad (L\*), intensidad del rojo (a\*) e intensidad del amarillo (b\*). En el presente experimento se observó que el tratamiento con vitamina D<sub>3</sub> presentó 9.65 % mayor intensidad en el valor de L\* (P=0.03) con respecto al testigo (T vs. VIT); el resto de los tratamientos no mostraron diferencias (P>0.17) para esta variable. La intensidad del color rojo (a\*) fue menor (P < 0.05) en el tratamiento con clorhidrato de zilpaterol (ZIL) en un 12.8 % cuando se comparó con el tratamiento testigo (T vs. ZIL) y un 17.1 % cuando fue comparado con el tratamiento que contiene ambos aditivos (ZIL vs. ZILVIT), sin embargo, la adición de vitamina D<sub>3</sub> (VIT) no fue diferente con respecto al resto de los tratamientos (P=0.35). El tratamiento que contiene vitamina D<sub>3</sub> y clorhidrato de zilpaterol mostró valores mayores en un 28.7 % (P=0.01) de

intensidad del amarillo ( $b^*$ ) comparados con el tratamiento de zilpaterol sin vitamina adicionada (ZIL vs. ZILVIT).

El pH de la carne fue mayor ( $P < 0.01$ ) con la inclusión del clorhidrato de zilpaterol (ZIL) al compararse con testigo, vitamina  $D_3$  y ZILVIT (5.3, 4.2, y 4.8 %, respectivamente). Los valores mayores de fuerza al corte (Warner Bratzler) se mostraron en el tratamiento mixto (ZILVIT) al compararse con el tratamiento con vitamina  $D_3$  (VIT) en 30 % ( $P < 0.05$ ) y con respecto al grupo testigo en un 25.7 % ( $P < 0.05$ ), sin mostrar diferencias al contrastarse con el tratamiento ZIL ( $P = 0.10$ ).

La retención de agua en el tratamiento testigo (T) se incrementó en 2.9 % ( $P = 0.02$ ) al compararse con el grupo de clorhidrato de zilpaterol (T vs. ZIL) y un 5.5 % con respecto al tratamiento mixto (ZILVIT); así mismo, el clorhidrato de zilpaterol mostró 2.6 % mayor retención ( $P = 0.03$ ) comparado con el tratamiento mixto (ZIL vs. ZILVIT).

Los resultados del presente experimento coinciden parcialmente con múltiples investigaciones con respecto a la reducción del color rojo ( $a^*$ ) y no presentar cambios en la luminosidad ( $L^*$ ) de las muestras de carne de ovinos tratados con zilpaterol. Al respecto, Hilton *et al.* (2009) mencionan que una reducción en la oximioglobina y metamioglobina está relacionada con la reducción del color rojo del músculo. Estudios en bovinos han demostrado que el clorhidrato de zilpaterol al compararse con los no tratados reduce la intensidad de rojo ( $a^*$ ) en 7 a 12 % y del amarillo ( $b^*$ ) en 5.36 % en el músculo *Longissimus* (Hope-Jones *et al.*, 2012 y Hilton *et al.*, 2009). En luminosidad hay informes donde no muestran diferencias significativas (Hansen *et al.*, 2011) o muestran resultados donde es aumentada en 4.6 % por efecto del suministro de clorhidrato de zilpaterol (Hope-Jones *et al.*, 2012).

Los resultados de los estudios antes mencionados y de otros autores (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Strydom *et al.*, 2009) no muestran cambios significativos en el pH de los músculos de animales tratados con zilpaterol, sin embargo, en el presente estudio se mostró un aumento en el pH muscular de los ovinos tratados (5.86 vs. 5.56). La disminución de la intensidad del color rojo también puede explicarse por el cambio hacia mayores tipos de fibras glicolíticas (blancas) y la hipertrofia de estas fibras causados por los tratamientos con  $\beta$ -agonistas



adrenérgicos (González *et al.*, 2009; Strydom *et al.*, 2009) reduciendo la concentración del pigmento hierro-hemo y por lo tanto da lugar a carne pálida (Geesink *et al.*, 1993).

Los resultados de la inclusión de vitamina D<sub>3</sub> en la calidad de la carne de bovinos son variables, algunos autores (Rodríguez *et al.*, 2013) no encontraron diferencia en el valor de los indicadores L\*, a\* y b\* para los tratamientos con vitamina D<sub>3</sub> (7.5 x 10<sup>6</sup> UI<sup>-1</sup>) comparados con el grupo testigo. Sin embargo, Rafalska (2016) muestra resultados donde la luminosidad aumento 5.9 %, sin mostrar cambios en a\* y b\*; Lobo-jr *et al.* (2012) muestran resultados donde se aumenta el rojo (a\*) en 9.6 % y el amarillo (b\*) en 32.3 %, sin mostrar cambios en luminosidad. En los resultados del presente experimento la inclusión de vitamina D<sub>3</sub> a dosis de 1.5 x 10<sup>6</sup> UI<sup>-1</sup> no mostró cambios significativos en las variables de color con respecto al grupo testigo; sin embargo, al compararse con el grupo con zilpaterol presentó 9.4 % más luminosidad (L\*) y el pH fue menor (5.62 vs. 5.86).

Uno de los efectos secundarios negativos del uso de clorhidrato de zilpaterol es el aumento de la dureza de la carne, el cual, es más consistente en bovinos (Hilton *et al.*, 2009; Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Knobel-Graves *et al.*, 2016). Otros autores no observaron respuestas significativas en ovinos (Casaya, 2011; Ríos *et al.*, 2008; López-Carlos *et al.*, 2010). La vitamina D<sub>3</sub> ha demostrado mejorar la terneza de la carne al ser suplementada en muy altas dosis previo al sacrificio (Montgomery *et al.*, 2000; Montgomery *et al.*, 2004; Rider *et al.*, 2004; Wiegand *et al.*, 2001). Por tal razón, algunos experimentos se han diseñado para determinar el efecto de la suplementación de vitamina D<sub>3</sub> en la terneza de la carne de bovinos suplementados con el clorhidrato de zilpaterol. En el presente experimento el esfuerzo al corte fue incrementado con la inclusión de vitamina D<sub>3</sub> en los animales tratados con clorhidrato de zilpaterol (ZILVIT), lo cual coincide con lo referido por Korn *et al.*, (2013b) quienes mostraron resultados de un incremento en el esfuerzo al corte (Warner Bratzler) con dosis de 250,000 UI<sup>-1</sup> durante 21 días. Sin embargo, otros autores (Strydom *et al.*, 2011) encontraron ligeras mejoras en la suavidad de la carne al utilizar dosis muy altas (7x10<sup>6</sup> UI<sup>-1</sup>) durante 3 días, finalmente otras investigaciones (Hansen *et al.*,

2011) no encontraron diferencias estadísticas en la terneza de la carne por el uso de la vitamina D<sub>3</sub>.

Los resultados de los efectos del suministro de clorhidrato de zilpaterol y vitamina D<sub>3</sub> en la proporción de ácidos grasos de grasa intramuscular de ovinos se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Efecto del clorhidrato de zilpaterol y vitamina D<sub>3</sub> en el perfil de ácidos grasos de grasa intramuscular en ovinos en finalización.

Ácidos grasos, %	Tratamientos <sup>1</sup>				EEM	Valor de P		
	T	ZIL	VIT	ZILVIT		T vs. ZIL	T vs. VIT	ZIL vs. ZILVIT
Mirístico	3.92	3.27	4.34	2.79	0.358	0.53	0.69	0.65
Miristoléico	0.262	0.24	0.35	0.16	0.039	0.89	0.42	0.49
Palmítico	29.49	29.35	32.59	30.05	0.598	0.92	0.07	0.65
Palmitoléico	2.22	1.96	2.41	1.76	0.131	0.49	0.01	0.57
Estearico	11.05	12.88	11.76	12.33	0.846	0.13	0.54	0.63
Oléico	49.56	47.42	43.02	48.34	0.953	0.35	0.01	0.68
Linoléico	3.18	4.61	5.05	4.34	0.484	0.33	0.21	0.85
Linolénico	0.29	0.24	0.16	0.11	0.033	0.62	0.16	0.15
Araquidónico	0.00	0.00	0.29	0.08	0.075	1.00	0.19	0.70
Saturados	44.47	45.50	48.70	45.18	0.708	0.57	0.03	0.86
Insaturados	55.52	54.50	51.29	54.81	0.708	0.57	0.03	0.86
Insat/satur	1.25	1.20	1.05	1.21	0.033	0.52	0.03	0.86

<sup>1</sup>T.= Testigo; ZIL= Zilpaterol; VIT= Vitamina D<sub>3</sub>; EEM= Error Estándar de la Media

La inclusión del clorhidrato de zilpaterol no afectó la proporción de ningún ácido graso al compararse con el grupo testigo (P=0.13), tampoco al contrastarse con los ovinos tratados con clorhidrato de zilpaterol y vitamina D<sub>3</sub> (ZILVIT; P=0.15). La inclusión de vitamina D<sub>3</sub> tiende (P=0.07) a aumentar en 3.0 % la proporción del ácido graso palmítico, aumenta (P=0.01) 0.2 % el ácido graso palmitoleico y redujo (P=0.01) en 6.5 % el ácido graso oleico al compararse con el grupo testigo. Así mismo la inclusión de vitamina D<sub>3</sub> redujo (P=0.03) la relación de ácidos grasos

insaturados/saturados totales en 16.0 % al compararse con el tratamiento testigo (T vs. VIT).

Los resultados del uso de  $\beta$ -agonistas adrenérgicos en el perfil de ácidos grasos no muestran tendencias claras con respecto al cambio entre ácidos grasos saturados e insaturados, pues los resultados son variados y contradictorios. Van Bibber-Krueger *et al.* (2015) condujeron un experimento para evaluar la suplementación del clorhidrato de zilpaterol en novillos en el perfil de ácidos grasos, encontrando un incremento en el ácido graso saturado heneicosanoico de grasa intramuscular, siendo el único modificado. Webb y Casey (1995) encontraron una reducción en el ácido graso palmítico de grasa subcutánea al suplementar un  $\beta$ -agonista adrenérgico, sin afectar el resto de los ácidos grasos. Se reportó una reducción del 19 % del ácido graso esteárico por el uso de salbutamol en grasa intramuscular del músculo *Longissimus*, además el total de ácidos grasos poliinsaturados de grasa intramuscular fueron mayores y menor proporción del total de ácidos grasos saturados (Sota *et al.*, 1995). Los cambios en las proporciones de los ácidos grasos de la grasa del músculo están presuntamente relacionados con el incremento de la tasa de lipólisis, con la consecuente liberación de ácidos grasos posterior a la administración de  $\beta$ -agonistas adrenérgicos (Johnson *et al.*, 2014). Sin embargo, en el estudio presente no se observó un efecto de la suplementación del clorhidrato de zilpaterol solo o combinado con vitamina D<sub>3</sub> al compararse con el grupo testigo.

## **VII. CONCLUSIONES**

La suplementación de dosis supra-nutricional de vitamina D<sub>3</sub> en dietas con clorhidrato de zilpaterol para ovinos en finalización no mejoró las características de calidad y terneza de la carne, sin embargo, aumento la proporción de ácidos grasos saturados y redujo los insaturados.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Avendaño-Reyes, L.; V. Torres-Rodríguez, F. J. Meraz-Muriño, C. Perez-Linare, F. Figueroa-Saavedra and P. H. Robinson. 2006. Effects of two Beta-adrenergic agonist on finish performance, carcass characteristics, and meet quality of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 84:3259-3265.
- Alberti, P., B. Panea, G. Ripoll, C. Sañudo, J. L. Olleta and I. Negueruela. 2005. Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Madrid, España: MICYT-INIA: (3) 216-225.
- Barajas, C. R., A. R. Virgilio, P. G. Contreras y P. O. R. Monárrez. 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.
- Bianchi, G. 2007. Identificación y cuantificación de factores que afectan la calidad de carne ovina. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. Ed. G. 278 p.
- Bikle, D. D. 2014. Vitamin D Metabolism, Mechanism of Action, and Clinical Applications. *Chem Biol.* 21(3):319–329.
- Boleman, C.T., D.R. McKenna, W.S. Ramsey, R.K. Peel, J.W. Savell. 2004. Influence of feeding vitamin D<sub>3</sub> and aging on the tenderness of four lamb muscle. *C.T. Meat Sci.* 67:185–190.
- Bratzler, L. D. 1949. Determining the tenderness of meat by the use of the Warner\_Bratzler method. *Annual Reciprocal Meat Conference*, 2:117-121.
- Bravo, J. A., M. A. Bautista y M. A. Matías. 2009. Actualidades en el uso de Ractopamina en Bovinos de Engorda. *Entorno Ganadero*. Pág. 44. Año 6. No. 35. Abril-mayo.
- Brewer, S. J., J. E. Wilson, F. McKeith. 2002. The effect of pig genetics and palatability, colorant physical characteristics of fresh loin chops. *Meat Sci.* 61:249-256.

- Casaya, T. A. 2011. Efecto del clorhidrato de zilpaterol y dos pesos de faena sobre la calidad de la carne en corderos Katahdin x Dorper o Charollais. Tesis Maestría en Ciencias de la producción y de la salud animal. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.
- CIAPAN. Centro de Investigaciones Agrícolas del Pacífico Norte. 2002. Guía para la asistencia técnica del Valle de Culiacán. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Culiacán, Sinaloa, México. 97 p.
- Claus, H. C., M. E. Dikeman, L. Murray, J. C. Brooks, J. Shook, G. G. Hilton, T. E. Lawrence, J. M. Mehaffey, B. J. Johnson, D. M. Allen, M. Streeter, W. T. Nichols, J. P. Hutcheson, D. A. Yates, M. F. Miller, M. C. Hunt, and J. Killefer. 2010. Effects of supplementing feedlot steers and heifers with zilpaterol hydrochloride on Warner-Bratzler shear force interrelationships of steer and heifer longissimus lumborum and heifer triceps brachii and gluteus medius muscles aged for 7, 14 and 21 days. *Meat Sci.* 85:347-355.
- Church, D. C. 1993. *El Rumiante Fisiología Digestiva y Nutrición*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España.
- Collins, E. D. And A. W. Norman. 1991. Vitamin D. In hand book of vitamins. 2a. Ed. New York: Marcel Dekker. Pp. 59-99.
- De Luca H. F. 1984. The metabolism, physiology, and function of vitamin D. In: Kumar R, editor. *Vitamin D: basic and clinical aspects*. Boston (MA): M. Nijhoff Publishers; p. 1-68.
- Dikeman, M. E. 2007. Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. *Meat Sci.* 77:121–135.
- Dittmer, K. E. and K. G. Thompson. 2011. Vitamin D metabolism and rickets in domestic animals. A review. *Vet Pathol.* 48:389-407.
- Domínguez-Vara, I. A., J. Mondragón-Ancelmo, M. González-Ronquillo, F. Salazar-García, J. L. Bórquez-Gastelum y A. Aragón-Martínez. 2009. Los  $\beta$ -agonistas adrenérgicos como modificadores metabólicos y su efecto en la producción, calidad e inocuidad de la carne de bovinos y ovinos: una revisión. *Ciencia Ergo. Sum.* 16 (3), 278-284.

- Duffy, S. K., J. V. O'Doherty, G. Rajauria, L. C. Clarke, K. D. Cashman, A. Hayes, M. N. O'Grady, J. P. Kerry and A. K. Kelly. 2017. Cholecalciferol supplementation of heifer diets increases beef vitamin D concentration and improves beef tenderness. *Meat Sci.* 134:103–110.
- Eng, K. 2000. Choices of implants, implant strategies increase again. *Feedstuffs* 72:10.
- Estrada, A.A., A. Barreras, G. Contreras, J.F. Obregon, J.C. Robles, A. Plascencia, R.A. Zinn. 2008. Influence of level of Zilpaterol chlorhydrate supplementation on growth performance and carcass characteristics of feedlot lambs. *Small Rum. Res.* 80:107-110.
- FOASTAT. Food And Agriculture Organization Of The United Nations Statistics 2015. [en línea] <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/S>. Consultado Oct 19, 2015.
- Folch, J. y J. L. Alabart. 2001. Tecnología en reproducción ovina. Memoria electrónica del 2° Congreso Latinoamericano de Especialistas en Pequeños Rumiantes y Camélidos Sudamericanos, XI Congreso Nacional de Producción Ovina. 22 al 25 de mayo. Mérida, Yucatán, México.
- Foote, M. R., R. L. Horst, E. J. Huff-Lonergan, A. H. Trenkle, F. C. Parrish, Jr., and D. C. Beitz. 2004. The use of vitamin D<sub>3</sub> and its metabolites to improve beef tenderness. *J. Anim. Sci.* 82:242-249.
- Garmyn, A. J., S. M. Knobel, K. S. Spivey, L. F. Hightower, J. C. Brooks, B. J. Johnson, S. L. Parr, R. J. Rathmann, J. D. Starkey, D. A. Yates, J. M. Hodgen, J. P. Hutcheson, and M. F. Miller. 2011. Warner-Bratzler and slice shear force measurements of 3 beef muscles in response to various aging periods after trenbolone acetate and estradiol implants and zilpaterol hydrochloride supplementation of finishing beef steers. *J. Anim. Sci.* 89:3783–3791.
- Geesink, G. H., F. J. M. Smulders, H. L. J. M. Van Laack, J. H. Van der Kolk, Th. Wensing and H. J. Breuking. 1993. Effects on meat quality of the use of clenbuterol in veal calves. *J. Anim. Sci.* 71:1161-1170.

- González, J. M., S. E. Johnson, T. A. Thrift, J. D. Savell, S. E. Ouellette and D. D. Johnson. 2009. Effect of ractopamine-hydrochloride on the fiber type distribution and shelf-life of six muscles of steers. *J. Anim. Sci.* 87:1764-1771.
- Guerrero, I. E. Ponce, M. L. Pérez. 2002. Curso práctico de tecnología de carnes y pescado. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa.
- Gunderson, J.A., M. C. Hunt, T. A. Houser, E. A. E. Boyle, M. E. Dikeman, D. E. Johnson, J. P. Nichols, D. A. Hutcheson, D.L. Yates, G.G. VanOverbeke, C. Hilton, J. Brooks, D.M Killefer, M.N. Allen and W.T. Streeter. 2009. Effects of zilpateol hydrochloride feeding duration on crossbred beef semimembranosus steak color in aerobic or modified atmosphere packaging. *J. Anim. Sci.* 2009. 87:3739–3750.
- Hansen, S., L. Frylinck, P. E. Strydom. 2011. The effect of vitamin D<sub>3</sub> supplementation on texture and oxidative stability of beef loins from steers treated with zilpaterol hydrochloride. *Meat. Sci.* 90:145–151.
- Hannah, S. S. and A. W. Norman. 1994. Alpha, 25(OH)<sub>2</sub> vitamin D<sub>3</sub>-regulated expression of the eukaryotic genome. *Nutr Rev.* 52:376-82.
- Honikel, K. O. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci.* 49:447-457.
- Hoenderop, J. G. J., B. Nilius and R. J. M. Bindels. 2005. Calcium absorption across epithelia. *Physiol Rev* 85:373–422.
- Hope-Jones, M., P.E. Strydom, L. Frylinck, E.C. Webb. 2012. Effect of dietary beta-agonist treatment, vitamin D<sub>3</sub> supplementation and electrical stimulation of carcasses on color and drip loss of steaks from feedlot steers. *Meat Sci.* 90: 607–612.
- Hilton, G. G., J. L. Montgomery, C. R. Krehbiel, D. A. Yates, J. P. Hutcheson, W. T. Nichols, M. N. Streeter, J. R. Blanton, Jr. and M. F. Miller. 2009. Effect of feeding zilpaterol hydrochloride with and without monensin and tylosin on carcass cutability and meat palatability of beef steers. *J. Anim Sci.* 87:1394-1406.



- Hui, H. Guerrero, I. Rosmini M. R. 2012. *Ciencia y Tecnología de Carnes*. Editorial Limusa, S.A de C.V. Grupo Noriega. México, D.F.
- Johnson, B. J., S. B. Smith and K. Y. Chung. 2014. Historical overview of the effect of  $\alpha$ -adrenergic agonists on beef cattle production. *Asian-Aust J. Anim. Sci.* 27(5): 757-766.
- Johnson, J. L. 1994. Pathogen microorganisms and microbial toxins associated with muscle foods. Kinsman DM, Kotula AW, Breidestein BC. *Muscle foods meat, poultry and seafood technology*. USA: Chapman and Hall.
- Knobel-Graves, S. M., J. C. Brooks, B. J. Johnson, J. D. Starkey, J. L. Beckett, J. M. Hodgen, J. P. Hutcheson, M. N. Streeter, C. L. Thomas, R. J. Rathmann, A. J. Garmyn, and M. F. Miller. 2016. Effect of vitamin D<sub>3</sub>, zilpaterol hydrochloride supplementation, and postmortem aging on shear force measurements of three muscles in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.* 94:2637–2647.
- Korn, K. T., R. P. Lemenager, M. C. Claeys, M. Engstrom, and J. P. Schoonmaker. 2013b. Supplemental vitamin D<sub>3</sub> and zilpaterol hydrochloride. I. Effect on performance, carcass traits, tenderness, and vitamin D metabolites of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 91:3322–3331.
- Korn, K. T., R. P. Lemenager, M. C. Claeys, J. N. Waddell, M. Engstrom, and J. P. Schoonmaker. 2013a. Supplemental vitamin D<sub>3</sub> and zilpaterol hydrochloride. II. Effect on calcium concentration, muscle fiber type, and calpain gene expression of feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 91:3332–3340.
- Lobo-Jr. A. R., E. F. Delgado, G. B. Mourão, A. C. M. S. Pedreira, A. Berndt, J. J. A. and A. Demarchi. 2012. Interaction of dietary vitamin D<sub>3</sub> and sunlight exposure on *B. indicus* cattle: Animal performance, carcass traits, and meat quality. *Livestock Sci.* 145:196–204.
- López-Carlos, M. A., R. G. Ramírez, J. I. Aguilera-Soto, F. Mendez-Llorente, H. Rodríguez and J. M. Silva. 2010. Effect of ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride on growth, diet digestibility, intake and carcass characteristics of feedlot lambs. *Livest. Sci.* 131:23-30.

- López, Z. R., S.O. Argudin y A.D. Anaya. 2003. Efecto de un  $\beta$ -Adrenérgico solo y combinado sobre aumento de peso, grasa dorsal y área de ribeye en ovinos Tabasco. Memorias XXVII Congreso Nacional de Buiatría, pp 240-241.
- Mathews, C. K., K. E. Van Holde y K. G. Ahern. 2002. Bioquímica. Tercera edición. Editorial Pearson Educación, S.A., Madrid, España.
- Mersmann, H. J. 1998. Overview of the effects of beta-adrenergic receptor agonist on animal growth including mechanisms of action. *J. Anim. Sci.* 76:160-172.
- McDowell, L. R. 2000. *Vitamins in Animal and Human Nutrition*, 2nd ed., Iowa State University Press, Ames, IA.
- Meyer, M. B., M. Watanuki, S. Kim, N. K. Shevde, and J. W. 2006. The human transient receptor potential vanilloid type 6 distal promoter contains multiple vitamin D receptor binding sites that mediate activation by 1,25-dihydroxyvitamin D<sub>3</sub> in intestinal cells. *Mol Endocrinol.* 20:1447–1461.
- Montgomery, J. L., F. C. Parrish, Jr, D. C. Beitz, R. L. Horst, E. J. Huff-Lonergan and A. H. Trenkle. 2000. The use of vitamin D<sub>3</sub> to improve beef tenderness. *J. Anim. Sci.* 78:2615–2621.
- Montgomery, J. L., M. A. Carr, C. R. Kerth, G. G. Hilton, B. P. Price and M. L. Galyean. 2002. Effect of vitamin D<sub>3</sub> supplementation level on the post mortem tenderization of beef from steers. *J. Anim. Sci.* 80:971–981.
- Montgomery, J. L., M. B. King, J. G. Gentry, A. R. Barham, B. L. Barham and G. G. Hilton. 2004. Supplemental vitamin D<sub>3</sub> concentration and biological type of steers. II. Tenderness, quality, and residues of beef. *J. Anim. Sci.* 82:2092–2104.
- Murray, A. C. 1989. Factors affecting beef colour at time of grading. *Can. J. Anim. Sci.* 69:347-355.
- Murray, R. K., D. A. Bender, K. M. Botham, P. J. Kennelly, V. W. Rodwell, y P. A. Weil. 2010. *Harper bioquímica ilustrada*. Editorial McGRAW-HILL, S.A. de C.V. México.

- Norman, A. W, R. Bouillon, S. J. Whiting, R. Vieth and P. Lips. 2007. 13th Workshop consensus for vitamin D nutritional guidelines. *J. Steroid. Biochem. Mol Biol.* 103:204-205.
- NRC. 1985. Nutrient requirement of sheep. (6th Rev. Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- Orona, C. I., M. J. D. López, V. C. Vázquez, S. E. Salazar, y R. M. E. Ramírez. 2014. Análisis microeconómico de una unidad representativa de producción de carne de ovino en el estado de México bajo un sistema de producción semi intensivo. *Rev. Mex. Agronegocios*, 34:720-728.
- Oka, A., Y. Maruo, T. Miki, T. Yamasaki and T. Saito. 1998. Influence of Vitamin A on the Quality of Beef from the Tajima Strain of Japanese Black Cattle. *Meat Sci.* 48:159-167.
- Partida, de la P. J. A., V. D. Braña, S. H. Jiménez, R. F. G. Ríos y R. G. Buendía. 2013. Producción de carne ovina. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, INIFAP. Ajuchitlán. Querétaro. Libro técnico 5.
- Platter, W. J., J. D. Tatum, K. E. Belk, J. A. Scanga, and G. C. Smith. 2003. Effects of repetitive use of hormonal implants on beef carcass quality, tenderness, and consumer ratings of beef palatability. *J. Anim. Sci.* 81:984–996.
- Preston, 2004. Feedlot management challenges and opportunities with B-agonist use. Plains Nutrition Council Spring Conference. April 15-16. San Antonio Texas. Publication No AREC 04-14. Texas & Research and Extension Center Amarillo.
- Rafalska, U. K. 2016. Influence of dietary vitamin D3 supplementation on the sarcomere length, Warner–Bratzler shear force, shortening of ageing time, and sensory acceptance of culinary beef muscles. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 40:514-520.
- Rider, N Sell., W. B. Mikel, Y. L. Xiong, and J. M. Behrends. 2004. Vitamin D3 supplementation of cull cows: Effects on longissimus and semitendinosus muscle tenderness. *J. Anim. Sci.* 82:225–230.

- Ríos, F. G., J. C. Robles, S. G. Aza, J. F. Obregón, A. Estrada, G. Contreras, J. J. Portillo, L. Contreras y A. B. Pérez. 2008. Efecto de agentes beta agonistas en la respuesta productiva, características de la canal y calidad de la carne de ovinos. Memorias de la Investigación Científica, Tecnología y Social en las UAS. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México, pp. 469.
- Rodríguez, B. S., M. D. Domínguez, M. C. Ludovico, P. A. S. Cravo, B. R. Sfaciotti and M. B. Arrigoti. 2013. Feedlot performance, carcass characteristics and meat quality of Nellore and Canchim bulls fed diets supplemented with vitamins D and E. *Acta Scientiarum Anim. Sci.* 35:403-410.
- SAS. SAS/STAT, Guide for personal computer (release 9.2). Cary, NC, USA: SAS Inst. Inc. 2004.
- SIAP. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Avance comparativo de la producción pecuaria. [en línea] <http://www.siap.gob.mx/opt/poblagand/ovino.pdf>. Consultado Oct 18, 2016.
- Sota, E., A. S. Del Barrio, M. A. Garcia-Calonge, M. P. Portillo, I. Astiasarhn and J. A. Martinez. 1995. Organ Weights, Muscle Composition and Fatty Acid Profiles in Lambs Fed Salbutamol: Effect of a 5-Day Withdrawal Period. *Meat Sci.* 1:29-35.
- Soto-León, S., I. E. Zazueta-Patrón, P. Pina-Valdez, M. Nieves-Soto, C. Reyes-Moreno and I. Contreras-Andrade. 2014. Tetraselmis suecica lipid extraction: ultrasonic and solvent aided process. *Revista Mexicana de Ingeniería Química.* 13 (39):723-737.
- Seijo, M., S. Mastaglia, G. Brito, J. Somoza, y B. Oliveri. 2012. ¿Es equivalente la suplementación diaria con vitamina D<sub>2</sub> o vitamina D<sub>3</sub> en adultos mayores? *Medicina,* 72:195-200.
- Steel, R. G. D. y J. H. Torrie. 1985. *Bioestadística Principios y Procedimientos.* Segunda Edición. Editorial Mc Graw - Hill. Bogotá, Colombia.
- Strydom, P. E., L. Frylinck, J. L. Montgomery and M. F. Smith. 2009. The comparison of three beta-agonists for growth performance, carcass characteristics and meat quality of feedlot cattle. *Meat Sci.* 81:557–564.

- Strydom, P. E., M. Hope-Jones, L. Frylinck and E. C. Webb. 2011. The effects of a beta-agonist treatment, Vitamin D<sub>3</sub> supplementation and electrical stimulation on meat quality of feedlot steers. *Meat Sci.* 89:462–468.
- Sumano, L. H., C. L. Ocampo, y O. L. Gutiérrez. 2002. Clenbuterol y otros B-agonistas, ¿una opción para la producción pecuaria o un riesgo para la salud pública? *Vet. Mex.* 33:137-159.
- Swatland, H. J. 1991. Estructura y desarrollo de los animales de abasto. Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España.
- Van Bibber-Krueger, C. L., K. A. Miller, G. L. Parsons, L. K. Thompson, and J. S. Drouillard. 2015. Effects of zilpaterol hydrochloride on growth performance, blood metabolites, and fatty acid profiles of plasma and adipose tissue in finishing steers. *J. Anim. Sci.* 5 (93): 2419–2427.
- Vélez, A. J. A. Espinosa, L. De la Cruz, J. Rangel, I. Espinoza y C. Barba. 2016. Caracterización de la producción de ovino de carne del estado de Hidalgo, México. *Archivos de Zootecnia.* 65:425-428.
- Webb, E. C. and N. H. Casey. 1995. Fatty acids in carcass fat of steers treated with a -adrenergic agonist individually or in combination with trenbolone acetate + oestradiol-17. *Meat Sci.* 41:69-76.
- Wiegand, B. R. F. C. Parrish, Jr.,<sup>2</sup> D. G. Morrical, and E. Huff-Lonergan. 2001. Feeding high levels of vitamin D<sub>3</sub> does not improve tenderness of callipyge lamb loin chops. *J. Anim. Sci.* 79:2086–2091.