



**UAEM**

Universidad Autónoma  
del Estado de México

**CENTRO UNIVERSITARIO UAEM TEMASCALTEPEC**

**LICENCIATURA EN INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

**EFFECTO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL SOBRE LAS  
CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL, CORTES PRIMARIOS, VÍSCERAS  
VERDES Y VÍSCERAS ROJAS DE OVINOS DE PELO EN CORRAL**

## **TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO  
AGRÓNOMO ZOOTECNISTA**

**PRESENTA:**

**DANIEL SILVA MARCELO**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. ROLANDO ROJO RUBIO**

**ASESOR:**

**DR. JAIME MONDRAGÓN ANSELMO**



**Temascaltepec de González, México, Noviembre de 2018.**

**EFFECTO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL SOBRE LAS  
CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL, CORTES PRIMARIOS, VÍSCERAS  
VERDES Y VÍSCERAS ROJAS DE OVINOS DE PELO EN CORRAL**

**Comité de Tesis**

---

**DR. ROLANDO ROJO RUBIO**  
Director

---

**DR. JAIME MONDRAGÓN ANSELMO**  
Asesor

---

**DR. GERMÁN GÓMEZ TENORIO**  
Sinodal

---

**MTRO. PABLO MEJÍA HERNÁNDEZ**  
Sinodal

**Noviembre 2018**

## **DEDICATORIA**

*A Dios primeramente por brindarme la vida y la oportunidad de vivir la experiencia de cursar y concluir la Licenciatura; durante este proceso se presentaron tropiezos y dificultades mas siempre estuviste a mi lado apoyándome para salir adelante. Por darme una familia la cual siempre estuvo apoyándome incondicionalmente en todo momento.*

*A mis padres Emilio Silva Flores y Margarita Marcelo Ramírez que me brindaron educación, confianza y respeto durante mi formación educativa.*

*Hacer especial mención a mis hermanas Leticia y Jessica por su incondicional e incomparable apoyo, ya que ellas fueron el pilar durante mi formación académica. De igual manera agradecer a mis demás hermanos Maribel, Samuel, Lizbeth y Joel por su apoyo durante este proceso.*

**Con mucho cariño, Gracias.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios y a mi familia por haberme dado la oportunidad de cursar una licenciatura.

Al Dr. Rolando Rojo Rubio no sólo por haber hecho posible la realización de éste trabajo de tesis, también por sus consejos y conocimientos brindados durante mi formación profesional, los cuales siempre me sirvieron para mejorar.

Agradezco a todas aquellas personas que participaron en la realización del trabajo experimental, ya que fueron punto importante, gracias por su entrega y dedicación que hicieron posible que este trabajo terminara exitosamente.

A mis profesores que compartieron sus conocimientos y experiencias durante mi formación profesional, igualmente agradezco a mis compañeros, en especial a Misael y Sabino por su amistad y compañerismo.

# ÍNDICE

|   | Página |
|---|--------|
| ÍNDICE DE FIGURAS.....  | I      |
| ÍNDICE DE CUADROS.....  | II     |
| RESUMEN.....  | III    |
| I. INTRODUCCIÓN.....  | 1      |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA .....  | 3      |
| 2.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA OVINOCULTURA EN MÉXICO .....                  | 3      |
| 2.2. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN .....   | 4      |
| 2.3. INVENTARIO NACIONAL .....  | 4      |
| 2.4. PRODUCCIÓN NACIONAL DE CARNE DE CORDERO .....                        | 5      |
| 2.4.1. TIPO DE CANALES OVINAS PRODUCIDAS EN MÉXICO .....                  | 7      |
| 2.5. EL MÚSCULO .....   | 9      |
| 2.5.1. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DESARROLLO MUSCULAR .....           | 11     |
| 2.5.2. CONTROL DE LA HIPERTROFIA MUSCULAR.....                            | 12     |
| 2.6. USO DE PROMOTORES DE CRECIMIENTO EN LA ALIMENTACIÓN DE CORDEROS..... | 14     |
| 2.7. MODIFICADORES DEL METABOLISMO .....                                  | 14     |
| 2.8. B-AGONISTAS ADRENÉRGICOS .....                                       | 15     |
| 2.8.1. TIPOS DE B-AGONISTAS ADRENÉRGICOS.....                             | 17     |
| 2.8.1.1. CLENBUTEROL.....   | 17     |
| 2.8.1.2. ZILPATEROL.....  | 18     |
| 2.8.1.3. RACTOPAMINA .....  | 19     |

|   |    |
|---|----|
| 2.9. MODO DE ACCIÓN DE LOS B-AGONISTAS ADRENÉRGICOS.....  | 19 |
| 2.9.1 RECEPTORES B- ADRENÉRGICOS .....  | 21 |
| 2.9.2. EFECTOS EN EL TEJIDO ADIPOSO .....   | 23 |
| 2.9.3. EFECTOS EN EL MÚSCULO ESQUELÉTICO.....   | 25 |
| 2.9.4. EFECTOS INDIRECTOS .....   | 26 |
| 2.9.5. FIBRAS MUSCULARES .....  | 28 |
| 2.10. FARMACOCINÉTICA DE LOS B-AGONISTAS ADRENÉRGICOS.....  | 29 |
| 2.11. RESIDUOS DE LOS B-AGONISTAS ADRENÉRGICOS EN TEJIDOS .....   | 32 |
| 2.12. CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL .....   | 33 |
| 2.13. FACTORES QUE DETERMINAN LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL .....   | 33 |
| 2.13.1. FACTOR GENÉTICO .....   | 34 |
| 2.13.2. FACTOR NUTRICIONAL.....   | 35 |
| 2.13.3. FACTOR PESO AL SACRIFICIO, EDAD Y SEXO .....  | 36 |
| 2.13.4. FACTORES EXÓGENOS (MANIPULACIÓN).....   | 38 |
| 2.14. CARNE .....   | 39 |
| 2.14.1. COLOR .....   | 39 |
| 2.14.2. PH .....  | 40 |
| 2.15. EFECTO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL EN LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS<br>Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE CORDEROS ..... | 42 |
| 2.16. RENTABILIDAD DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL.....   | 43 |
| 2.17. DESVENTAJAS DEL USO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL .....   | 44 |
| III. JUSTIFICACIÓN .....  | 45 |
| IV. HIPÓTESIS .....   | 48 |

|  |    |
|--|----|
| V. OBJETIVOS .....                                       | 49 |
| 5.1. GENERAL.....  | 49 |
| 5.2. PARTICULARES .....                                  | 49 |
| VI. MATERIALES Y MÉTODOS .....                           | 50 |
| 6.1. ANIMALES, MANEJO Y ALIMENTACIÓN .....               | 50 |
| 6.2. TRATAMIENTOS .....                                  | 51 |
| 6.3. CAPTURA DE DATOS .....                              | 51 |
| 6.4. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL ..... | 53 |
| 6.5. DISEÑO EXPERIMENTAL .....                           | 60 |
| 6.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....                           | 62 |
| VII. RESULTADOS .....                                    | 63 |
| 7.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL.....                    | 63 |
| 7.2. NO-COMPONENTES DE LA CANAL.....                     | 63 |
| 7.3. CORTES DE LA CANAL.....                             | 63 |
| VIII. DISCUSIÓN .....                                    | 70 |
| IX. CONCLUSIONES .....                                   | 74 |
| X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                       | 75 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   | Pagina |
|---|--------|
| Figura 1. Inventario nacional ovino.  | 5      |
| Figura 2. Producción nacional de carne ovina.   | 7      |
| Figura 3. Activación de los receptores $\beta$ - adrenérgicos.                        | 20     |
| Figura 4. Modo de acción de los $\beta$ -Agonistas Adrenérgicos en el tejido adiposo. | 24     |
| Figura 5. Modo de acción general de los $\beta$ -Agonistas Adrenérgicos.              | 27     |
| Figura 6. Estructura de $\beta$ -Agonistas Adrenérgicos.                              | 30     |
| Figura 7. Mediciones morfométricas de la canal.                                       | 58     |
| Figura 8. Cortes de la canal.   | 59     |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  | Pagina |
|--|--------|
| Cuadro 1. Características de la canal ovina producida en México.   | 8      |
| Cuadro 2. Mediciones morfométricas en canales ovinas procedentes de tres sistemas de producción en México. | 9      |
| Cuadro 3. Proporción de tipo de fibras musculares presentes en el ganado <i>Bos Taurus</i> .               | 28     |
| Cuadro 4. Porcentaje de tipo de fibra muscular presente en los músculos.                                   | 29     |
| Cuadro 5. Matriz de consistencia experimental.   | 47     |
| Cuadro 6. Ingredientes y composición química de la dieta experimental.                                     | 52     |
| Cuadro 7. Efecto de la dosis de clorhidrato de zilpaterol sobre las características de la canal.           | 65     |
| Cuadro 8. Efecto de la dosis clorhidrato de zilpaterol sobre los no-componentes de la canal.               | 67     |
| Cuadro 9. Efecto de la dosis de clorhidrato de zilpaterol sobre los cortes primarios de la canal.          | 69     |

## RESUMEN

Se realizó una prueba de comportamiento dónde 16 corderos de pelo con un peso inicial de  $35.85 \pm 3.3$  kg, fueron suplementados con clorhidrato de zilpaterol (CZ) los últimos 27 días de finalización en corral, con cuatro distintos tratamientos (0.0, 4.8, 6.0, 7.2 mg CZ/kg MS), con el objetivo de evaluar las características de la canal, cortes primarios, vísceras verdes vacías y vísceras rojas. El CZ fue suministrado mediante la marca comercial GroFactor®. Se utilizó una dieta calculada en 15.4 % PC y 2.7 Mcal EM/ kg MS. Los animales fueron asignados bajo un diseño de bloques completos al azar, con un total de 4 bloques y cuatro repeticiones por tratamiento. Los datos fueron analizados mediante contrastes ortogonales. Se observó que el peso de la canal caliente y peso de la canal fría mostraron un comportamiento lineal ( $P=0.012$ ); mientras que el rendimiento de la canal fue superior sólo en la dosis más alta (7.2 mg CZ/kg MS) ( $P=0.029$ ); la conformación muscular fue mejorada sólo en la dosis 6 mg/kg MS ( $P=0.015$ ); el perímetro de la pierna y grupa mostraron un comportamiento cuadrático ( $P<0.04$ ), teniendo el valor más alto dosis intermedias; las demás variables de la características de la canal como grasa subcutánea, grasa peri-renal y terminación no fueron modificadas por el clorhidrato de zilpaterol ( $P>0.05$ ). Se determinó que el clorhidrato de zilpaterol disminuyó de forma lineal el valor de las patas posteriores ( $P=0.021$ ); sin embargo, las vísceras verdes vacías, vísceras rojas, cabeza y salea expresados como porcentaje del peso vivo al sacrificio no fueron afectados ( $P>0.05$ ). Finalmente, el porcentaje de las piernas mostraron un efecto cuadrático ( $P<0.023$ ), mostrando un efecto negativo al tener su valor más bajo y únicamente significativo ( $P<0.05$ ) en la dosis más alta 7.2 mg CZ/kg MS. En conclusión, el clorhidrato de zilpaterol mejoró el peso de la canal caliente, canal fría y rendimiento de la canal; se observó un efecto negativo en el valor relativo de la pierna y no afectó los no-componentes de la canal.

**Palabras clave:** ovinos, clorhidrato de zilpaterol, mejorar, características de la canal.

## I. INTRODUCCIÓN

Existe una amplia gama de factores que intervienen y permiten acelerar el crecimiento muscular de los ovinos. Éstas incluyen estrategias genéticas de selección, nutrición, manejo, medio ambiente y manipulación exógena. Dentro del punto de la manipulación exógena el uso de los promotores del crecimiento y específicamente el empleo de los beta agonistas adrenérgicos ( $\beta$ -AA). Estas técnicas de manipulación han dado lugar a una revolución tecnológica para alterar el crecimiento y desarrollo de animales productores de carne (Solomon, 2004).

El mejoramiento genético es una herramienta excelente, pero la limitante en la ovinocultura nacional es el pobre desarrollo que ha tenido esta especie, además de ser un proceso que requiere de mucho tiempo. Por tal motivo una de las vías más conveniente a corto plazo para mejorar el comportamiento productivo de los animales es el uso de  $\beta$ -AA a causa de que sus efectos son inmediatos, particularmente el clorhidrato de zilpaterol.

Los  $\beta$ -AA son compuestos potentes que causan una repartición significativa de la energía, reduciendo la lipogénesis, y aumentando la glucogenólisis, lipólisis a la vez que aumentan la perfusión sanguínea dando como resultado mayor cantidad de sustratos en el músculo para la síntesis y adición proteica en el mismo (Mersmann, 1998). Además, los costos de la alimentación pueden reducirse con el uso de los  $\beta$ -adrenérgicos agonistas ya que tienden a mejorar la eficiencia alimenticia de los animales (Rebollar *et al.*, 2015). Las características de la canal fueron superiores cuando los animales fueron alimentados con clorhidrato de zilpaterol ya que mostraron mejores rendimientos de la canal y menos cobertura de grasa (Ricks *et al.*, 1984).

La gran variabilidad de resultados obtenidos de experimentos en los cuales fue probado el uso del clorhidrato de zilpaterol han generado dudas sobre su efecto positivo, la variabilidad de estos resultados está en función de la dosis utilizada y tiempo en el que el clorhidrato de zilpaterol fue empleado.

Este trabajo tiene como objetivo adicionar información a las investigaciones realizadas en torno al efecto del clorhidrato de zilpaterol en la alimentación de los ovinos. Por lo que se evaluó el impacto del clorhidrato de zilpaterol sobre las características de la canal, cortes primarios, vísceras verdes vacías y vísceras rojas en ovinos de pelo bajo condiciones completamente controladas.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. SITUACIÓN ACTUAL DE LA OVINOCULTURA EN MÉXICO

En México, la cría de ovinos ha formado parte de la cultura de los productores del campo. La industria ovina a lo largo de los años ha cambiado en función de la distribución de la tierra y de sus objetivos de producción. En el siglo pasado México exportaba lana, carne y piel cuando las condiciones de posesión de la tierra permitieron practicar una ovinocultura extensiva, trashumante y con grandes rebaños de borregos productores de lana. Al paso de los años y con la redistribución de la tierra a mediados del siglo pasado, la población ovina se redujo considerablemente cambiando también el tamaño de los rebaños (AMCO, 2007).

Cuellar *et al.* (2012), señala que el 70% de la ovinocultura nacional se encuentra en manos de personas de bajo poder adquisitivo. Del total de ovinocultores en México el 9.6% de ellos disponen de menos de 1 hectárea de superficie, el 46.6% tiene entre 1-5 hectáreas, el 14.1% tiene entre 6-10 hectáreas, el 18.9% dispone de entre 11-50 hectáreas y sólo el 10.8% cuenta con más de 50 hectáreas. Esto limita la producción debido a la poca superficie para pastoreo, por lo que los costos de producción son elevados, obligando a la mayoría de los ovinocultores a pastorear en terrenos comunales. El 76% de los ovinocultores dicen que entre 1-20 hectáreas que disponen son de uso comunal.

Debido a que la mayoría de los ovinos son atendidos por niños y ancianos los sistemas de producción en México son poco rentables y no muy organizados ya que sólo el 35.7% de los ovinocultores realizan algún tipo de identificación y sólo el 20% realiza registros reproductivos (Cuellar *et al.*, 2012).

## **2.2. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**

En México, se tienen registradas alrededor de 53,000 unidades de producción ovina, que están distribuidas aproximadamente de la siguiente forma: 53% en el centro, 24% en el sur-sureste y 23% en el norte. La ovinocultura de carne se desarrolla bajo un esquema de tipo regional, en la zona central se producen carne y pieles con razas de lana como Suffolk, Hampshire, Rambouillet y Dorset y de pelo (Katahdin, Dorper y Pelibuey), la región sur-sureste se orienta principalmente a la producción de carne con razas de pelo (Pelibuey, Blackbelly, Katahdin y Dorper) y produce un poco de lana para uso artesanal con animales criollos en Oaxaca y Chiapas, y la zona norte ahora se dedica a la producción de carne, no obstante fue la principal proveedora de lana en épocas pasadas, por lo que aún se mantiene una población de animales de la raza Rambouillet, pero más recientemente se han introducido razas de pelo como Pelibuey, Katahdin y Dorper (Cuellar *et al.*, 2012).

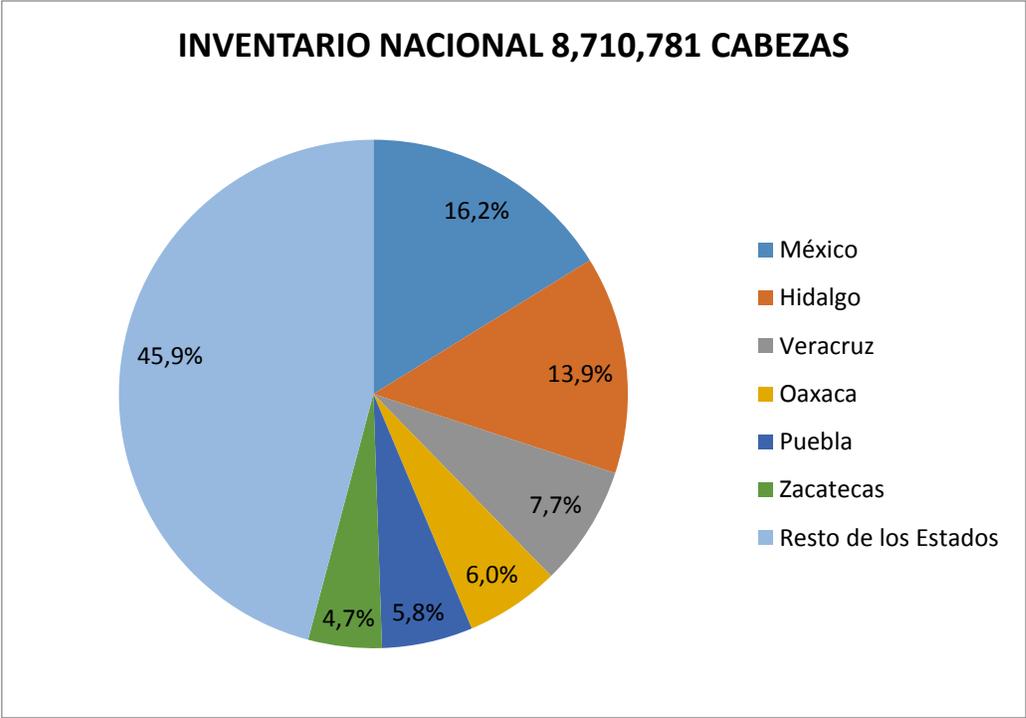
En cuanto a la genética, el 51% de los ovinocultores cuentan con raza criolla al no tener definido un objetivo de producción; el 34.5% cuenta con cruza de Pelibuey, Katahdin, Dorper y Blackbelly; en cuanto a las razas de lana, el 13% cuenta con Suffolk y el 5% con Hampshire. El 53% de los ovinocultores ven la cría de ovinos como un sistema de ahorro y autoconsumo (Cuellar *et al.*, 2012).

## **2.3. INVENTARIO NACIONAL**

En los inicios del siglo pasado, cuando se fraccionaron las grandes superficies de pastoreo, transformándolas en áreas de cultivo, así como por la atomización de los rebaños ovinos, se afectó en gran medida a la producción y productividad nacional, marginándola a los sectores más pobres de la población, orientados básicamente a explotaciones de subsistencia. Sin embargo, en la actualidad la población ovina ha tenido un crecimiento importante (Cuellar *et al.*, 2012).

Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP (2015) la población nacional ovina fue de 8,710, 381 millones cabezas, cabe destacar que el Estado de México y Hidalgo participaron con el 31.1 % de la población nacional. En la figura 1, se muestra como está distribuida la población nacional en cada estado.

**Figura 1. Inventario nacional ovino**



SIAP (2015).

### 2.4. PRODUCCIÓN NACIONAL DE CARNE DE CORDERO

La producción ovina ocupa uno de los últimos lugares de la producción pecuaria a nivel nacional, pero no por eso deja de ser importante. En la zona centro del país donde existe la mayor concentración poblacional de ovinos representa un alto valor al constituir un aporte económico importante al campesino de escasos recursos (Cuellar *et al.*, 2012).

La Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero FND (2015) menciona que la producción de ovino (carne y lana) genera el 0.9% del valor total del subsector pecuario. En el año 2013 se obtuvieron por este concepto 3,000 mdp, de los que el 99% correspondió a producción de carne en canal y el 1% por concepto de lana sucia. Para 2014 se estima que se obtuvieron poco más de 3,100 mdp.

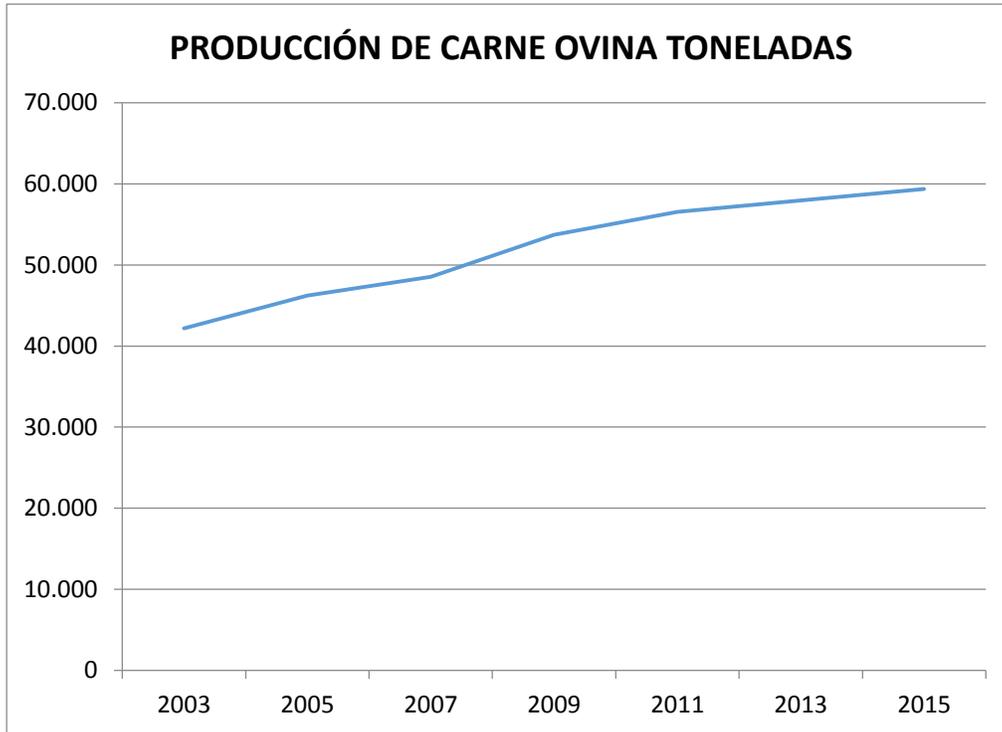
En el país la población ovina creció en el periodo de 2006-2015 un 19.53 %, teniendo en la actualidad 8, 710 781 millones de cabezas (SIAP, 2015). Las importaciones de ovinos son principalmente para abasto y en el año 2014 alcanzaron las 23 mil cabezas con un valor de 3 mdd. Las exportaciones de carne de ovino no son significativas, mientras que las importaciones han descendido fuertemente en los últimos diez años, a un ritmo de casi 15% anual. Para 2014 llegaron a poco más de 11 mil toneladas con un valor de 52 mdd (FDN, 2015). En la figura 2 se muestra la producción nacional de carne ovina.

SIAP (2015), reporta un total de animales sacrificados de 2, 978, 060, con un total de 59, 419 toneladas de carne en canal, las cuales representaron un valor económico de 3, 664, 343, 000 pesos. Por otra parte, la venta de lana tiene un poco de importancia ya que en ese mismo año hubo una producción de 4 975 toneladas, con un valor económico de 22, 737, 000 pesos.

Según datos de la OCDE-FAO (2016), la producción nacional en el 2016 fue de 59 mil toneladas, y el consumo nacional de 75 mil toneladas. Por lo que México importa anualmente 16 mil toneladas de carne, la producción nacional sólo cubriría el 78.6 % del consumo nacional.

Las importaciones de carne congelada que hace nuestro país, provienen de Australia y Nueva Zelanda (89%), Estados Unidos (9%) y Chile (2%), mientras que el ganado en pie proviene de Estados Unidos (92%), Canadá (2%) y Australia (6%). Aunque recientemente, la introducción de ganado en pie de Estados Unidos se ha restringido debido a problemas sanitarios (UNO, 2016).

**Figura 2. Producción nacional de carne ovina**



SIAP (2015).

#### **2.4.1. TIPO DE CANALES OVINAS PRODUCIDAS EN MÉXICO**

Con las intenciones de conocer las características de las canales ovinas producidas en México, Partida *et al.*, (2017) realizó un muestreo en 14 entidades federativas del país de las cuales destacan los estados de la zona centro, al tener la mayor participación de la producción nacional, en total fueron sacrificados 1,000 animales de diferentes razas tanto puras como sistemas de cruzamiento, pesos, sexos y sistemas de producción. Del total de los animales sacrificados para medir las características de la canal el 82.2 % fueron machos enteros y el 17.8 % fueron hembras. En total se identificaron 53 genotipos, de los cuales fueron 42 tipos cruzamientos diversos y 11 líneas puras. Los datos obtenidos por este autor se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro 1. Características de la canal ovina producida en México**

| Variable   | Sistema de producción |                       |                       |                       |                       |                       |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|  | Extensivo             |                       | Semiintensivo         |                       | Intensivo             |                       |
|  | Hembras               | Machos                | Hembras               | Machos                | Hembras               | Machos                |
| Peso matanza, kg                                   | 34.8±9.7 <sup>d</sup> | 37.8±7.7 <sup>c</sup> | 42.1±4.7 <sup>b</sup> | 43.9±6.6 <sup>a</sup> | 41.0±5.0 <sup>b</sup> | 44.9±5.8 <sup>a</sup> |
| Peso canal fría, kg                                | 19.0±5.7 <sup>c</sup> | 20.1±5.7 <sup>b</sup> | 17.4±1.4 <sup>d</sup> | 20.6±3.1 <sup>b</sup> | 22.6±3.3 <sup>a</sup> | 22.8±3.3 <sup>a</sup> |
| R*.canal fría, %                                   | 54.1±6.7 <sup>a</sup> | 53.0±7.0 <sup>b</sup> | 42.1±4.6 <sup>d</sup> | 47.0±4.5 <sup>c</sup> | 55.1±4.1 <sup>a</sup> | 50.9±4.3 <sup>a</sup> |
| Conformación                                       | 3.3±0.9 <sup>a</sup>  | 3.5±0.9 <sup>c</sup>  | 4.6±0.5 <sup>b</sup>  | 6.4±1.2 <sup>a</sup>  | 5.2±1.4 <sup>b</sup>  | 6.6±1.4 <sup>a</sup>  |
| Clasificación                                      | 3.2±0.5               | 3.0±0.6               | 2.0±0.0               | 1.8±0.5               | 2.1±0.7               | 1.7±0.7               |
| pH (24h)   | 5.3±0.2               | 5.4±0.2               | 5.6±0.2               | 5.5±0.2               | 5.5±0.2               | 5.2±0.2               |
| EGS, mm  | 2.7±1.0               | 2.4±1.7               | 3.5±1.0               | 3.0±1.2               | 3.1±1.0               | 3.2±1.6               |
| Dimensiones del músculo <i>Longissimus dorsi</i> : |                       |                       |                       |                       |                       |                       |
| Área, cm <sup>2</sup>                              | 9.0±2.2 <sup>d</sup>  | 10.3±2.3 <sup>c</sup> | 12.0±1.8 <sup>b</sup> | 14.0±2.6 <sup>a</sup> | 14.9±2.9 <sup>a</sup> | 15.6±3.6 <sup>a</sup> |
| Diámetro mayor, cm                                 | 4.0±0.1 <sup>c</sup>  | 4.0±0.0 <sup>c</sup>  | 5.4±0.3 <sup>b</sup>  | 5.5±0.5 <sup>b</sup>  | 6.4±0.4 <sup>a</sup>  | 5.5±1.3 <sup>b</sup>  |
| Diámetro menor, cm                                 | 2.8±0.3 <sup>c</sup>  | 2.8±0.0 <sup>c</sup>  | 2.8±0.3 <sup>c</sup>  | 3.0±0.5 <sup>b</sup>  | 3.5±0.4 <sup>a</sup>  | 3.4±0.8 <sup>a</sup>  |

R\*= Rendimiento, EGS= espesor de la grasa subcutánea sobre el músculo *L. dorsi*. Clasificación de acuerdo con la Norma NMX-FF-106-SCFI-2006. 1= MEX EXT; 2= MEX 1; 3= MEX 2; 4= Fuera de clasificación. Conformación: 9 = Excelente (+), 8 = Excelente, 7 = Excelente (-); 6 = Buena (+), 5 = Buena, 4 = Buena (-); 3 = Deficiente (+), 2 = Deficiente y 1 = Deficiente (-). <sup>abcd</sup> Letras distintas en el mismo parámetro indican diferencia (P<0.05).

Partida *et al.*, (2017).

**Cuadro 2. Mediciones morfométricas en canales ovinas (media  $\pm$  DE) procedentes de tres sistemas de producción en México (cm)**

| Variable        | Sistema de producción       |                             |                             |                               |                             |                             |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                 | Extensivo                   |                             | Semiintensivo               |                               | Intensivo                   |                             |
|                 | Hembras                     | Machos                      | Hembras                     | Machos                        | Hembras                     | Machos                      |
| Longitud canal  | 58.7 $\pm$ 3.4 <sup>d</sup> | 60.8 $\pm$ 1.9 <sup>c</sup> | 69.1 $\pm$ 2.4 <sup>a</sup> | 62.0 $\pm$ 2.6 <sup>c</sup>   | 64.0 $\pm$ 2.6 <sup>b</sup> | 64.2 $\pm$ 7.2 <sup>b</sup> |
| Longitud pierna | 37.5 $\pm$ 8.0 <sup>a</sup> | 31.1 $\pm$ 1.9 <sup>b</sup> | 37.3 $\pm$ 2.6 <sup>a</sup> | 31.3 $\pm$ 6.6 <sup>b</sup>   | 38.1 $\pm$ 4.9 <sup>a</sup> | 36.5 $\pm$ 9.4 <sup>a</sup> |
| Perímetro grupa | 59.5 $\pm$ 5.2 <sup>b</sup> | 57.0 $\pm$ 9.1 <sup>c</sup> | 61.2 $\pm$ 2.0 <sup>b</sup> | 66.9 $\pm$ 6.5 <sup>a</sup>   | 64.7 $\pm$ 3.4 <sup>a</sup> | 64.7 $\pm$ 6.6 <sup>a</sup> |
| Ancho grupa     | 19.9 $\pm$ 2.7              | 21.7 $\pm$ 2.4              | 19.0 $\pm$ 0.1              | 21.4 $\pm$ 2.6                | 20.4 $\pm$ 2.1              | 21.1 $\pm$ 2.2              |
| A. mayor tórax  | 22.5 $\pm$ 2.8              | 21.7 $\pm$ 2.2              | 22.1 $\pm$ 2.4              | 22.9 $\pm$ 2.5                | 23.7 $\pm$ 2.6              | 24.4 $\pm$ 2.9              |
| A. menor tórax  | 18.3 $\pm$ 0.4              | 17.7 $\pm$ 1.7              | 16.0 $\pm$ 1.5              | 16.9 $\pm$ 2.4                | 18.1 $\pm$ 2.3              | 18.0 $\pm$ 2.0              |
| Perímetro tórax | 60.3 $\pm$ 3.4 <sup>c</sup> | 60.7 $\pm$ 2.4 <sup>c</sup> | 70.4 $\pm$ 5.5 <sup>b</sup> | 61.1 $\pm$ 10.15 <sup>c</sup> | 65.3 $\pm$ 8.4 <sup>b</sup> | 65.7 $\pm$ 8.4 <sup>b</sup> |
| PIT             | 26.3 $\pm$ 2.9              | 23.0 $\pm$ 2.1              | 28.9 $\pm$ 2.3              | 24.8 $\pm$ 4.0                | 27.7 $\pm$ 5.2              | 26.5 $\pm$ 4.8              |
| ICC             | 0.31 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup> | 0.33 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup> | 0.25 $\pm$ 0.2 <sup>d</sup> | 0.34 $\pm$ 0.7 <sup>b</sup>   | 0.36 $\pm$ 0.5 <sup>a</sup> | 0.36 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup> |

PIT= profundidad interna de tórax; ICC = Índice de compacidad de la canal [peso de la canal fría / longitud]. <sup>abcd</sup> Letras distintas en el mismo parámetro indican diferencia (P<0.05).

Partida *et al.*, (2017).

Partida *et al.* (2017), menciona que a pesar de que en promedio las características de las canales son buenas, existe una gran variabilidad entre los distintos datos de cada variable, debido a grandes diferencias genotípicas, sexo y peso al sacrificio lo cual puede traer problemas al sector cuando se piensa en cambiar a un mercado formal, por lo que se debería redirigir la producción de manera que se puedan tener canales más uniformes.

## 2.5. EL MÚSCULO

El cuerpo del animal está formado por tres principales tipos de músculos, clasificados de esta manera por sus diferentes características.

Músculo esquelético. Se reconocen por las características de estriación o patrón de bandas de sus fibras musculares, por el hecho de que sus células son multinucleadas con los núcleos localizados periféricamente bajo la membrana, llamada sarcolema. Las fibras tienen aproximadamente 50  $\mu$  de diámetro transversal y son muy largas de 1-4 mm, pero generalmente las fibras no recorren la totalidad del músculo. Este tipo de músculo comprende alrededor del 40% de peso muscular y es el principal componente de la carne.

Músculo liso. Sus fibras musculares son largas, en forma de huso, gruesas en el centro y en los extremos aguzados. La longitud media de las fibras lisas es de 0.2 mm con un espesor de 6  $\mu$ . Las fibras son homogéneas y carecen de las bandas alternas claras y oscuras características del músculo estriado. Este tipo de músculo ayuda a mantener el equilibrio fisiológico interno, se encuentra en áreas como vísceras, vasos sanguíneos y linfáticos y la piel.

Músculo cardíaco. Sus fibras musculares están formadas por miofibrillas semejantes a las del músculo esquelético. El sarcoplasma es abundante y tiene más mitocondrias que el músculo esquelético (Price y Schweigert, 1994).

El músculo está compuesto por tres estratos: epimisio, perimisio y endomisio, el epimisio es la parte externa del músculo, a partir de la cara interna del epimisio surgen tabiques constituidos por tejido conectivo denso, que divide al músculo en haces musculares y fascículos, estos tabiques son denominados perimisio. Finalmente, la célula muscular está rodeada por tejido conectivo laxo y en menor proporción denso, estas láminas son el endomisio. Cada fibra muscular está constituida por una lámina basal de colágeno y glicoproteínas, entre las fibras musculares y la lámina basal se encuentran las células satélite encargadas del crecimiento muscular y reparación de las fibras musculares dañadas (Bianchi *et al.*, 2009).

Las células satélite son parte fundamental en el crecimiento postnatal, la hipertrofia (fusión con la fibra muscular para incrementar la dotación de mionúcleos),

reparación y regeneración del músculo esquelético. Las células satélite se encuentran entre la lámina basal y el sarcolema debido a que su función se relaciona íntimamente con las necesidades de la fibra muscular a la que se asocia (Luque *et al.*, 2011 citado en Agüera 2017).

La fibra muscular no es una célula sino la fusión sincitial de muchas células, la mayor parte del citoplasma contiene miofibrillas que corren longitudinalmente a lo largo de la célula. Las fibras musculares esqueléticas son ricas en retículo endoplasmático (sarcoplasmico) liso y mitocondrial, distribuido entre las miofibrillas. La fibra muscular contiene muchos núcleos y mitocondrias (sarcosomas). La existencia de muchos nucleótidos se explica porque el origen embriológico de cada fibra muscular, que surge de la fusión de numerosas células precursoras denominadas mioblastos (Lawrie, 1998).

### **2.5.1. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DESARROLLO MUSCULAR**

El crecimiento animal es un proceso complejo y altamente especializado, determinado genéticamente; regulado por factores endocrinos, ambientales y nutricionales, que puede ser alterado de manera exógena con fines productivos (Errecalde *et al.*, 2003). Existen varias herramientas que permiten mejorar el comportamiento productivo de los animales entre los cuales se encuentran control de la reproducción y el control del crecimiento mediante hormonas y tranquilizantes.

Proceso de síntesis proteica y crecimiento del músculo

1. Síntesis de aquellas moléculas proteicas complejas que son específicas del tejido y la secreción de sus componentes los aminoácidos.
2. Alineamiento preciso de las proteínas específicas dentro del peculiar elemento estructural del músculo (fibras musculares).
3. Diferenciación y desarrollo de las fibras, según el tipo de músculo y función.

Las hormonas aceleran el crecimiento de los tejidos de manera directa o indirecta, su mecanismo de acción generalmente es ejercido sobre las proteínas enzimáticas que controlan la velocidad de las reacciones químicas. Los genes de los cromosomas del núcleo celular son los responsables de sintetizar las enzimas encargadas de la construcción de proteínas. Un gen controla la síntesis de la estructura específica de una o parte de una proteína enzimática, también ejecuta la síntesis necesaria para su auto replicación, asegurando de este modo la perpetuidad de su propia estructura. La síntesis de proteína está dictaminada por el ADN pero el lugar donde son formadas las proteínas son en el citoplasma, el encargado de llevar el mensaje del núcleo a células del citoplasma es el ARNm, se sabe que la mayoría de las hormonas naturales como las administradas exógenamente tienen su efecto sobre el crecimiento muscular al regular la velocidad de biosíntesis proteica al controlar la síntesis de ARNm (Lawrie, 1998).

### **2.5.2. CONTROL DE LA HIPERTROFIA MUSCULAR**

Después de la etapa postnatal el incremento muscular es producto de la hipertrofia muscular y no de la hiperplasia, ya que el número de fibras musculares no cambian después del nacimiento. El aumento de diámetro de la fibra muscular es el resultado de un balance positivo entre la síntesis y degradación de proteína muscular (Lawrie, 1998).

El crecimiento muscular puede ser inducido al incrementar la expresión del factor de crecimiento I de la insulina y a un incremento en la insulina la cual incrementa el metabolismo de la glucosa, transporte de aminoácidos y síntesis de proteínas. Han sido empleados diferentes fármacos para incrementar la masa muscular de los animales destinados a consumo humano. Los anabólicos promotores del crecimiento causan hipertrofia muscular, el modo de acción difieren entre los diferentes compuestos. La testosterona actúa por medio de proliferación de las células satélite, además de aumentar tanto la síntesis como degradación de

proteína muscular, siendo más grande la síntesis, por lo contrario, la trenbolona aumenta la acción del factor de crecimiento I de la insulina el cual estimula las células satélite, a la vez que disminuye la degradación de la proteína. El estradiol incrementa la concentración de la hormona del crecimiento (Cronje, 2000).

El tratamiento con  $\beta$ -AA (beta agonistas adrenérgicos) causa hipertrofia muscular por una vía distinta a la estimulación de las células satélite. Esto se demuestra con iguales concentraciones de ADN ( $\mu\text{g/g}$ ) de proteína respecto al testigo. El mecanismo de estos fármacos se basa en aumentar la capacidad de la transcripción proteica al estimular el ARNm y a una disminución de la degradación de la proteína; en dos sistemas que regulan la degradación de las proteínas ambos dependientes lisosomales, el sistema autofagia (Captasinas) y el sistema calpaínas (donde intervienen tres componentes, dos tienen efecto proteolítico en concentraciones de calcio micromolar y milimolar,  $\mu$ -calpaína y m-calpaína respectivamente, y una tercera la calpastatina que tiene un efecto inhibitorio, los  $\beta_2$ -AA (beta agonistas adrenérgicos específicos de los receptores  $\beta_2$ ) aumentan la actividad de esta última (Cronje, 2000).

La fibra muscular esquelética está formada por cientos de núcleos (mionúcleos) que gobiernan determinados territorios intracelulares, concepto denominado “unidad de ADN”; para que una fibra muscular incremente su tamaño es necesaria la incorporación de nuevas unidades de ADN o mionúcleos. Dado que estos no pueden dividirse, el suministro de los nuevos mionúcleos es realizado por las células satélite. De esta manera se incrementa la capacidad para la síntesis proteica y el aumento de diámetro de la fibra (Blaauw y Reggiani 2014, citado en Agüera 2017). Sin embargo la hipertrofia no puede lograrse únicamente por un incremento de mionúcleos, sino que también a un incremento en la capacidad de transcripción proteica de los mionúcleos ya existentes (McCarthy *et al.* 2011, citado en Agüera 2017), esta última vía es estimulada por los  $\beta_2$ -AA.

## **2.6. USO DE PROMOTORES DE CRECIMIENTO EN LA ALIMENTACIÓN DE CORDEROS**

Debido a un incremento en la demanda de productos cárnicos fue necesaria la intensificación de sistemas de producción de bovinos, ovinos, y porcinos carne, cuyo principal objetivo es incrementar la producción de carne en el menor tiempo posible y con el menor costo, además de que el producto resultante sea de calidad teniendo menos contenido de grasa (Bohorov 1995, citado en Romero 2011).

El empleo de promotores de crecimiento en la alimentación animal permite mejorar las tasas de crecimiento y la disminución de los índices de consumo. Comúnmente se conoce como promotor de crecimiento a toda aquella sustancia que no es vital para la función biológica pero que es capaz de aumentar la velocidad de crecimiento o mejorar la conversión alimenticia; dentro de estas sustancias se encuentran antibióticos, enzimas, ácidos grasos, hormonas, modificadores del metabolismo o agentes repartidores de energía representando a este grupo último están los  $\beta$ -AA y la hormona del crecimiento (Sumano y Ocampo, 1997) y (Fardo *et al.*, 2011).

Una de las condicionantes de los promotores de crecimiento es la inocuidad, es decir, estas sustancias no deben poner en riesgo la salud de los animales que lo ingieren ni mucho menos la salud de las personas que consumen los productos y derivados de esos animales (Sumano y Ocampo, 1997).

## **2.7. MODIFICADORES DEL METABOLISMO**

Una de las alternativas que permiten mejorar la producción y eficiencia de los animales se encuentra en la manipulación del sistema endócrino importante en la regulación de la velocidad de crecimiento (Lortie, 2002). Conocidos también como agentes repartidores de nutrientes, se conocen así a las sustancias que redireccionan los nutrientes destinados a síntesis de tejido adiposo hacia la síntesis de proteína muscular, de este modo permiten mejorar el comportamiento productivo

y las características de la canal de los animales a los que se les suministran estas sustancias. Dentro de este grupo se encuentran la hormona del crecimiento y los  $\beta$ -AA, este último tiene dos cualidades muy importantes aumentar la masa muscular a través de una mayor síntesis de proteínas y disminuir la cantidad de grasa en las canales causado por un aumento de la lipólisis y una disminución de la lipogénesis.

Ricks *et al.* (1984), menciona que la repartición de nutrientes mejora la eficiencia del animal. La energía requerida para la síntesis de proteína y grasa es aproximadamente igual, sin embargo, el músculo contiene más agua que el tejido adiposo, por lo tanto la cantidad de energía para sintetizar 1 kg de tejido adiposo es mucho más alta que la requerida para sintetizar 1 kilogramo de músculo. Así que tras el redireccionamiento de nutrientes la cantidad de energía ingerida requerida para sintetizar un kilogramo de muscular en lugar de 1 kg de grasa será menor, resultando en incremento de la eficiencia animal.

Los efectos de los modificadores del metabolismo se basan en como el animal utiliza los nutrientes absorbidos. Dentro de los modificadores del metabolismo animal el más utilizado en la producción de bovinos y ovinos carne son los  $\beta_2$ -AA (NRC, 1994).

## **2.8. $\beta$ -AGONISTAS ADRENÉRGICOS**

En la farmacología en el año de 1903 se describió el uso de la epinefrina o adrenalina. La isoprenalina o isoproterenol, un análogo de la adrenalina fue descubierta a finales de 1930 se caracterizaba por tener un potente efecto broncodilatador y estimulación cardíaca. En la actualidad los fármacos  $\beta_2$  agonistas de acción intermedia son utilizados para el tratamiento de crisis asmática en la clínica humana (Rodrigo y Rodrigo, 2002).

Moody *et al.* (2000), menciona que el uso de las catecolaminas en especial la adrenalina sucede en 1960, cuando se aplicaba en cerdos de manera subcutánea

a razón de 0.5 mg/ día por un periodo de 14 días, teniendo efecto en la reducción de grasa de la canal. La historia de los  $\beta$ -AA análogos de las catecolaminas con fines zootécnicos inicia en 1980 usando modelos binomiales en roedores y posteriormente se utilizó el clenbuterol en bovinos con el objetivo de mejorar la cantidad de músculo en la canal y disminución del contenido de grasa (Ricks *et al.*, 1984).

Los  $\beta$ -AA son compuestos sintéticos parecidos en estructura y función a la de las catecolaminas, hormonas que se encuentran de manera natural en los mamíferos, las catecolaminas (dopamina, norepinefrina y epinefrina) son una de las principales hormonas reguladoras del metabolismo, encargadas de regular la velocidad y contracción del corazón, disminuyen la motilidad y secreciones de varias porciones del tracto gastrointestinal, causan bronco dilatación, disminuyen la secreción de insulina, ejercen un rol importante en concentración de dos sustratos importantes la glucosa y ácidos grasos libres. Las catecolaminas aumentan la concentración de glucosa en sangre a través de dos vías la glucogenólisis y gluconeogénesis; su acción lipolítica es a causa de hidrólisis de los triglicéridos por medio de la enzima lipasa-hormono sensible (NRC, 1994). Errecalde (2003), menciona que los  $\beta$ -AA mimetizan la función de las catecolaminas, por lo que ejercen las mismas funciones metabólicas respecto a la lipólisis y glucogenólisis e incluso su efecto puede llegar a ser más potente.

La norepinefrina es una catecolamina del sistema nervioso simpático, es sintetizada a partir de la tirosina, esta se encuentra en el suero en cantidades altas, es secretada por la corteza suprarrenal y nervios simpáticos. La epinefrina es sintetizada y secretada únicamente por la medula adrenal, y se encuentra en concentraciones más bajas que la norepinefrina en la mayoría de los mamíferos, pero durante el estrés, ésta normalmente responde en mayor medida que la norepinefrina. La epinefrina es sintetizada a partir de la norepinefrina y es un producto de la metilación de la norepinefrina (Mersmann, 1998 y Errecalde, 2003).

En su estructura química, los  $\beta$ -AA poseen un anillo aromático de benceno que es importante por ser el que les proporciona una actividad biológica definida. La mayoría de este tipo de agonistas se biotransforman y se inactivan rápidamente por efecto de las enzimas catecol-O-metil-transferasa tisulares, las cuales metilan los hidroxilos en su anillo aromático, tal es el caso del isoproterenol y la dobutamina (Sumano *et al.*, 2002).

La definición de los  $\beta$ -AA es la siguiente:  $\beta$ - debido a que actúan en los adenoreceptores tipo  $\beta$ , adrenérgicos por que actúan en los receptores adrenérgicos y agonistas debido a que son sustancias capaces de formar un enlace con los receptores de las células desencadenando una acción determinada. En este caso los  $\beta$ -AA modifican el crecimiento aumentando la síntesis de músculo esquelético y disminuyendo la síntesis de tejido adiposo, en algunos casos mejoran la conversión alimenticia y la ganancia de peso diaria. Esta respuesta fisiológica es producida cuando los  $\beta$ -AA se enlazan a los receptores  $\beta$ -adrenérgicos ( $\beta$ -AR) (Mersmann, 1998).

## **2.8.1. TIPOS DE $\beta$ -AGONISTAS ADRENÉRGICOS**

### **2.8.1.1. Clenbuterol**

El clorhidrato de clenbuterol es un aditivo sintético análogo de la adrenalina. Químicamente se describe como polvo blanco, anhidro, muy soluble en agua y altamente estable a temperatura ambiente, su punto de fusión es de 174-175.5 °C. Es un amino 4 amino alfa T butilamino metil 3, 5 diclorobenzil alcohol (Ishikawa, *et al.*, 2009). Tiene la capacidad de interactuar con receptores adrenérgicos, generalmente del tipo  $\beta$ 2 (Mersmann, 1998).

La NORMA Oficial Mexicana NOM-061-ZOO-1999 prohíbe el uso del clenbuterol, debido a los riesgos zoonosológicos y de salud pública que representa al consumir carne procedente de animales alimentados con dicho fármaco, sobre todo cuando se consumen algunos órganos como el hígado el cual contiene altos niveles de residuos de clenbuterol (Valladares *et al.*, 2015), por lo cual el uso del clenbuterol

sólo está autorizado para uso terapéutico aprobado en el ámbito nacional, tal como la tocólisis o como una terapia complementaria en las enfermedades respiratorias.

### **2.8.1.2. Zilpaterol**

Físicamente es un polvo blanco con granulometría controlada, altamente soluble y estable a temperatura ambiente. Al ser soluble se absorbe a tan sólo 12 horas después de su consumo. Después de ser metabolizado es rápidamente excretado, en 48 horas el 98 % de la dosis consumida es eliminada por medio de la orina. Se recomienda un periodo de retiro de 72 horas para asegurar que el 99% de la dosis haya sido excretada. El clorhidrato de zilpaterol no es un aditivo tóxico para el consumidor final, no produce mutaciones, ni genotoxicidad y no afecta en la reproducción (Merck y Dohme 2015<sup>a</sup>, citado en Vargas y Longo 2017).

El clorhidrato de zilpaterol es un agonista de los receptores adrenérgicos- $\beta_2$  ( $\beta_2$ -AA) que se emplea como promotor del crecimiento en especies de ganado bovino. Su función es aumentar la carne magra. Se administra por vía oral al ganado durante los últimos 20 días, después de este tiempo pierde su eficiencia. Debe de respetarse un periodo de retiro de tres días antes de sacrificar a los animales. El ganado tratado puede enviarse al matadero hasta siete días después del período de espera de tres días y mantener los beneficios relativos al rendimiento (Codex Alimentarius, 2016).

El zilpaterol es uno de los  $\beta_2$ -AA más utilizados en rumiantes específicamente en ovinos debido a su mejor respuesta en comparación con la ractopamina, Robles *et al.* (2009), al comparar ractopamina (20 ppm) con el zilpaterol (6 ppm), reporta significancias ( $p < 0.01$ ) respecto al testigo en ganancia diaria de peso y eficiencia alimenticia, pero el efecto el más grande en el zilpaterol (+10 %) respecto a la ractopamina. En las características de la canal no reporta diferencias, únicamente el zilpaterol disminuyó la grasa pélvico-renal ( $p < 0.01$ ). Atribuyendo esto a que los  $\beta_2$ -AR tienen más especificidad y afinidad por el zilpaterol.

### **2.8.1.3. Ractopamina**

La ractopamina es utilizada con mayor frecuencia en cerdos, el efecto que tiene este  $\beta$ -AA en la eficiencia alimenticia, consumo de alimento y características de la canal depende de la dosis utilizada, de modo que dosis de 5 ppm tiene efecto sólo en la ganancia de peso y conversión alimenticia, mientras que dosis de 20 ppm tiene efectos en la ganancia de peso, conversión alimenticia y características de la canal (Brumm *et al.* 2004, citado en Ríos *et al.*, 2010).

Lawrie (1998), menciona que la ractopamina causa un notable efecto en la síntesis de masa muscular, esto está correlacionado con un aumento de ARNm responsable de la síntesis de 1/3 de la cadena ligera de la miosina y del responsable de la síntesis de la actina.

Varios experimentos demuestran el efecto de la ractopamina en cerdos, Ríos *et al.* (2010), al utilizar dosis de 0, 5, 10, 15, 20 ppm no encuentra diferencia significativa en los parámetros productivos, en cuanto a características de la canal sólo encuentra diferencias en el peso de la pierna 14.64<sup>b</sup>, 15.6<sup>b</sup>, 15.52<sup>b</sup>, 16.34<sup>a</sup> y 16.26<sup>a</sup> para dosis de 0, 5, 15, 20 ppm respectivamente, siendo la dosis de 15 ppm la más eficiente.

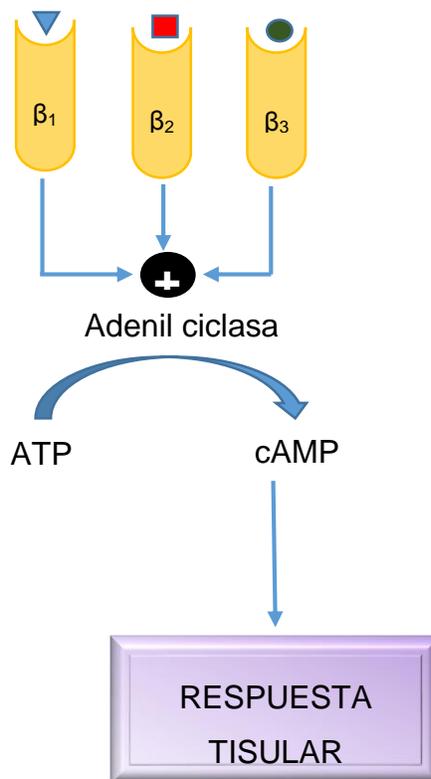
## **2.9. MODO DE ACCIÓN DE LOS $\beta$ -AGONISTAS ADRENÉRGICOS**

Mersmann (1998), menciona que el mecanismo de acción de los  $\beta_2$ -AA comienza con la activación de los receptores  $\beta$ -AR que se encuentran en la membrana plasmática; para que la señal llegue al interior de la célula es necesario un proceso denominado transducción de señal llevada a cabo por las proteínas Gs. Las subunidades  $\alpha$  de la proteína G activan la adenil ciclasa, la enzima que produce la monofosfato de adenosina cíclica (cAMP), una de las mejores moléculas de señalización intracelular. El cAMP activa a la enzima lipasa hormono sensible la cual estimulará la lipólisis.

En el tejido adiposo los  $\beta_2$ -AA activan la lipasa hormono sensible causante de un aumento en la degradación de los triglicéridos y al mismo tiempo que disminuyen la síntesis de triglicéridos. Por otro lado, los  $\beta$ -adrenérgicos pueden aumentar el flujo de sangre debido a un aumento de la frecuencia cardiaca hacia algunos tejidos favoreciendo la hipertrofia muscular al incrementar la cantidad de sustratos necesarios para la síntesis proteica (Mersmann, 1998).

El tiempo que transcurre entre la ingestión de los  $\beta_2$ -AA y el crecimiento del músculo (basado en la ganancia de peso y el tamaño de los músculos) es demasiado rápida de tan sólo 2 días, el crecimiento muscular es específico en los músculos estriados del cuarto posterior del animal donde se encuentran las fibras tipo II, el aumento de peso de estos músculos es de hasta el 30 % comparado con los testigos (Yang y McElligott, 1989).

**Figura 3. Activación de los receptores  $\beta$ - adrenérgicos**



Taleisnik (2006).

### 2.9.1 Receptores $\beta$ - adrenérgicos

El sistema nervioso simpático tiene una participación importante en la regulación homeostática, controla varias funciones fisiológicas y metabólicas mediante la interacción con receptores adrenérgicos, por ejemplo, regulan la actividad cardiaca y fuerza contráctil del corazón, el tono del músculo bronquial y la contracción uterina. Los receptores  $\beta$ -adrenérgicos se encuentran ubicados en la superficie de la membrana celular, son elementos tripartitos conformados por subunidades de reconocimiento vinculada a la proteína G (Errecalde *et al.*, 2003).

Los receptores  $\beta$ -adrenérgicos ( $\beta$ -AR) son proteínas formadas por 450 a 600 aminoácidos con un peso molecular de 40 a 50 KDa (Arias y Soria 1999, citado en Romero 2011); estos receptores se encuentran presentes en la mayoría de las células de los mamíferos, y son estimulados fisiológicamente por la epinefrina y norepinefrina, hormonas suprarrenales. Existen tres tipos de receptores  $\beta$ -adrenérgicos:  $\beta_1$  AR,  $\beta_2$  AR y el  $\beta_3$  AR. La cantidad y tipo de receptores varían según el tipo de tejido y según la especie, edad y sexo. Debido a esto los efectos observados en la administración de los  $\beta$ -AA son complejos y difíciles de entender. Algunos  $\beta$ -AA no tienen la misma afinidad en los distintos receptores y por tal motivo existen diferencias en la respuesta productiva, por ejemplo, el efecto del clenbuterol es bueno en bovinos y ovinos, intermedio en porcinos y casi nulo en aves (Mersmann, 1998).

Las catecolaminas tienen cierta especificidad a un tipo de receptores, por ejemplo, la noradrenalina tiene especificidad  $\beta_1$  AR >  $\beta_2$  AR >  $\beta_3$  AR, en cambio la adrenalina tiene especificidad  $\beta_1$  AR =  $\beta_2$  AR >  $\beta_3$  AR, pero la afinidad para unirse a los  $\beta_2$  AR es más grande en la adrenalina (Lortie, 2002).

En la mayoría de los mamíferos los  $\beta_1$  AR se encuentran en el corazón, plaquetas, glándulas salivales, tracto gastrointestinal y músculo esquelético. Los  $\beta_2$  AR se encuentran en los vasos sanguíneos, bronquios, tracto gastrointestinal y músculos esquelético y finalmente los  $\beta_3$  AR están presentes en el tejido adiposo, tracto

gastrointestinal y músculo esquelético (Moody et al., 2000); Mersmann (1998), menciona que en los músculos de los mamíferos predominan los  $\beta_2$  AR.

Los receptores  $\beta_1$  AR,  $\beta_2$  AR y el  $\beta_3$  AR se encuentran en diferentes proporciones en los tejidos, el receptor  $\beta_2$  AR es el que se ha estudiado más a fondo ya que es el principal receptor en el que actúan los  $\beta$ -AA. En un estudio realizado en roedores se demostró que la activación de la cAMP era estimulada principalmente por los  $\beta_2$  AR y sólo contribuía de una manera poco significativa los  $\beta_1$  AR y ningún efecto para los  $\beta_3$  AR (Roberts y Summer 1998 citado en Lortie 2002). En ovinos, los receptores  $\beta_1$  y  $\beta_2$  coexisten en el bíceps posterior y en el área del músculo del *Longissimus dorsi* (Domínguez et al., 2009).

En la mayoría de los mamíferos y en especial en los músculos estriados los receptores dominantes son lo  $\beta_2$  AR, los  $\beta$ -AA tiene afinidad y especificidad sobre este tipo de receptores, por lo que el crecimiento muscular se encuentra específicamente en este tipo de músculos (Yang y McElligott, 1989 y Mersmann, 1998).

Taleisnik (2006), menciona que la exposición continua de los  $\beta$ -AA a los receptores produce una rápida atenuación a la respuesta del receptor, esto permite a la célula responder óptimamente a mínimas variaciones hormonales, este proceso es denominado desensibilización (down-regulation) del receptor y esta puede ser de dos tipos. Desensibilización homóloga cuando la exposición prolongada de un agonista lleva a la disminución de la función de su propio receptor y desensibilización heteróloga cuando la exposición de un agonista produce una disminución de su función del propio, así como de sus receptores.

La desensibilización del receptor es la consecuencia de la combinación de diferentes mecanismos que influyen en el desacople del receptor de las moléculas G por fosforilación del receptor llevado a cabo por quinasas intracelulares y por la internalización del receptor de la superficie celular a compartimientos membranosos intracelulares y a una disminución de la síntesis del receptor (Taleisnik, 2006), en el

caso de los  $\beta_2$ -AA la desensibilización es causada por una la fosforilación del receptor por las proteína kinasa A (PKA) en este caso simplemente no hay unión ligando receptor, existen otro grupo de kinasas como la kinasa del receptor  $\beta$ -AR la cual fosforila a los receptores acoplados a las proteínas G, lo cual impide que la señal del ligando llegue al interior de la célula (Lortie, 2002). Si ocurre un incremento en la cantidad de ligando, el correspondiente incremento en cAMP conduce a la fosforilación y desensibilización de más receptores, de modo que la producción de cAMP y las consiguientes respuestas activadas por éste permanecen más o menos constantes. Si el ligando desaparece, el receptor pasará a estar completamente desfosforilado y a un estado de alta sensibilidad, en cuyo caso podrá responder a concentraciones muy bajas de ligando.

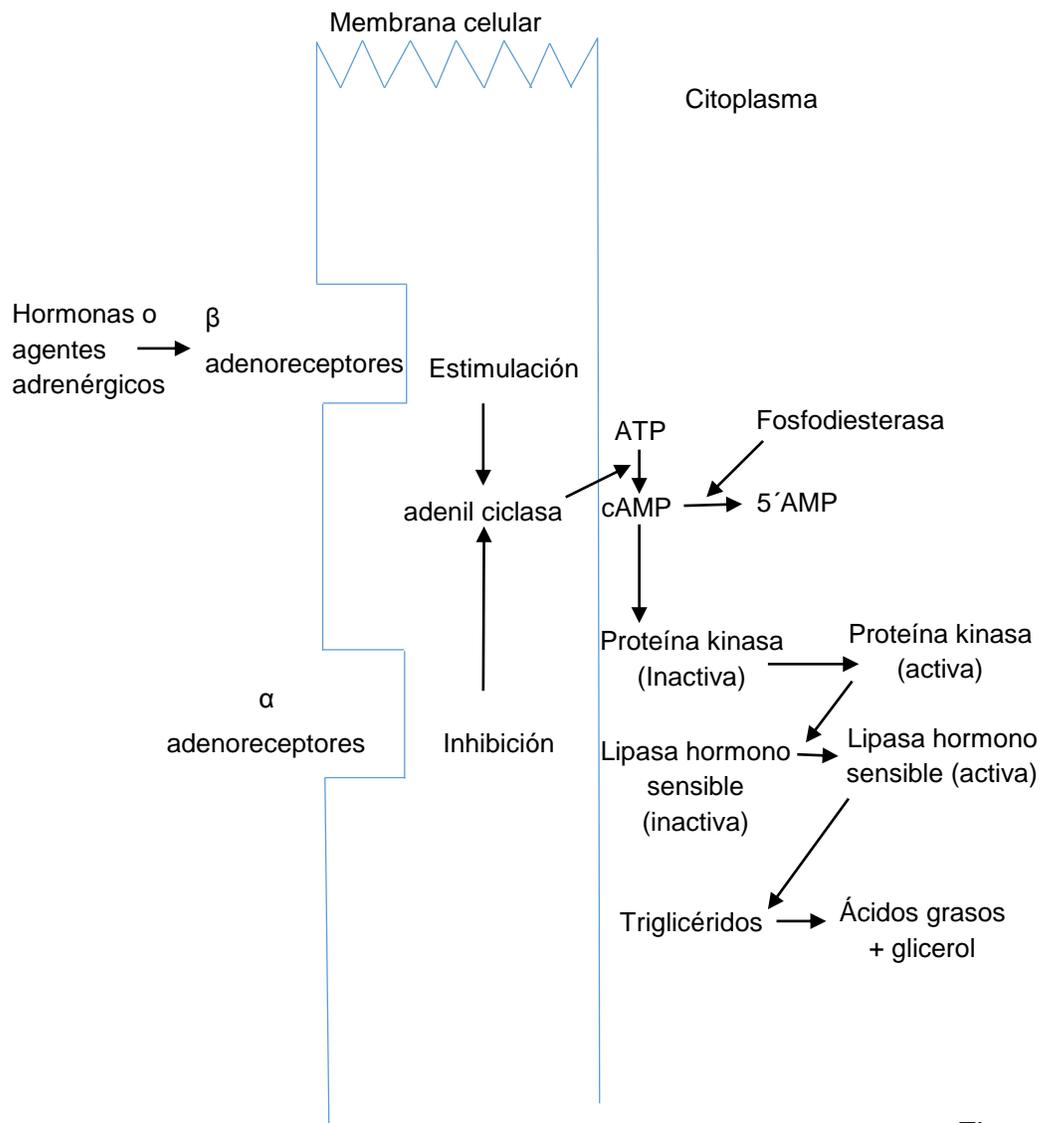
La desensibilización de los receptores depende la concentración de ligando y del tiempo de exposición al ligando, si la exposición es corta, pero a grandes cantidades los receptores son capturados en el interior de la célula, en cambio si la exposición es crónica los receptores serán fosforilados, la desensibilización ocurre en pocas horas y es importante sólo cuando los receptores están expuestos de manera crónica (Lortie, 2002). Yang y McElliot (1989), mencionan que tras 18 días de suministro de un  $\beta_2$ -AA (clenbuterol) existe una reducción de un 50 % en la densidad de  $\beta_2$ .

### **2.9.2. Efectos en el tejido adiposo**

Los  $\beta_2$ -AA estimulan la adenil ciclasa la cual incrementa las concentraciones del cAMP, este activará la enzima proteína-quinasa A que a su vez activará la enzima lipasa-hormono sensible, esta última es la responsable de la hidrolisis de los triglicéridos poniendo a disposición ácidos grasos y glicerol los cuales serán utilizados como fuente de energía disponibles para la síntesis proteica. El aumento en las concentraciones de ácidos grasos en plasma sanguíneos y la disminución de grasa en la canal son los efectos fisiológicos más importantes que suceden cuando se utilizan los  $\beta_2$ -AA por periodos prolongados (Yang y McElligott, 1989) y (Moody *et al.*, 2000).

Los  $\beta$ -AA disminuyen la síntesis de tejido adiposo, esto es de gran importancia ya que Bianchi *et al.* (2009), menciona que el tejido adiposo se distribuye en depósitos subcutáneos, retro-peritoneales y en los meso abdominales, que constituyen hasta el 12 % del peso vivo del animal, los cuales son eliminados durante el faenado del animal (Bianchi *et al.*, 2009).

**Figura 4. Modo de acción de los  $\beta$ - agonistas adrenérgicos en el tejido adiposo**



Fiems (1987).

### 2.9.3. Efectos en el músculo esquelético

Uno de los efectos que provocan los  $\beta_2$ -AA es la hipertrofia del músculo, debido a un aumento en la síntesis de proteína muscular o a una disminución en la degradación de la proteína muscular o incluso una combinación de ambas, esto a causa de un aumento del ARNm y a una disminución de la actividad de las proteasas dependientes lisosomales. La respuesta al crecimiento muscular no sucede de la misma manera en todos los músculos, ya que los receptores se encuentran distribuidos en diferentes proporciones, pero generalmente la respuesta es más notable en músculos donde predominan las fibras musculares tipo II, es decir en la parte posterior del animal (NRC, 1994 y Mersmann, 1998).

El aumento de síntesis de proteína muscular es uno de los efectos que tienen los  $\beta_2$ -AA ya que ha demostrado que en la administración de estos compuestos ha descendido el nitrógeno ureico en el plasma en un 20%, estos datos sugieren que existe un aumento en la síntesis y deposición de proteínas y una disminución de la oxidación de aminoácidos, a pesar de que hay un aumento la utilización de oxígeno en los músculos traseros, la concentración de glucosa permanece constante, por lo que la oxidación de los lípidos toma un papel importante como fuente de energía requerida para la síntesis y deposición de proteínas (NRC, 1994).

De la misma manera Byrem *et al.* (1998), citado por Lortie (2002), en un sistema de perfusión cerrada con  $\beta_2$ -AA en los miembros posteriores de bovinos encuentra un aumento de la remoción de aminoácidos de la sangre hacia el músculo esquelético alcanzando un máximo a los 14 días y disminuyendo gradualmente a partir del día 21.

Hablando específicamente de la disminución de la proteólisis los  $\beta_2$ -AA modifican el sistema de proteasa dependientes del calcio:  $\mu$ -calpaína y m-calpaína enzimas que degradan las proteínas, y aumentan el nivel de una tercera la calpastatina enzima que inhibe la acción de la calpaínas; también actúan sobre la proteasa lisosomal inhibiendo su acción en concreto la catepsina B, está última la más importante en la

degradación de las proteínas. Cuando se suministra un  $\beta_2$ -AA en el *Longissimus dorsi* disminuye un 25 % la actividad de las proteasas y aumenta un 68 % la actividad de la calpastatina (Yang y McElligott, 1989) y (McDanagha *et al.* 1999, citado en Errecalde 2003). La hipertrofia muscular es causada por un aumento en el diámetro y longitud de las miofibrillas musculares, este fenómeno acontece principalmente en los músculos del miembro posterior, el lomo, *Longissimus dorsi*, músculo *Semitendinosus* donde predominan las fibras musculares glicolíticas tipo II (Yang y McElligott, 1989).

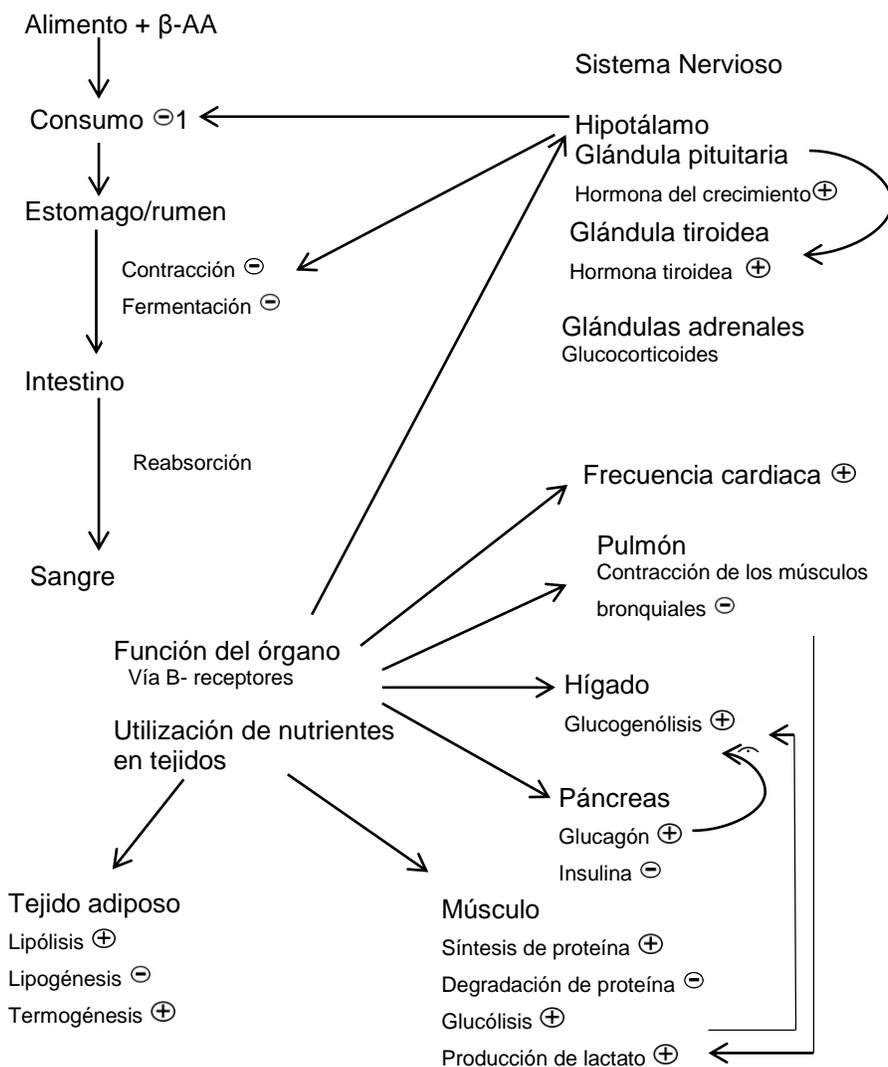
#### **2.9.4. Efectos indirectos**

Moody *et al.* (2000), hace mención sobre variaciones plasmáticas en la hormona del crecimiento, hormona tiroidea y la somatomielina factor de crecimiento I semejante a la insulina, aunque estos factores no están aún aclarados. Los factores indirectos de los  $\beta_2$ -AA tienen que ver específicamente con el metabolismo de los carbohidratos, los  $\beta_2$ -AA reducen la secreción de insulina (Fiems, 1987). Martínez y Moreno (2002), mencionan que en condiciones normales la insulina estimula la lipogénesis. Al verse disminuida la concentración de insulina disminuye la síntesis de lípidos.

El metabolismo de los carbohidratos está regulado por hormonas como la insulina, glucagón, corticosteroides y la epinefrina (NRC, 1994). Naturalmente el metabolismo del glucógeno está catalizado por dos enzimas glucógeno sintetasa y glucógeno fosforilasa, esta última es estimulada por el cAMP formado a partir del ATP mediante el adenil ciclasa en el interior de la membrana celular en respuesta a hormona como la epinefrina y norepinefrina (Murray *et al.*, 2009), este es el mismo modo de acción del clorhidrato del zilpaterol en la glucogenólisis al ser un análogo de la epinefrina. Lortie *et al.* (2002), menciona que la acción de los  $\beta_2$ -AA es totalmente independiente a otros factores relacionados con la hormona del crecimiento, hormona tiroidea y factor I de crecimiento de la insulina, ya que cuando se experimentaron con animales a los cuales tenían genéticamente concentraciones bajas en la hormona del crecimiento y a los cuales se les había

extraído quirúrgicamente la glándula tiroidea estos manifestaron ganancias de peso superiores al grupo testigo.

**Figura 5. Modo de acción general de los  $\beta$ -agonistas adrenérgicos**



$\ominus$  : Inhibido por los  $\beta$ -AA;  $\oplus$  : estimulado por los  $\beta$ -AA; 1: depende de la especie.

Fiems (1987).

### 2.9.5. Fibras musculares

La demanda energética de cada fibra muscular depende prácticamente de su localización y función, por lo tanto, disponen de varias rutas metabólicas diferentes para obtener energía. Existen tres tipos de fibras musculares, tipo I, tipo IIA y tipo IIB, están clasificada de esta manera de acuerdo a ciertas características (Bianchi *et al.*, 2009).

Tipo I. Son de color rojo al tener alta concentración de hemoglobina y mitocondrias, estas fibras tienen gran irrigación sanguínea, dependen de la respiración celular para la obtención de ATP y utilizan como fuente principal de energía los ácidos grasos. Este tipo de fibras musculares se encuentran en los músculos posturales (músculos del miembro posterior).

Tipo II. Las fibras tipo IIA se consideran como un intermedio entre las fibras tipo I y tipo IIB, mientras que estas últimas son de color rojo pálido al tener menos concentración de hemoglobina, mitocondrias y la irrigación sanguínea es menor que las fibras tipo I. Son ricas en glucógeno y dependen del fosfato de creatina y de la glucólisis para la obtención de ATP.

En los siguientes cuadros se presenta la distribución del tipo de fibras musculares presentes en el ganado.

**Cuadro 3. Proporción de tipo de fibras musculares presentes en el ganado *Bos Taurus***

| Tipo | Músculos delanteros |          | Músculos traseros |          |
|------|---------------------|----------|-------------------|----------|
|      | %                   | Diámetro | %                 | Diámetro |
| I    | 41                  | +15 %    | 31                | -        |
| IIA  | 22                  | -        | 30                | -        |
| IIB  | 37                  | -        | 38                | + 10%    |

Bianchi *et al.*, (2010).

**Cuadro 4. Porcentaje de tipo de fibra muscular presente en los músculos**

| Músculos anteriores              | TI | TIIA | TIIB | Músculos posteriores        | TI | TIIA | TIIB |
|----------------------------------|----|------|------|-----------------------------|----|------|------|
| <i>Cutaneus trunca</i>           | 8  | 20   | 72   | <i>Longissimus lumbarum</i> | 20 | 27   | 53   |
| <i>Longissimus thoracicus</i>    | 29 | 38   | 33   | <i>Rectus abdominalis</i>   | 32 | 29   | 39   |
| <i>Semispinalis capitis</i>      | 60 | 22   | 18   | <i>Psoas major</i>          | 45 | 24   | 31   |
| <i>Sternomandibularis</i>        | 58 | 42   | 0    | <i>Gluteus medius</i>       | 37 | 26   | 37   |
| <i>brachiocephalicus</i>         | 43 | 18   | 39   | <i>Pectineus</i>            | 48 | 31   | 28   |
| <i>Serratus ventralis</i>        | 46 | 25   | 29   | <i>Adductor</i>             | 32 | 33   | 34   |
| <i>Trapezius</i>                 | 35 | 31   | 33   | <i>Gluteobiceps</i>         | 32 | 31   | 47   |
| <i>Rhomboideus</i>               | 48 | 21   | 31   | <i>Semimenbranosus</i>      | 23 | 35   | 42   |
| <i>Latissimus dorsi</i>          | 22 | 23   | 55   | <i>Semitendinosus</i>       | 23 | 36   | 41   |
| <i>Pectoralis profundus</i>      | 41 | 21   | 38   | <i>Sartorius</i>            | 37 | 25   | 38   |
| <i>Subscapularis</i>             | 46 | 27   | 27   | <i>Rectos femoris</i>       | 31 | 35   | 34   |
| <i>T. brachii caput longum</i>   | 28 | 30   | 42   | <i>Gracilis</i>             | 39 | 32   | 29   |
| <i>T. brachii caput laterale</i> | 22 | 32   | 46   | <i>Vastus lateralis</i>     | 24 | 37   | 39   |
| <i>Bíceps brachii</i>            | 11 | 20   | 69   | <i>Vastus medialis</i>      | 36 | 28   | 36   |
| <i>Brachialis</i>                | 25 | 27   | 48   | <i>Vastus intermedius</i>   | 42 | 26   | 28   |

Bianchi *et al.*, (2010).

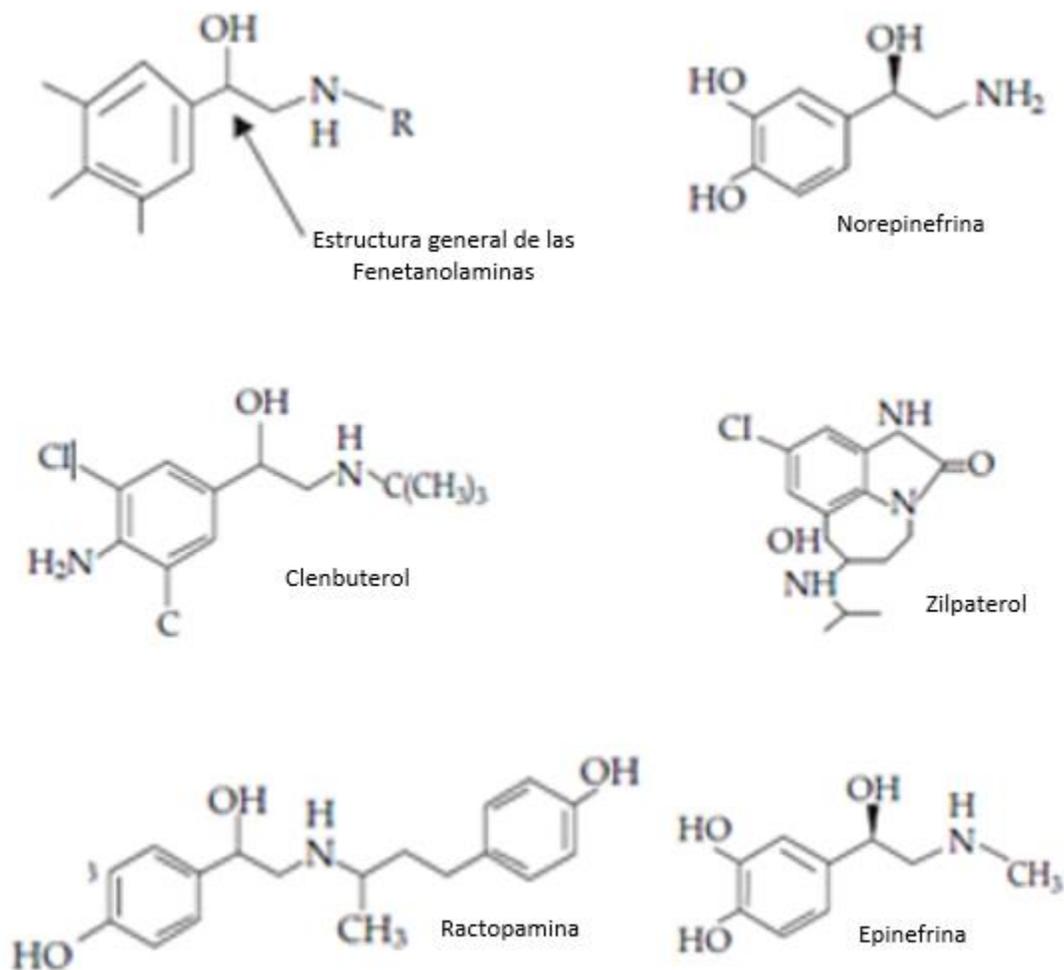
## 2.10. FARMACOCINÉTICA DE LOS $\beta$ -AGONISTAS ADRENÉRGICOS

Dentro del grupo de las fenetanolamidas se encuentra el clenbuterol, el zilpaterol y la ractopamina. A pesar de pertenecer al mismo grupo existen propiedades farmacológicas que crean grandes diferencias entre estas sustancias. Por su parte el clenbuterol tiene los mejores efectos en los parámetros productivos de los rumiantes pero tiene como consecuencia la estimulación cardiovascular en los consumidores cuando no se respeta su dosificación y tiempo de retiro, esto debido a que deja residuos en los tejidos por largos periodos de tiempo; contrariamente el zilpaterol y la ractopamina se biotransforman y depuran muy rápidamente en el organismo de los animales al ser farmacológicamente muy débiles por lo tanto no representan ningún riesgo de salud en los consumidores, además de que el efecto

en la estimulación cardiovascular es 2 000 veces menor que la del clenbuterol (Sumano, 2002).

Las fenetanolamidas se caracterizan por tener un anillo aromático unido a un grupo OH en la posición B del grupo alifático para que tengan actividad farmacológica. Para hacer más específica la molécula a los receptores  $\beta$  es necesaria la presencia de un grupo nitrogenado y la sustitución de R por un grupo voluminoso con frecuencia cíclico, alifático (Morgan, 1990).

**Figura 6. Estructura de los  $\beta$ -Agonistas Adrenérgicos**



Los  $\beta$ -AA se inactivan por medio del ácido glucoronido (glucononidación hepática) este es el caso de la ractopamina, otros lo hacen por la vía de la catecol-O-metiltransferasas (COMT) tisulares que metilan los hidroxilos del anillo aromático, en el caso del clenbuterol al sustituirse un grupo OH por un halógeno (cloro) las COMT no pueden biotransformarlo por lo tanto su eliminación es lenta vía hepática, además de que el cloro hace al clenbuterol mas liposoluble haciendo más profunda su distribución tisular (Sumano, 2002).

Debido a las diferencias existentes en los grupos constituyentes de las fenetanolamidas, estas mismas crean variaciones en su farmacocinética mostrando por lo tanto distintos patrones en la distribución y tiempo de permanencia en los tejidos de los animales (Sumano, 2002).

Los niveles máximos en plasma de los  $\beta$ -AA ocurren dentro de 1 a 3 horas después de su administración oral (Smith 1998, citado en Lortie 2002). Por otra parte, Sauer *et al.* (1995), citado en Lortie (2002), en un estudio con el uso de clenbuterol por un periodo de 15 días, encuentra que las concentraciones más altas en plasma ocurren a los 10 días después de la administración con una acumulación de residuos en tejido a través del tiempo.

En ganado vacuno utilizando 3 ppm de clenbuterol se obtienen niveles plasmáticos máximos a tan sólo una hora después de la administración oral y 48 horas después de la administración menos del 50 % de la dosis ya había sido eliminado a través de la orina y el 2 % por medio de la heces la cantidad restante se había almacenado en el músculo y tracto gastrointestinal, de la cantidad total de dosis de clenbuterol administrada el 76 % fue eliminado por medio de la orina y heces (Smith y Paulson 1995, citado en Lortie 2002).

## 2.11. RESIDUOS DE LOS $\beta$ -AGONISTAS ADRENÉRGICOS EN TEJIDOS

Desafortunadamente en México, se registraron 1,300 casos de intoxicación durante el periodo 2002 a 2006, sin que se halla presentado defunciones; el común denominador de estas intoxicaciones fue el consumo de hígado de res en un 70 % de los casos, las personas presentaron dos o más de las siguientes manifestaciones: taquicardia, cefalea, palpitaciones, náuseas, ansiedad, angustia y malestar general en tan sólo 30 minutos a seis horas después de la ingesta (Vallejos *et al.*, 2007 citado en Domínguez *et al.*, 2009). Para el caso del clorhidrato de zilpaterol, los límites máximos son 30 ppm en hígado, 30 ppm en riñón 30, 20 ppm en tejido adiposo y 1 ppm en el músculo (Serrano *et al.*, 2002 citado en Domínguez *et al.*, 2009).

El comité mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios recomendó los siguientes MRL (maximal residue limit por sus siglas en inglés) de CCL para los bovinos: 0.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en músculo y la grasa, 0.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en el hígado y los riñones, y 0.05  $\mu\text{g}/\text{litro}$  de leche. A partir de estos valores de MRL, la ingesta diaria máxima sería de 0.235  $\mu\text{g}$ , sobre una base de consumo diario de alimento de 300 g de músculo, 100 g de hígado, 50 g de riñón y grasa y 1.51 de leche (Codex Alimentarius, 2011).

Shelver y Smith (2006), citado en Romero (2011), determinaron los residuos de zilpaterol presentes en tejidos de ovinos, la dosis usada fue de 0.15  $\text{mg}/\text{kg}/\text{día}$  durante un periodo de 10 días. La determinación de residuos de determina a los 0, 2, 5 y 9 días postretiro. Los residuos en hígado fueron de 29.3, 1.5, 0.13, y 0.10  $\text{ng}/\text{g}$  después de 0, 2, 5 y 9 días de retiro respectivamente; en los riñones 29.6, 1.10, 0.09  $\text{ng}/\text{g}$ , para los días 0, 2 y 5 postretiro, al día 9 postretiro no se detectaron residuos; finalmente en el músculo se encontraron 13.3, 0.86, 0.12, y 0.08  $\text{ng}/\text{g}$ , en los días 0, 2, 5, 9 respectivamente.

## **2.12. CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL**

Colomer y Rocher (1973), define como calidad de canal al conjunto de características cuantitativas y cualitativas, cuya importancia relativa confiere a la canal una máxima aceptación y un mayor precio frente a los consumidores o frente a la demanda del mercado. Bianchi *et al.* (2009), menciona que dentro de estas características se encuentran el peso de la canal, rendimiento de la canal, conformación, terminación de la canal, longitud de la canal, longitud de la pierna, perímetro de la pierna, área del *Longissimus dorsi*, grasa subcutánea, compacidad de la canal, compacidad de la pierna, ancho mayor y menor del tórax, conformación de la canal y terminación de la canal. Algunas de estas variables pueden ser determinadas objetivamente y algunas otras subjetivamente.

Dentro de las características vinculadas a la calidad de la canal, el peso resulta de suma importancia, pues incide directamente en los demás componentes de la calidad de la canal. El rendimiento de la canal resulta como un criterio de calidad un indicador valioso. La conformación de la canal pretende medir la cantidad de carne comercial, especialmente la correspondiente a cortes más valiosos, a través de mediciones objetivas: compacidad de la canal, compacidad de la pierna, forma de músculo *Longissimus dorsi* (profundidad/ancho) y subjetivas (apreciación visual con ayuda o no de patrones fotográficos) (Bianchi *et al.*, 2009). Cuando se comparan canales de igual peso y engrasamiento pero con distinto grado de conformación, las canales con mejor grado de conformación tienen mayor cantidad de contenido magro, por su relación elevada de músculo/hueso (Buxadé, s.f.).

## **2.13. FACTORES QUE DETERMINAN LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL**

Las características de la canal están influenciadas por múltiples factores intrínsecos y extrínsecos, estos pueden influir tanto positivamente como negativamente. Entre los factores dependientes del animal se encuentran: raza, sexo, edad, peso al sacrificio y otras cuestiones de manejo al que han sido sometidos en la explotación:

ejercicio, condiciones medioambientales, sistema de producción y alimentación; aunque las características de la canal pueden ser manipuladas con el empleo de agentes repartidores los cuales aumentan la cantidad de músculo a la vez que disminuyen su contenido de grasa. El último factor es el relacionado con el proceso de sacrificio-conversión a carne (transporte, sacrificio, refrigeración y maduración), este es de vital importancia ya que de este depende que el producto que ha sido producido con mucho esmero mantenga sus cualidades (Torescano *et al.*, 2009).

### **2.13.1. FACTOR GENÉTICO**

La conformación de la canal mejora con el incremento de peso de la canal y grado de engrasamiento, pero para grados de engrasamiento semejantes y con un mismo peso de la canal, dependerá esencialmente del genotipo, por lo tanto, el factor genético tiene un impacto importante sobre la conformación de la canal (Buxadé, s.f.).

Hablando en términos generales las razas pequeñas engrasan más rápido en comparación con las razas grandes. La cantidad de grasa es más alta en ovinos de lana mejorados como Suffolk y Hampshire (Torescano *et al.*, 2009). Con respecto al grupo racial, las cruces de sementales Dorper, Katahdin con hembras Pelibuey producen corderos de mayor crecimiento que Pelibuey puro, aunque no siempre se observa mayor rendimiento de la canal. Con el objetivo de medir el impacto del tipo racial sobre las características de la canal Magaña *et al.* (2015), en un experimento usando tres tipos raciales de animales Katahdin, Katahdin x Pelibuey y Katahdin X Dorper, encontraron que no existen diferencias para el rendimiento de la canal y sus diferentes cortes ( $P > 0.05$ ), únicamente encuentra diferencias en ganancia de peso para el cruzamiento Katahdin X Dorper ( $P < 0.05$ ).

En contraparte Vásquez *et al.* (2011), al utilizar como línea materna la raza Katahdin y cruzarla con diferentes razas cárnicas Charollais, Dorper, Suffolk y Texel, con una edad al sacrificio de 137 días y peso vivo de 46.61 kg, 39.75 kg, 36.07 kg, 33.24 kg respectivamente, encuentra los siguientes resultados; los cruzamientos de

Charollais, Dorper, Suffolk fueron superiores a Texel respecto a clasificación (MEX EXT vs MEX 1), la conformación de la canal (Excellent vs Good) y lo mismo para el rendimiento de la canal ( $P < 0.05$ ), área de *Longissimus dorsi* ( $P < 0.05$ ), en cuanto a la grasa subcutánea el cruzamiento con Charollais mostro el nivel más alto ( $P < 0.05$ ). Esto determina que la raza tiene un efecto importante sobre la conformación de la canal, además de que las razas precoces como el Charollais depositan grasa a una edad más corta.

### **2.13.2. FACTOR NUTRICIONAL**

Un incremento en el consumo de proteína por encima de las recomendaciones mejora la síntesis de proteína muscular siempre y cuando haya un nivel adecuado de energía. Eso mejora tanto la síntesis como la degradación de proteína siendo más importante la síntesis y por lo tanto sucede el crecimiento muscular (Cronje, 2000).

Shahrbabak *et al.* (2009), realizó un experimento donde prueba tres niveles de proteína 10.93 (19.86 g DPU/kg MS, 12.67 (26.47 g DUP/kg MS) y 14.49 (33.08 g DUP/kg MS) y con un mismo nivel energético 10.5 MJ EM/kg MS, reporta diferencias significativas en el rendimiento de la canal ( $P < 0.05$ ), el rendimiento de la canal para los diferentes niveles de proteína mencionados anteriormente fue de 47.61, 53.01 y 53.07 respectivamente, el nivel de proteína no modifico el nivel de grasa visceral ( $P > 0.05$ ); el área del *Longissimus dorsi* no tuvo diferencias significativas ( $P > 0.05$ ). Concluyendo que al aumentar el nivel de proteína mejora el rendimiento de la canal de los corderos, el costo por alimentación al aumentar el nivel de proteína permanece constante ( $P > 0.05$ ) y recomienda que el aumentar el nivel de proteína en la ración mejora el rendimiento de la canal, pero no aumenta el rendimiento de los principales cortes ovinos.

En cuanto a la calidad de la carne los corderos alimentados con cereales se relacionan con una elevada instauración de grasa intramuscular debido al elevado contenido en ácidos grasos omega-6. En animales cebados en pastoreo contiene

una cantidad más elevada de  $\alpha$ -ácido linolénico, precursor de la serie de ácidos grasos omega-3. Que se ve reflejada en su mayor contenido a nivel muscular. Los componentes aromáticos que se desarrollan son diferentes debido a la concentración de ácidos grasos y esto incide directamente en la percepción del aroma, lo cual explica que los consumidores prefieran cierto tipo de aroma. Los ácidos grasos con un mayor de dobles enlaces desarrollan una mayor cantidad de componentes aromáticos tras la acción de las temperaturas al cocinado que incide en una mayor intensidad de olor y sabor (Bianchi *et al.*, 2009).

### **2.13.3. FACTOR PESO AL SACRIFICIO, EDAD Y SEXO**

El peso de la canal está relacionado con la composición tisular de la canal, la composición química y la composición anatómica. Cuando el peso de la canal aumenta, la composición tisular: peso del músculo, hueso y grasa aumentan en valor absoluto. No siendo así para el valor relativo ya que, en este caso, la proporción de grasa aumenta, la del hueso disminuye y la del músculo permanece casi constante (Buxadé, s.f.).

Respecto a la composición química los componentes químicos aumentan en valor absoluto, no ocurriendo lo mismo para el valor relativo, ya que el porcentaje de proteínas y cenizas permanece casi constante y el de los lípidos aumenta y el porcentaje de agua disminuye. Sin embargo, cuando se elimina el exceso de grasa los demás componentes químicos permanecen constantes.

El sexo modifica ciertos componentes de la canal, el costillar al ser pieza de madurez tardía se desarrolla más rápido en machos que en las hembras, por lo contrario, las partes de madurez precoz: espalda y pierna, se desarrollan antes en hembras que en machos. En conclusión, a medida que aumente la edad del animal y el peso de la canal los porcentajes de espalda y pierna disminuyen en ambos sexos, pero esta reducción es mayor en las hembras que en los machos. Contrariamente el porcentaje del costillar aumenta conforme el peso de la canal aumenta, y aumenta más en las hembras que en los machos (Buxadé, s.f.).

Dentro de estos parámetros el factor que más afecta a las características de la canal es la edad. Independientemente de la especie, raza y sexo, la composición de los músculos varía al avanzar la edad, existiendo un aumento general de la mayoría de los parámetros, aunque las velocidades de incremento en manera alguna son idénticas en todos los músculos. El gran aumento de grasa intramuscular y el contenido de mioglobina, el menor incremento de nitrógeno total y sarcoplasmático y la reducción de la humedad con la edad son evidentes (Bianchi *et al.*, 2009).

Los animales jóvenes y con menor peso, tienen los mejores valores de ternura independientemente de la raza, músculo y maduración. Esto es debido a que con la edad aumentan las concentraciones de colágeno en el epimisio, este incremento perjudica la ternura haciendo la carne más dura (Torescano *et al.*, 2009).

Existe un coeficiente alométrico que predice el crecimiento relativo respecto al peso total de la canal de los ovinos, de sus componentes tisulares músculo, hueso y grasa, este es de 0.976, 0.678 y 1.594 respectivamente; lo cual indica que al aumentar la edad del animal y consecuentemente el peso de la canal, la síntesis de grasa será superior a la síntesis de músculo, teniendo impacto negativo en las características de la canal (Tulloh 1963 citado en Buxadé s.f.).

El tejido adiposo está constituido por cuatro tipos de grasa: grasa interna (pélvica y peri-renal), intermuscular, subcutánea e intramuscular, con diferentes ritmos proporcionales de deposición, más temprano la grasa intermuscular y más tarde la intramuscular, presentando las grasas internas y subcutánea ritmos intermedios. A pesar de la importancia de la grasa intramuscular, desde el punto de vista sensorial, está demostrado que una mayor cantidad de grasa de cobertura- además de estar asociado con una mejor conformación de la canal protege a las fibras musculares del acortamiento por el frío y de las pérdidas durante la conservación (Bianchi *et al.*, 2009).

El contenido lipídico es importante, aunque lo es más el tipo de grasas, saturadas e insaturadas (mono y poliinsaturadas) y su relación, así como el contenido de

colesterol constituyen las principales características a contemplar dentro de lo que a calidad de grasa se refiere. El departamento británico de salud recomienda una composición rica en ácidos grasos polinsaturados y pobre en ácidos saturados, con una relación PUFA/SFA  $>0.4$  y omega-6/omega-3  $<4$  (Bianchi *et al.*, 2009).

#### **2.13.4. FACTORES EXÓGENOS (MANIPULACIÓN)**

A largo del tiempo se ha implementados diferentes métodos para mejorar la calidad de la canal, principalmente reducir el exceso de grasa. Todos estos métodos tienen ciertas desventajas. La selección genética en cerdos ha mejorado espectacularmente las características de la canal, sin embargo, es un proceso laborioso y además ha aumentado la presencia del síndrome de estrés porcino y problemas músculo-esqueléticos. También puede disminuirse la cantidad de grasa en la canal con el régimen nutricional, aumentando la relación proteína-energía sin embargo esta vía para mejorar la canal no es eficiente económicamente hablando, además de que este método no modifica el valor relativo anatómico (Ricks *et al.*, 1984).

Existen dos métodos que permiten mejorar el comportamiento productivo y características de la canal, estos métodos son rentables además de que los resultados se manifiestan a corto plazo. Uno es el empleo de tratamientos hormonales, estas sustancias pueden utilizarse de diferentes maneras: implantes, inyectables y de forma oral mezclado en el alimento, los tratamientos hormonales tienen un gran impacto en el rendimiento productivo, sin embargo, su efecto sobre las características de la canal es mínimo. El segundo método, el empleo de modificadores del metabolismo han dado buenos resultados en la terminación de la canal al reducir el exceso de grasa y aumentar la masa muscular. Estos son los llamados también “agentes repartidores”, los cuales mejoran el comportamiento productivo, pero el impacto más importante es la alteración de la composición de la canal específicamente una reducción de grasa (Ricks *et al.*, 1984).

## **2.14. CARNE**

Hay tres principales determinantes de la calidad de la carne a nivel del consumidor: color, jugosidad y ternura. Las carnes rojas con un color brillante asociado con un contenido alto en oximioglobina es un determinante positivo en la calidad, mientras que el contenido en metahemoglobina es un determinante negativo. Un punto muy importante en la calidad de carne roja, es el grado de vetado, el tejido adiposo localizado entre los haces de las fibras musculares en el tejido conectivo perimisial. El vetado se asocia positivamente con una buena calidad sensorial. Al mismo tiempo la cantidad de grasa que rodea los músculos principales influencia la apariencia de acabado de la carne. La grasa excesiva se asocia con una mala calidad. La preocupación actual por la grasa en la dieta significa que la calidad puede asociarse con la ausencia de grasa visible (Price y Schweigert, 1994).

La jugosidad está relacionada con la capacidad de retención de agua de la carne y también con el vetado. Hay una interacción con la apariencia, ya que la carne seca no es deseable, mientras que el goteo y exudación excesiva, que se producen en la carne PSE, son un defecto de la calidad. La ternura es consecuencia de factores intrínsecos, como el tipo de músculo y los fenómenos post mortem involucrados en la instauración y la resolución del rigor (Lawrie, 1998).

El acumulo de grasa alrededor del músculo se le conoce como vetado y se considera como un buen indicativo sensorial. Como es la última grasa en depositarse es necesario un nivel alto de alimentación para conseguirlo. El 70 % de los lípidos de la carne son triglicéridos. El contenido de grasa de los ovinos es de 5-10% (Bianchi *et al.*, 2009).

### **2.14.1. COLOR**

El color propio de la carne se debe a su contenido en mioglobina, y al estado químico en que se encuentre. En carne fresca, la mioglobina, puede encontrarse en tres estados:

- Mioglobina reducida: en el interior del músculo o en la carne recién cortada. Produce una coloración rojo púrpura.
- Oximioglobina: producida cuando la carne está en contacto con el oxígeno, ofreciendo un color rojo brillante.
- Metamioglobina: cuando la carne lleva bastante tiempo expuesta al oxígeno y se oxida, dando una coloración parda.

El color de la carne puede ser modificado por algunos factores relacionados con el animal, tipo de músculo y alimentación.

Las razas de aptitud lechera producen carnes más oscuras debido a una mayor concentración de mioglobina y menor estabilidad. También las razas con hipertrofia muscular dan carnes más claras debido a su mayor porcentaje en fibras tipo II (poseen menor concentración de mioglobina que las fibras tipo I). El color de la carne de las hembras es más oscuro, a causa de una mayor concentración de mioglobina que los machos a la misma edad. De igual manera la carne obtenida de animales de avanzada edad es más oscura por un incremento en la cantidad de hemoglobina. La actividad muscular también repercute en la coloración de la carne ya que cuanto mayor es ésta, mayor es la oxigenación muscular, y por tanto el color es más oscuro (Buxadé, s.f.).

#### **2.14.2. pH**

El músculo obtiene la energía a través del ATP, este es producido a partir de los ácidos grasos y glucosa presente en sangre y el glucógeno que se encuentra presente directamente en las fibras musculares. Inmediatamente después del sacrificio cesa el aporte de oxígeno a los músculos por lo que la glucólisis se produce bajo condiciones anaeróbicas, dando como resultado el ácido láctico el cual es catalizado por la enzima lactato deshidrogenasa. La acumulación de ácido láctico da como resultado una disminución del pH este alcanza su punto más bajo dentro de 15-36 horas después del sacrificio, se considera normal un pH de 5.5 a las 24 horas post-sacrificio (Lawrie, 1998 y Bianchi *et al.*, 2009).

El valor final del pH tiene impacto sobre varios parámetros relacionados con la calidad de la carne, en especial el color, la capacidad de retención de agua y la textura. El valor normal del músculo *Longissimus dorsi* de un animal bien alimentado y sin estresar a las 24 horas post mortem debe disminuir de 7.2 pH a 5.5 pH. Para alcanzar dichos valores es necesario tener niveles de glucógeno de 10 mg/g de músculo para alcanzar buenas concentraciones de ácido láctico. El contenido de glucógeno está relacionado con la alimentación y el manejo de los animales antes del sacrificio (Soria y Corva, 2004 y Bianchi *et al.*, 2009).

Factores que influyen en los valores de pH:

- Tipo de dieta.
- Peso, conformación y engrasamiento de la canal.
- Sexo.
- Tipo genético.
- Clima y época del año.
- Transporte y densidad de carga.
- Tiempo de espera pre-faena.
- Pérdida de peso.

Protocolo de medición de pH de la canal.

- Preparación del peachímetro y calibrarlo, con buffers pH de 7 y 4.
- El lugar de elección es el músculo *Longissimus dorsi* a nivel de la 10 o 11a costilla.
- El peachímetro debe recalibrarse cada 10 mediciones para evitar errores, y entre cada medición el electrodo debe ser enjuagado con agua destilada.

Elevados pH de canal 24 horas post mortem corresponden a cortes DFD (obscura, firme y seca), estos valores disminuyen la ternura de la carne además de disminuir los tiempos de conservación. Al igual que condiciona otros parámetros de calidad como: color ternura y capacidad de retención de agua.

## 2.15. EFECTO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL EN LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE CORDEROS

Los resultados en cuanto al uso del clorhidrato de zilpaterol (CZ) han sido muy controversiales, ya que algunos autores reportan mejorías en el rendimiento de los animales, mientras que otros no observan impactos positivos. Salinas *et al.* (2004), utilizando corderos Pelibuey alimentados con una dieta al 14 % de proteína cruda y 2.6 Mcal de energía metabolizable y dosis de zilpaterol de 0, 4.35 y 6 ppm reporta mejoras en el ( $P < 0.05$ ) consumo de alimento, ganancia de peso diaria y eficiencia alimenticia en los tratamientos respecto al testigo, y la dosis de 6 ppm aumenta el área del *Longissimus dorsi* ( $P < 0.05$ ) y sin significancia en la profundidad de grasa dorsal. Estrada *et al.* (2008), en un periodo de 32 días de experimentación con corderos Pelibuey x Katahdin con dosis de zilpaterol (Zilmax®) 0, 0.15, 0.20 y 0.25 mg/kg de peso vivo, obtuvo óptimos resultados con el tratamiento 0.20 mg/kg de peso vivo de zilpaterol ya que mejoró un 15.8 % ( $P < 0.03$ ) la eficiencia alimenticia, en cuanto a características de la canal reporta un incremento del 2.3 % ( $P < 0.04$ ) en el rendimiento de la canal, además de que la ganancia de peso total ( $P < 0.05$ ), disminución de la grasa renal ( $P < 0.01$ ) y aumento en el rendimiento de la canal ( $P < 0.02$ ) muestran un efecto lineal y en tanto que la ganancia de peso por día muestra un efecto cuadrático ( $P < 0.04$ ) donde la dosis optima fue de 0.20 mg/kg de peso vivo.

Por otra parte, Aguilera *et al.* (2008), al utilizar el CZ a razón de 6 mg/ kg MS durante un periodo de 60 días reporta un efecto significativo sólo para la variable de ganancia de peso, pero únicamente en los primeros 30 días de experimentación, ya que en los 30 días posteriores no existen diferencias en ningún parámetro productivo. Este efecto lo atribuye a una desensibilización de los receptores beta-adrenérgicos. En adición Ríos *et al.* (2010), reporta resultados positivos en los parámetros productivos al incluir zilpaterol en la dieta a dosis de 0.12 mg/día/animal y 0.18 mg/día/animal, en los últimos 30 días de finalización, donde los mejores resultados se obtuvieron a una dosis de 0.18 mg/día/animal al aumentar la ganancia

de peso diaria en un 40%, y mejorar la eficiencia alimenticia en un 32% comparado con el grupo control, además de que mejoró el rendimiento de la canal en un 2.8%, otros autores también encuentran resultados positivos (Robles *et al.*, 2009).

Macías *et al.* (2013), al utilizar dosis de 0.10 mg/kg de peso vivo por día en corderas durante la primavera encuentra diferencias significativas en eficiencia alimenticia ( $P<0.05$ ) y ganancia de peso total ( $P<0.05$ ), de igual manera reporta diferencia en peso de la canal caliente ( $P<0.01$ ), peso de la canal fría ( $P<0.01$ ), *área Longissimus dorsi* ( $P<0.01$ ) y rendimiento de la canal ( $P<0.01$ ), no hubo diferencias en variables como grasa dorsal y porcentaje de grasa pélvico-renal. En contraparte Partida *et al.* (2015), no encontró diferencias en los parámetros productivos ni en las características de la canal en 32 corderos Katahdin x Charoláis y 28 Katahdin x Dorper.

Los factores que influyen en el valor de la canal son: el peso de la canal; contenido de carne magra, grasa y hueso de la canal; conformación de la canal y el grosor de la canal (Bianchi *et al.*, 2009). Algunos de estos factores pueden ser mejorados adicionando el clorhidrato de zilpaterol en la dieta de los corderos en la fase de finalización, beneficiando tanto al productor como al consumidor.

## **2.16. RENTABILIDAD DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL**

La engorda de corderos con una dieta a base de granos representa un costo muy importante, debido a esto es importante mejorar el rendimiento del animal. Rebollar *et al.* (2015), realizó un análisis económico del uso del zilpaterol en corderos de engorde, reportó mejoras en el rendimiento de los animales y en el rendimiento de la canal, pero es muy importante remarcar que encontró un aumento en la relación beneficio/costo de 1.11 vs 1.29 para el tratamiento control y tratamiento con zilpaterol respectivamente. Esto es importante ya que representa mayores ganancias para los productores de carne de cordero.

## 2.17. DESVENTAJAS DEL USO DEL CLORHIDRATO DE ZILPATEROL

La norma mexicana NOM-061-ZOO-1999 prohíbe el uso de algunos  $\beta$ -AA con excepción del clorhidrato de zilpaterol (CZ) y el clorhidrato de ractopamina (CR). El uso del clorhidrato de zilpaterol se reducen los riesgos de intoxicación por consumo de cárnicos provenientes de animales alimentados con dicha sustancia por ser menos tóxica y prácticamente no deja residuos en la carne, siempre y cuando se respeten los tres días de retiro (Domínguez *et al.*, 2009).

Por otra parte, una desventaja de utilizar hormonas u otros promotores de crecimiento en la alimentación de los animales condiciona la carne obtenida y el mercado al que se puede ingresar, debido a que la carne producida bajo este tipo de sistemas se ve imposibilitada a entrar a mercados que prohíben el uso de hormonas por la legislación alimentaria, tal es el caso de la Unión Europea y Uruguay (Bianchi *et al.*, 2009).

El uso de los  $\beta$ -AA tienen efectos negativos sobre la terneza de la carne una de las importantes características que determinan la calidad de la carne y la aceptación por el consumidor, este efecto está fundamentado en la disminución de glucógeno y grasa intramuscular, aunado a un incremento de diámetro de las fibras musculares, lo conlleva a una disminución de lubricación entre las fibras musculares y por la tanto la carne tiende a endurecerse, de la misma forma estaría comprometido el descenso del pH post mortem ya que niveles bajos de glucógeno causan un pH elevado de la canal, originando carne de color oscuro y dura (Warris y Col. 1989, citado en Fernández 1993).

### III. JUSTIFICACIÓN

La ovinocultura en México ocupa uno de los últimos lugares de los sistemas de producción, sin embargo, no deja de ser importante; por lo que es necesario implementar técnicas que mejoren la producción de carne ovina. Según el modelo planteado por Baldwin y Black (1979), existen tres puntos importantes que interactúan y determinan el crecimiento muscular 1) Factor genético, 2) Factor nutricional y ambiental y 3) Actividad enzimática necesaria para la síntesis de proteína muscular. Tomando como referencia estos puntos para incrementar la producción cárnica en México, considerando que el mejoramiento genético en México no ha sido importante los últimos años, a corto plazo lo ideal es concentrarse en estrategias que optimicen los últimos 2 puntos para incrementar la producción nacional. Con motivo de mejorar la eficiencia productiva se han utilizado sustancias que permitan manipular el metabolismo e hipertrofia muscular y que al mismo tiempo tenga efectos positivos en el producto final (Ricks *et al.*, 1984).

El clorhidrato de zilpaterol (Grofactor®: Virbac, México) es un  $\beta_2$ -AA sustancia que induce la hipertrofia muscular, incrementando la velocidad los procesos enzimáticos encargados de síntesis proteica, específicamente el ARNm, aunado a esto disminuyen la actividad de las proteasas, mejorando el recambio proteico e incrementando la masa muscular, además de que son llamados agentes repartidores al inhibir rutas metabólicas como la lipogénesis y glucogénesis y estimular otras como la lipólisis y glucogenólisis, haciendo más eficiente el uso de la energía (Mersmann, 1998). Estas sustancias son muy bondadosas ya que mejoran la ganancia de peso diaria en un 40% y eficiencia alimenticia en un 28.2% (Ríos *et al.*, 2010), disminuyendo de esta manera costos de alimentación. Además de que incrementan el peso de la canal caliente en un 15.1% y el porcentaje de rendimiento de la canal en un 4.31% (Avendaño *et al.*, 2011), reducen la concentración de grasa pélvico-renal (Rojo *et al.*, 2017) y aumentan el valor relativo de algunos de los principales cortes de la canal (Avendaño *et al.*, 2018).

Sin embargo, todos estos efectos no siempre han sido observados; por lo que el objetivo de este trabajo fue medir el efecto de la dosis del clorhidrato de zilpaterol utilizando tres dosis 4.8 mg/kg MS, 6 mg/kg MS y 7.2 mg/kg MS sobre las características de la canal, cortes primarios, vísceras verdes vacías y vísceras rojas de ovinos de pelo en corral.

**Cuadro 5. Matriz de consistencia experimental**

|                        |  |
|------------------------|--|
| Hipótesis              | El clorhidrato de zilpaterol en diferentes dosis adicionado a la dieta de los corderos durante los últimos 27 días de la etapa de finalización en corral mejorará las características de la canal, el rendimiento de los cortes primarios y afectará el peso de las vísceras verdes vacías y vísceras rojas. |
| Unidad de análisis     | Dosis de clorhidrato de zilpaterol.  |
| Variable independiente | Clorhidrato de zilpaterol.   |
| Variable dependiente   | Características de la canal, cortes, vísceras verdes vacías y vísceras rojas.  |
| Correctores lógicos    | Mejorar.   |
| Tipo de hipótesis      | De relación causal.  |
| Problematización       | Bajo la pobre producción cárnica ovina actual, es necesario utilizar las nuevas tecnologías que nos permitan incrementar el comportamiento productivo y rendimiento cárnico de los ovinos.   |
| Pregunta de hipótesis  | ¿Qué dosis de clorhidrato de zilpaterol optimiza las características de la calidad de la canal y cortes primarios?   |
| Objetivo               | Evaluar el efecto de la dosis de clorhidrato de zilpaterol en la dieta de corderos en la fase de finalización sobre las características de la canal, cortes primarios, vísceras verdes vacías y vísceras rojas.  |

#### **IV. HIPÓTESIS**

El clorhidrato de zilpaterol en diferentes dosis adicionado a la dieta de los corderos durante los últimos 27 días de la etapa de finalización en corral mejorará las características de la canal, el rendimiento de los cortes primarios y afectará el peso de las vísceras verdes vacías y vísceras rojas.

## **V. OBJETIVOS**

### **5.1. GENERAL**

Evaluar el efecto de la dosis del clorhidrato de zilpaterol en la dieta de corderos sobre las características de la canal y cortes primarios.

### **5.2. PARTICULARES**

- Medir e identificar las diferencias existentes en las características de la canal entre cada tratamiento.
- Conocer cuál es la dosis que optimiza las características de la canal.
- Comparar los valores las vísceras verdes vacías y rojas entre cada tratamiento.
- Comparar el rendimiento de los principales cortes ovinos al utilizar las diferentes dosis de clorhidrato de zilpaterol tomando como referencia al tratamiento testigo.

## **VI. MATERIALES Y MÉTODOS**

El experimento se realizó en el municipio de Temascaltepec de González, Estado de México; en el área metabólica de la posta zootécnica del Centro Universitario UAEM Temascaltepec.

Este lugar se encuentra ubicado en las coordenadas 100°02' longitud oeste y 19°03' de latitud norte. A una altura de 1,740 metros sobre el nivel del mar. Con un clima templado subhúmedo y una temperatura media anual de entre los 18 °C y 22 °C. La precipitación pluvial anual de 800-1,600 milímetros (INEGI, 2009).

### **6.1. ANIMALES, MANEJO Y ALIMENTACIÓN**

Se utilizaron 16 corderos de pelo de distinto tipo racial, con una media de peso vivo de  $35.85 \pm 3.3$  kg y con una edad aproximada de 5 meses. Los animales fueron alojados en corraletas individuales, provistas de sombra, comederos y bebederos individuales; esto con la finalidad de que los animales, estuvieran en el mayor confort posible y disminuir el error experimental asociado a la ejecución del experimento. Los corderos fueron adaptados a las corraletas individuales y dieta basal quince días antes de iniciar el experimento, periodo en el cual fueron desparasitados con 0.75 ml de Ivermectina, (SanFer®, México D.F.) y vitaminados 2.0 ml de Vigantol ADE, (Bayer®, México D.F.) por animal. Al inicio del experimento, los corderos fueron pesados individualmente, estratificados de acuerdo a su peso formando 4 bloques (bloqueo del efecto asociado al peso); de esta manera se asignaron los 4 tratamientos al azar dentro de cada bloque con 4 repeticiones por tratamiento.

#### **Alimentación**

Los ingredientes y la composición química de la dieta se muestran en el cuadro 6, la dieta fue ofrecida en tres frecuencias de alimentación (7, 13 y 18 h), el porcentaje de alimento ofrecido en cada frecuencia fue 30 %, 30 % y 40 % respectivamente, con la finalidad de tener fermentación homogénea a través del día y así evitar

trastornos metabólicos y variaciones fuertes en el consumo de alimento. Antes de iniciar el periodo de experimentación los animales fueron adaptados a la dieta por un periodo de 15 días ofreciendo el 3% de su peso vivo; al iniciar la prueba experimental y para que los animales alcanzaran consumo voluntario, la cantidad de alimento ofrecido fue el resultado del consumo del día anterior más un 15%. Los animales recibieron los tratamientos experimentales por 27 días y 3 días de retiro siguiendo las recomendaciones del fabricante.

## **6.2. TRATAMIENTOS**

Para el estudio se utilizaron 4 tratamientos.

- Tratamiento 1. Dieta testigo.
- Tratamiento 2. Dieta más 4.8 mg de clorhidrato de zilpaterol (CZ)/kg MS.
- Tratamiento 3. Dieta más 6 mg de clorhidrato de zilpaterol (CZ)/kg MS.
- Tratamiento 4. Dieta más 7.2 mg de clorhidrato de zilpaterol (CZ)/kg MS.

El clorhidrato de zilpaterol se suministró por medio de la marca comercial Grofactor®: Virbac, México. Reg. SAGARPA Q-0042-401.

## **6.3. CAPTURA DE DATOS**

Todos los días y de manera individual fue calculado el consumo de alimento (alimento ofrecido- alimento rechazado) y también el alimento ofrecido (alimento consumido del día anterior X 1.15). Los animales se pesaron semanalmente para monitorear la ganancia de peso. Los datos fueron registrados en bitácoras y almacenados en una hoja de cálculo de Excel.

**Cuadro 6. Ingredientes y composición química de la dieta experimental**

| Ingredientes (% MS)                  | Tratamientos (mg CZ/kg MS) |       |       |       |
|--------------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------|
|                                      | 0.0                        | 4.8   | 6.0   | 7.2   |
| Maíz                                 | 20                         | 20    | 20    | 20    |
| Maíz mazorca                         | 14                         | 14    | 14    | 14    |
| Pasta de soya                        | 8                          | 8     | 8     | 8     |
| Sorgo                                | 18                         | 18    | 18    | 18    |
| Alfalfa                              | 11                         | 11    | 11    | 11    |
| Salvado de trigo                     | 17                         | 17    | 17    | 17    |
| Melaza                               | 9                          | 9     | 9     | 9     |
| Premezcla mineral <sup>a</sup>       | 3                          | 3     | 3     | 3     |
| Urea                                 | 1                          | 1     | 1     | 1     |
| <b>Composición química calculada</b> |                            |       |       |       |
| Materia seca                         | 87                         | 87    | 87    | 87    |
| Humedad                              | 13                         | 13    | 13    | 13    |
| Proteína cruda                       | 15.48                      | 15.48 | 15.48 | 15.48 |
| EM (Mcal/kg MS) <sup>1</sup>         | 2.7                        | 2.7   | 2.7   | 2.7   |
| Extracto etéreo                      | 2.2                        | 2.2   | 2.2   | 2.2   |
| Cenizas                              | 5.61                       | 5.61  | 5.61  | 5.61  |
| FDN <sup>2</sup>                     | 37.85                      | 37.85 | 37.85 | 37.85 |
| FDA <sup>3</sup>                     | 14.62                      | 14.62 | 14.62 | 14.62 |

CZ: clorhidrato de zilpaterol; <sup>1</sup>energía metabolizable (mega calorías/ kg materia seca); <sup>2</sup>fibra detergente neutro; <sup>3</sup>fibra detergente ácido; <sup>a</sup>Ca 270 g, P 30 g, Mg 7.5 g, Na 65.5 g, Cl 100 g, K 0.5 g, S 42 mg, lasolacida 2000 mg, Mn 2000 mg, Fe 978 mg, Zn 3000 mg, Se 20 mg, Co 15 mg, Vitamina A 35, 000 UI, Vitamina D 150, 000 UI y Vitamina E 150 UI.

#### **6.4. EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL**

Una vez concluida la prueba de comportamiento productivo de 27 días, se retiró el clorhidrato de zilpaterol 72 h previas al sacrificio según las recomendaciones del fabricante, por lo que únicamente se alimentó con la dieta testigo y agua a libre acceso. Los animales fueron transportados según la Norma Oficial Mexicana NOM-051-ZOO-1995: trato humanitario de los animales durante la movilización; la movilización comenzó a las 16 horas a un taller de matanza ubicado en el municipio de Capulhuac, Estado de México, para el sacrificio y evaluación de las canales; donde los animales fueron alojados en un sólo corral donde tuvieron acceso a agua. Los animales fueron sacrificados al día siguiente a las 9:00 horas, siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-033-ZOO-1995: sacrificio de los animales domésticos y salvajes.

Con el objetivo de dar seguimiento a cada cordero y su respectivo tratamiento, durante la toma de peso antes del transporte, este fue identificado con su correspondiente número, con marcas temporales en el lomo del animal utilizando pintura en spray. Los corderos fueron pesados antes de ser movilizados, a la llegada al centro de matanza y momentos antes de ser sacrificados, esto con el objetivo de obtener la pérdida de peso por transporte, por ayuno y rendimiento de la canal.

Antes del sacrificio los ovinos fueron sometidos a una revisión para verificar su estado de salud, no se observaron síntomas de enfermedades. Se siguieron todas las normas y procedimientos de un taller de carnes para la transformación de la materia prima en productos elaborados, que comprende el proceso de preparación de la canal y vísceras usadas en la producción de barbacoa (NOM-009-ZOO-1994). Para el sacrificio al animal se le provocó la inconsciencia por medios eléctricos en el cráneo. Una vez que el animal estuvo inconsciente se procedió al degüelle, procediéndose a separar la cabeza en la articulación occipitoalantoidea; los miembros anteriores y posteriores fueron separados en la articulación carpo-metacarpiana y tarso-metatarsiana respectivamente.

La piel del ovino fue separada haciendo una incisión en la línea media, y enseguida se realizó un amarre del recto con el fin de evitar la contaminación de la canal; a continuación, se hizo una incisión sobre la línea media para abrir la cavidad abdominal y exponer las vísceras verdes (vísceras del tubo gastrointestinal). Posteriormente, se retiró el diafragma para la extracción de las vísceras rojas.

Durante el proceso de sacrificio se dio seguimiento a cada cordero, una vez que se obtuvo la canal fue identificada por medio de una cinta adhesiva colocada en la articulación tarso-metatarsiana con el número de cordero. También fueron medidas, identificadas y registradas en bitácoras el peso de los no-componentes de la canal (sangre, cabeza, patas anteriores y posteriores, cabeza, vísceras verdes vacías, vísceras rojas y salea).

Una vez obtenida la canal, esta fue pesada con el objetivo de determinar el peso de la canal caliente. Después las canales fueron oreadas y refrigeradas a 4 °C por 24 horas, transcurrido este tiempo se realizó la evaluación de las características de la canal.

La evaluación de las características de la canal se realizó de acuerdo a la Norma Oficial Española para Ovinos (Colomer-Rocher *et al.*, 1984 y Delfa *et al.*, 1995). Para la determinación de terminación de la canal, conformación y grasa peri-renal se utilizaron patrones fotográficos.

1. Peso de la canal caliente. El peso de la canal caliente fue obtenido inmediatamente después de haber terminado el proceso de evisceración.
2. Peso de la canal fría. Este dato se obtuvo 24 horas después del sacrificio y tras el mismo periodo de refrigeración a 4 °C.
3. Rendimiento de la canal. Se calculó dividiendo el peso de la canal fría/peso vivo al sacrificio x 100.

## Mediciones morfométricas de la canal

1. Longitud de la canal. Se midió la distancia máxima entre el borde anterior de la sínfisis isquiopubiana y el borde anterior de la primera costilla en su punto medio.
2. Longitud de la pierna. Distancia entre el punto más caudal del periné y el punto más distal del borde medial de la superficie articular tarso-metatarsiana.
3. Perímetro de la pierna. Fue obtenida con una cinta métrica de tela graduada en centímetros, tomando el punto más ancho de la pierna.
4. Ancho de la grupa. Se midió con un compás calibrado en cm a nivel de los trocánteres de ambos fémures.
5. Ancho mayor de tórax. Se midió con un compás de ramas calibrado en cm, aproximadamente entre la 5ª y 7ª costillas; fue medido con una cinta metálica graduada en cm.
6. Ancho menor de tórax. Se midió con un compás de ramas graduado en cm a nivel de la 6ª vértebra torácica.
7. Punto GR (grasa subcutánea). Es un método objetivo para la medición de la grasa. Se realiza a nivel del dorso de la canal a 11 cm de la línea media y a la altura de la 12ª costilla, medida con un calibre de penetración. En este sitio se mide el espesor de todos los tejidos subyacentes, el cual está relacionado con el contenido de grasa de toda la canal. Los valores normales se encuentran entre 5-7 mm para canales de 10-14 kg y 8-14 mm para canales de 20-30 kg.

### **Conformación muscular de la canal (escala de 1 a 5)**

1. Conformación pobre. Canales con desarrollo muscular netamente deficiente. El tronco y las extremidades anteriores y posteriores son relativamente largos con relación a la longitud de la canal.
2. Conformación normal. Desarrollo muscular aceptable. La canal parece medianamente compacta, las superficies corporales, aunque llenas están bien delimitadas por contornos débilmente redondeados. Estas canales, aunque longilíneas tienen armonía en la proporción de sus regiones anatómicas.
3. Conformación buena. Canales con desarrollo muscular manifiesto. En las regiones pelviana y torácica, las masas musculares, aunque desarrolladas no alcanzan su máxima expresión. La armonía general de sus regiones anatómicas es buena.
4. Conformación muy buena. Canales muy armoniosas en proporción de sus regiones anatómicas. Presentan un desarrollo muscular importante en cada una de ellas; las canales aparecen cortas, anchas y redondas.
5. Conformación excelente. Este tipo de canales es excepcional. Las canales a nivel de la cintura pelviana y torácica presentan una hipertrofia muscular marcada; las masas musculares son muy prominentes y redondeadas.

### **Grado de engrasamiento o terminación de la canal (escala de 1 a 5)**

1. Canal muy magra. Los músculos de esta canal son muy visibles; los límites intermusculares externos presentan vetas finas de grasa que los delimitan.
2. Canal magra. La canal está cubierta por una película de grasa fina que deja aparecer parcialmente los músculos subyacentes.

3. Canal medianamente grasa. La cobertura grasa de la canal se acentúa de modo que la canal presenta cúmulos grasos en algunas regiones anatómicas.
4. Canal grasa. Una capa de grasa cubre la canal, pero es menos espesa sobre los miembros posteriores, dónde algunos músculos son visibles hacia la parte distal de las extremidades.
5. Canal muy grasa. Un manto de grasa espeso envuelve a la canal y forma acúmulos importantes en diferentes niveles de las regiones anatómicas.

### **Grasa peri-renal (escala de 1 a 3)**

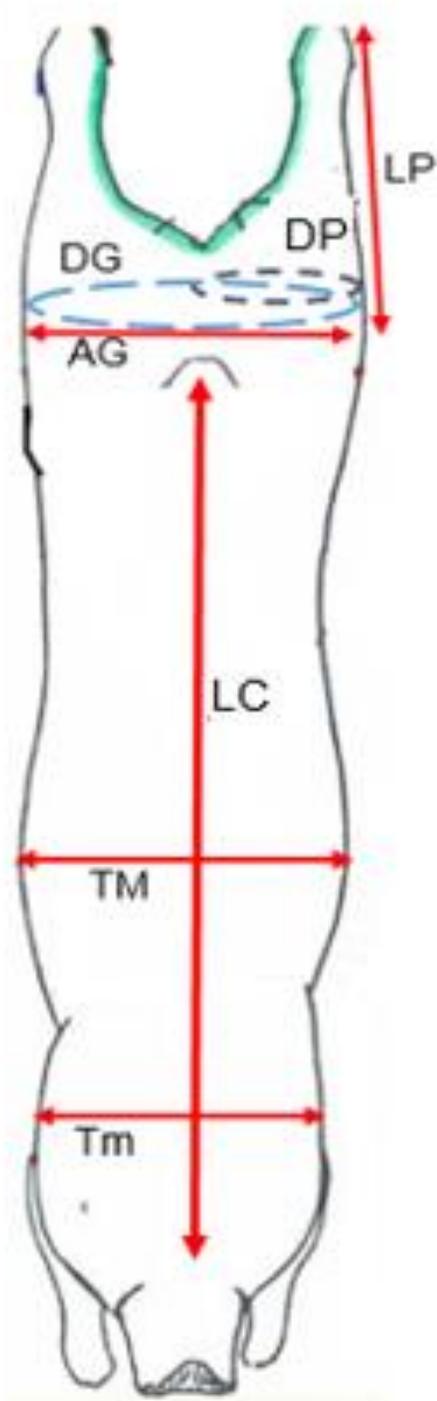
1. Riñones descubiertos.
2. Riñones con presencia importante de grasa.
3. Riñones cubiertos totalmente de grasa.

### **Área del ojo de chuleta (*Longissimus dorsi*).**

Fue medida en la 13a costilla, para esto se utilizó una plantilla cuadrículada propuesta por la Ames, Iowa Cooperative Extension Service, Iowa State University of Science and Technology, November, 1998. As-235. Una vez realizado la incisión, se colocó la platilla sobre la chuleta, cada 20 puntos equivalen a una pulgada cuadrada, a ésta se le calcula su raíz cuadrada y el valor resultante se multiplica por 2.54, que son los centímetros que comprende una pulgada lineal; finalmente el resultado se elevó al cuadrado para obtener los cm<sup>2</sup>.

Los datos obtenidos durante la evaluación de las características de cada canal fueron registrados en bitácoras, para su posterior almacenamiento y procesamiento en una base en datos de Excel.

Figura 7. Mediciones morfométricas de la canal (expresadas en cm)



LP: Longitud pierna

DP: Perímetro de la pierna

DG: Perímetro de la grupa

AG: Ancho de la grupa

LC: Longitud de la canal

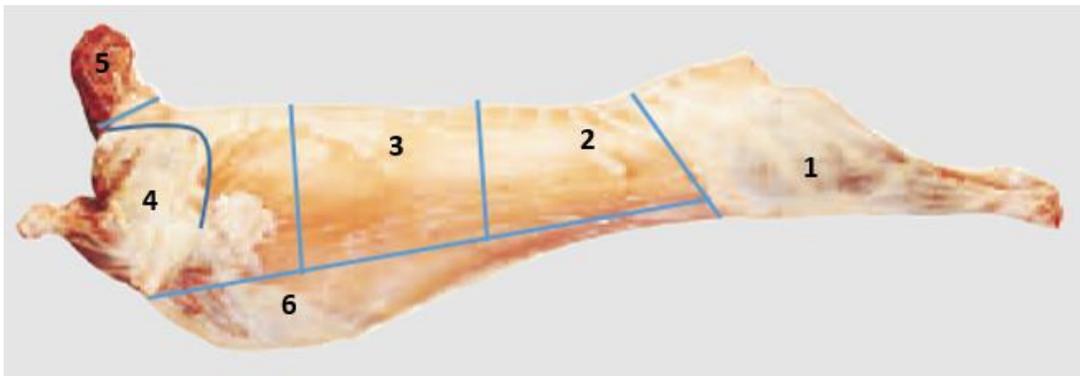
TM: Ancho mayor del tórax

Tm: Ancho menor del tórax

## Obtención de los principales cortes de la canal

Los cortes de la canal se obtuvieron inmediatamente después de la evaluación de las características de la canal, este proceso fue realizado por el personal del centro de matanza con la ayuda de sierras eléctricas y cuchillos diseñados específicamente para este proceso. Para la realización de los cortes primarios se siguió el método descrito por el Instituto Nacional de Carnes, Uruguay, método ya empleado por centro de matanza. Durante el proceso se dio seguimiento al número de canal, se identificaron, pesaron y registraron los cortes de cada canal en bitácoras para su posterior captura en una base de datos en Excel. La posición anatómica y referencias para la obtención de cada corte se describen a continuación.

**Figura 8. Cortes de la canal (Tomado de INAC, S.F.)**



Pierna (1): Corte con hueso correspondiente a la porción caudal (extremidad distal) de la canal, que se obtiene mediante una sección recta que parte a nivel de la articulación lumbo-sacra y continúa por el borde anterior del ilion.

Lomo (2): Corte con hueso correspondiente a la región lumbar de la canal, que se obtiene mediante dos secciones transversales a la columna vertebral, una a nivel de la articulación dorso-lumbar y otra a nivel de la articulación lumbo-sacra. Los músculos abdominales se separan mediante un corte paralelo a la columna vertebral.

Costillar o Rack (3): Corte con hueso correspondiente a la región torácica de la media canal, que se obtiene mediante dos secciones transversales, una a nivel del 5º y otra posterior al 13er espacio intercostal, y una sección longitudinal paralela a la columna vertebral, a una distancia a especificar del ojo de bife.

Paleta (4): Corte con hueso correspondiente a la región escapulobraquial de la media canal, que se obtiene al separar escápula, húmero, cúbito y radio con sus respectivas masas musculares de la parrilla costal.

Pecho y faldilla (5): Corte con hueso correspondiente a la región esternal de la media canal, que se obtiene por una sección longitudinal que se inicia en la unión de la 1ª costilla con el esternón y luego se dirige hacia caudal pasando a la altura de la entraña fina, en la 11ª costilla.

Cuello (6): Corte con hueso correspondiente a la región cervical de la canal, compuesta por las vértebras cervicales y los tejidos que las rodean.

## **6.5. DISEÑO EXPERIMENTAL**

Se utilizó un diseño experimental por bloques completamente al azar, donde cada cordero fue considerado como unidad experimental. Cada tratamiento se asignó al azar a los animales dentro de cada bloque (4 repeticiones por tratamiento), formando cuatro bloques completos; es decir todos los tratamientos estuvieron representados en cada bloque (Steel y Torrie, 1980).

### **Modelo para características de la canal**

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j (T_i) + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta (peso de la canal caliente, peso canal fría, porcentaje de rendimiento de la canal, longitud de la canal, longitud de la pierna, perímetro de la

pierna, longitud de la pierna, perímetro de la grupa, área *Longissimus dorsi*, grasa subcutánea, ancho mayor del tórax y ancho menor del tórax) del i-ésimo tratamiento anidado en el j-ésimo bloque.

$\mu$  = Media general

$\beta_j$  ( $T_i$ ) = Efecto de i-ésimo tratamiento anidado dentro del j-ésimo bloque

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental ( $N_i \sim 0, \alpha^2$ )

### **Modelo para conformación de la canal, terminación de la canal y grasa peri-renal (variables cualitativas)**

$$F_{ij} = [12/(NK(k+1))] [k \sum_{j=1}^k R^2 - 3N(K+1)]$$

Dónde:

$F_r$  = variables respuesta (conformación muscular, terminación de la canal y grasa peri-renal) del i-ésimo tratamiento anidado en el j-ésimo bloque.

$K$  = número de tratamientos

$N$  = número de bloques

$k \sum_{j=1}^k R^2$  = Suma de rangos al cuadrado de la muestra

### **Modelo para los no-componentes de la canal**

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j (T_i) + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta (sangre, omaso, abomaso, rumen, intestino grueso, intestino delgado, corazón, pulmones, bazo, hígado, cabeza, patas anteriores y posteriores y salea; estos valores fueron representados como porcentaje del peso vivo antes del sacrificio) del i-ésimo tratamiento anidado en el j-ésimo bloque.

$\mu$  = Media general

$\beta_j (T_i)$  = Efecto de i-ésimo tratamiento anidado dentro del j-ésimo bloque

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental ( $N(0, \sigma^2)$ )

### **Modelo para cortes de la canal**

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j (T_i) + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta (pierna derecha, pierna izquierda, faldilla, lomo, Rack, cuello, brazo derecho y brazo izquierdo) del i-ésimo tratamiento anidado en el j-ésimo bloque.

$\mu$  = Media general

$\beta_j (T_i)$  = Efecto de i-ésimo tratamiento anidado dentro del j-ésimo bloque

$\epsilon_{ij}$  = Error experimental ( $N(0, \sigma^2)$ )

## **6.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

La información fue sometida a un análisis de varianza bajo un diseño de bloques completos al azar usando el procedimiento PROC GLM del programa SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, 1991). Considerando a cada cordero como unidad experimental. En el modelo se incluyó el tratamiento como efecto fijo y el bloque como efecto aleatorio. Los promedios de cada tratamiento se separaron mediante la opción PDIF de la declaración LSMENS. Se realizó una comparación de medias dirigidas mediante contrastes ortogonales. Los efectos se consideraron significativos cuando  $P \leq 0.05$ .

El análisis de las variables no paramétricas como la conformación muscular, terminación de la canal y grasa peri-renal se realizó mediante la prueba de Friedman, usando el procedimiento PROC RANK, esta prueba es utilizada para variables de tipo ordinal, agrupadas en dos criterios de clasificación, dicha prueba compara la forma de distribución de los datos (Herrera y García, 2010).

## **VII. RESULTADOS**

### **7.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL**

Los datos de las características de la canal se muestran en el cuadro número 7. El peso de la canal caliente ( $P=0.012$ ), peso de la canal fría ( $P=0.010$ ) y rendimiento de la canal ( $P=0.029$ ) muestran un comportamiento lineal, aumentado sus valores al aumentar la dosis de clorhidrato de zilpaterol.

El perímetro de la pierna ( $P=0.005$ ) y grupa ( $P=0.038$ ) muestran un comportamiento cuadrático, mostrando el valor más alto en el tratamiento 6 ppm CZ ( $P=0.005$ ) y perdiendo efecto significativo en la dosis más alta ( $P>0.15$ ). La conformación de la canal fue mejorada únicamente por el tratamiento de 6 ppm ( $P=0.018$ ), los tratamientos 4.8 ppm y 7.2 ppm no mostraron efecto significativo ( $P>0.17$ ). El área del *Longissimus dorsi* no fue afectada por ninguno de los tratamientos de clorhidrato de zilpaterol ( $P=0.332$ ).

Las variables pérdida de peso vivo por transporte, pérdida de peso por enfriamiento de la canal, longitud de la canal, longitud de la pierna, ancho de la grupa, grasa subcutánea, ancho mayor de tórax, terminación de la canal y grasa peri-renal no fueron afectadas por el clorhidrato de zilpaterol ( $P>0.05$ ).

### **7.2. NO-COMPONENTES DE LA CANAL**

En el cuadro número 8 se muestran los datos de los no-componentes de la canal. Las vísceras verdes y rojas, salea y cabeza expresadas en porcentaje de la canal no fueron afectadas por el CZ ( $P>0.10$ ), excepto para las patas anteriores que muestran un comportamiento lineal ( $P=0.021$ ), teniendo un peso más bajo en la dosis más alta de clorhidrato de zilpaterol.

### **7.3. CORTES DE LA CANAL**

Los efectos del CZ sobre el rendimiento de los principales cortes se muestran en el cuadro número 9. Se observó un efecto cuadrático para el porcentaje de la pierna

( $P < 0.023$ ) mientras se aumenta la dosis, teniendo su valor máximo a dosis de 4.8 mg kg MS. El zilpaterol no mejoró ( $P > 0.160$ ) partes como faldilla, lomo, Rack, brazo izquierdo y derecho.

**Cuadro 7. Efecto de la dosis de clorhidrato de zilpaterol sobre las características de la canal**

| Variable                       | Dosis de CZ mg/kg MS |        |        |        | EEM   | Efectos      |       | Contrastes |              |              |
|--------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|-------|--------------|-------|------------|--------------|--------------|
|                                | 0                    | 4.8    | 6      | 7.2    |       | L            | C     | 0 vs.4.8   | 0 vs.6       | 0 vs.7.2     |
| Peso vivo final en granja (kg) | 43.312               | 45.250 | 45.812 | 45.375 | 0.794 | 0.252        | 0.345 | 0.279      | 0.172        | 0.252        |
| Peso vivo en rastro (kg)       | 42.025               | 43.862 | 44.225 | 43.650 | 0.847 | 0.389        | 0.367 | 0.334      | 0.252        | 0.389        |
| Pérdida peso transporte (kg)   | 1.287                | 1.387  | 1.587  | 1.725  | 0.238 | 0.409        | 0.959 | 0.847      | 0.567        | 0.409        |
| Peso vivo al sacrificio (kg)   | 41.150               | 42.412 | 43.675 | 43.100 | 0.884 | 0.325        | 0.506 | 0.518      | 0.211        | 0.325        |
| Pérdida peso por ayuno (kg)    | 2.162                | 2.587  | 2.200  | 2.275  | 0.211 | 0.809        | 0.597 | 0.372      | 0.935        | 0.809        |
| Peso canal caliente (kg)       | 21.625               | 23.250 | 24.150 | 25.100 | 0.529 | <b>0.012</b> | 0.680 | 0.181      | 0.051        | <b>0.012</b> |
| Peso canal fría (kg)           | 21.025               | 22.600 | 23.500 | 24.550 | 0.516 | <b>0.010</b> | 0.742 | 0.184      | <b>0.050</b> | <b>0.010</b> |
| Rendimiento de la canal (%)    | 51.065               | 53.237 | 53.755 | 56.956 | 1.074 | <b>0.029</b> | 0.757 | 0.365      | 0.268        | <b>0.029</b> |
| Pérdida por enfriamiento (kg)  | 2.847                | 2.796  | 2.751  | 2.297  | 0.200 | 0.227        | 0.520 | 0.905      | 0.824        | 0.227        |
| Longitud de la canal (cm)      | 60.625               | 60.125 | 60.500 | 57.600 | 1.137 | 0.241        | 0.499 | 0.840      | 0.959        | 0.241        |
| Longitud de la pierna (cm)     | 41.150               | 41.450 | 39.625 | 40.400 | 0.662 | 0.606        | 0.816 | 0.835      | 0.306        | 0.606        |
| Perímetro de la pierna (cm)    | 36.675               | 39.925 | 40.550 | 38.325 | 0.496 | 0.151        | 0.005 | 0.013      | <b>0.005</b> | 0.151        |
| Perímetro de la grupa (cm)     | 58.500               | 61.325 | 61.900 | 59.800 | 0.678 | 0.390        | 0.038 | 0.081      | <b>0.042</b> | 0.390        |
| Ancho de la grupa (cm)         | 19.375               | 20.025 | 20.950 | 20.225 | 0.398 | 0.340        | 0.279 | 0.461      | 0.095        | 0.340        |

Continúa

**Cuadro 7. Efecto de la dosis de clorhidrato de zilpaterol sobre las características de la canal (Continuación)**

| Variable   | Dosis de CZ mg/kg MS |        |        |        | EEM   | Efectos |       | Contrastes |              |          |
|--|----------------------|--------|--------|--------|-------|---------|-------|------------|--------------|----------|
|  | 0                    | 4.8    | 6      | 7.2    |       | L       | C     | 0 vs.4.8   | 0 vs.6       | 0 vs.7.2 |
| Ancho mayor tórax (cm)                           | 21.025               | 20.650 | 22.625 | 22.300 | 0.552 | 0.305   | 0.976 | 0.756      | 0.205        | 0.305    |
| Grasa subcutánea (mm)                            | 10.750               | 11.750 | 15.000 | 11.250 | 1.463 | 0.875   | 0.307 | 0.754      | 0.204        | 0.875    |
| Área <i>Longissimus dorsi</i> (cm <sup>2</sup> ) | 11.207               | 14.097 | 11.588 | 12.065 | 0.775 | 0.614   | 0.326 | 0.113      | 0.822        | 0.614    |
| Conformación*                                    | 20.5                 | 30.5   | 49.5   | 35.5   | 3.568 | 0.075   | 0.127 | 0.347      | <b>0.018</b> | 0.171    |
| Terminación*                                     | 22.5                 | 37     | 37     | 39.5   | 4.507 | 0.237   | 0.522 | 0.284      | 0.284        | 0.215    |
| Grasa peri-renal*                                | 27                   | 38     | 30     | 38     | 2.309 | 0.458   | 1.000 | 0.251      | 1.000        | 0.251    |

CZ: clorhidrato de zilpaterol (Grofactor® Virbac, México). EEM: error estándar de la media. L: Efecto lineal; C: efecto cuadrático; 0 vs. 4.8: contraste testigo versus 4.8 mg de zilpaterol / kg MS; 0 vs. 6: contraste testigo versus 6 mg de zilpaterol / kg MS; 0 vs. 7.2: contraste testigo versus mg de zilpaterol / kg MS. \*El análisis se realizó mediante distribución de frecuencias por el método de Friedman, los resultados que se muestran en la tabla son la sumatoria total de los rangos de su respectivo tratamiento.

**Cuadro 8. Efecto de la dosis clorhidrato de zilpaterol sobre los no-componentes de la canal (%)**

| Variable          | Dosis de CZ mg/kg MS |       |       |       | EEM   | Efectos |       | Contrastes |         |           |
|-------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|------------|---------|-----------|
|                   | 0                    | 4.8   | 6     | 7.2   |       | L       | C     | 0 vs. 4.8  | 0 vs. 6 | 0 vs. 7.2 |
| Sangre            | 3.694                | 3.698 | 3.804 | 3.576 | 0.052 | 0.322   | 0.179 | 0.970      | 0.355   | 0.323     |
| Mesenterio        | 3.447                | 2.453 | 2.932 | 3.569 | 0.354 | 0.874   | 0.159 | 0.219      | 0.510   | 0.874     |
| Intestino delgado | 1.444                | 1.753 | 1.295 | 1.182 | 0.081 | 0.166   | 0.119 | 0.108      | 0.414   | 0.164     |
| Intestino grueso  | 2.395                | 3.095 | 2.492 | 2.525 | 0.307 | 0.846   | 0.488 | 0.311      | 0.886   | 0.846     |
| Rumen             | 2.065                | 2.182 | 2.109 | 2.080 | 0.054 | 0.900   | 0.402 | 0.343      | 0.718   | 0.900     |
| Omaso             | 0.199                | 0.197 | 0.191 | 0.163 | 0.018 | 0.396   | 0.656 | 0.966      | 0.848   | 0.396     |
| Abomaso           | 0.450                | 0.412 | 0.504 | 0.434 | 0.042 | 0.864   | 0.802 | 0.686      | 0.560   | 0.864     |
| Bazo              | 0.205                | 0.139 | 0.172 | 0.154 | 0.016 | 0.194   | 0.361 | 0.100      | 0.377   | 0.194     |
| Testículos        | 1.155                | 1.208 | 1.082 | 0.933 | 0.053 | 0.086   | 0.246 | 0.655      | 0.544   | 0.086     |
| Pene              | 0.098                | 0.090 | 0.095 | 0.097 | 0.008 | 0.941   | 0.683 | 0.628      | 0.868   | 0.941     |
| Hígado            | 1.773                | 1.800 | 1.650 | 1.687 | 0.067 | 0.562   | 0.963 | 0.854      | 0.413   | 0.562     |
| Corazón           | 0.403                | 0.412 | 0.401 | 0.384 | 0.012 | 0.485   | 0.505 | 0.749      | 0.942   | 0.485     |
| Grasa corazón     | 0.144                | 0.137 | 0.127 | 0.193 | 0.016 | 0.206   | 0.180 | 0.844      | 0.635   | 0.206     |
| Pulmones          | 1.601                | 1.618 | 1.398 | 1.442 | 0.075 | 0.349   | 0.906 | 0.917      | 0.238   | 0.349     |

Continúa

**Cuadro 8. Efecto de la dosis clorhidrato de zilpaterol sobre los no-componentes de la canal (%) (Continuación)**

| Variable          | Dosis de CZ mg/kg MS |       |       |       | EEM   | Efectos      |       | Contrastes   |         |              |
|-------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|--------------|-------|--------------|---------|--------------|
|                   | 0                    | 4.8   | 6     | 7.2   |       | L            | C     | 0 vs. 4.8    | 0 vs. 6 | 0 vs. 7.2    |
| Salea             | 7.978                | 6.935 | 7.106 | 7.416 | 0.233 | 0.286        | 0.086 | 0.065        | 0.113   | 0.286        |
| Cabeza            | 4.872                | 4.667 | 4.699 | 4.746 | 0.081 | 0.485        | 0.329 | 0.266        | 0.344   | 0.485        |
| Patas anteriores  | 1.231                | 1.130 | 1.144 | 1.121 | 0.018 | <b>0.021</b> | 0.195 | <b>0.031</b> | 0.054   | <b>0.021</b> |
| Patas posteriores | 1.114                | 1.124 | 1.084 | 1.032 | 0.027 | 0.212        | 0.492 | 0.873        | 0.632   | 0.212        |

CZ: clorhidrato de zilpaterol (Grofactor® Virbac, México). EEM: error estándar de la media. L: Efecto lineal; C: efecto cuadrático; 0 vs. 4.8: contraste testigo versus 4.8 mg de zilpaterol / kg MS; 0 vs. 6: contraste testigo versus 6 mg de zilpaterol / kg MS; 0 vs. 7.2: contraste testigo versus mg de zilpaterol / kg MS.

**Cuadro 9. Efecto de la dosis de clorhidrato de zilpaterol sobre los cortes primarios de la canal**

| Variable             | Dosis de CZ mg/kg MS |        |        |        | EEM   | Efectos       |               | Contrastes |              |               |
|----------------------|----------------------|--------|--------|--------|-------|---------------|---------------|------------|--------------|---------------|
|                      | 0                    | 4.8    | 6      | 7.2    |       | L             | C             | 0 vs. 4.8  | 0 vs. 6      | 0 vs. 7.2     |
| Peso canal fría (kg) | 21.025               | 22.600 | 23.500 | 24.550 | 0.516 | 0.010         | 0.742         | 0.184      | <b>0.050</b> | <b>0.010</b>  |
| Pierna derecha (%)   | 15.767               | 16.341 | 15.997 | 14.633 | 0.237 | <b>0.050</b>  | <b>0.023</b>  | 0.284      | 0.659        | <b>0.050</b>  |
| Pierna izquierda (%) | 16.595               | 16.972 | 16.504 | 14.876 | 0.130 | <b>0.0002</b> | <b>0.0006</b> | 0.206      | 0.750        | <b>0.0002</b> |
| Faldilla (%)         | 15.404               | 15.180 | 16.367 | 15.245 | 0.944 | 0.938         | 0.758         | 0.913      | 0.642        | 0.938         |
| Lomo (%)             | 9.176                | 9.280  | 9.635  | 7.989  | 0.570 | 0.352         | 0.333         | 0.933      | 0.713        | 0.352         |
| Rack (%)             | 9.666                | 10.204 | 9.860  | 9.652  | 0.239 | 0.979         | 0.325         | 0.316      | 0.710        | 0.970         |
| Cuello (%)           | 2.777                | 2.806  | 4.300  | 2.617  | 0.451 | 0.870         | 0.237         | 0.976      | 0.146        | 0.870         |
| Brazo derecho (%)    | 14.482               | 14.306 | 13.483 | 12.969 | 0.404 | 0.111         | 0.786         | 0.842      | 0.274        | 0.111         |
| Brazo izquierdo (%)  | 14.627               | 14.278 | 13.599 | 12.582 | 0.441 | 0.056         | 0.626         | 0.717      | 0.300        | 0.056         |

CZ: clorhidrato de zilpaterol (Grofactor® Virbac, México). EEM: error estándar de la media. L: Efecto lineal; C: efecto cuadrático; 0 vs. 4.8: contraste testigo versus 4.8 mg de zilpaterol / kg MS; 0 vs. 6: contraste testigo versus 6 mg de zilpaterol / kg MS; 0 vs. 7.2: contraste testigo versus mg de zilpaterol / kg MS.

## VIII. DISCUSIÓN

En el presente experimento se observó claramente un mejoramiento en el peso de la canal caliente, peso de la canal fría y rendimiento de la canal, al mostrar un comportamiento lineal ( $P < 0.03$ ), aumentado sus valores al aumentar la dosis de clorhidrato de zilpaterol, estos datos concuerdan con experimentos anteriores (Ríos *et al.*, 2010; Avendaño *et al.*, 2011; Partida *et al.*, 2015 y Avendaño *et al.*, 2018); en cambio la conformación de la canal mejora únicamente con la dosis de 6mg CZ/ kg MS ( $P = 0.018$ ). Es bien conocido que el CZ es un potente estimulador de la hipertrofia muscular, resultado de un recambio proteico (turn-over) positivo y a un redireccionamiento de la energía, al encontrarse mayor cantidad de sustratos disponibles para la síntesis de proteína muscular sucede el incremento de la masa muscular (Yang y McElligott, 1989 y Mersmann, 1998).

El perímetro de la pierna y grupa tienen un comportamiento cuadrático ( $P < 0.04$ ), siendo mejores a dosis intermedias; parecidos comportamientos fueron observados por otros autores (Avendaño *et al.*, 2011, 2018). Como ya se mencionó el clorhidrato de zilpaterol causa una hipertrofia muscular, si bien, el modo de acción se basa en la activación de los  $\beta_2$ -AR, estos receptores se encuentran en mayor proporción en el cuarto posterior del animal, donde predominan las fibras musculares tipo II, esto justifica que exista una mejor conformación muscular y que las mediciones morfométricas de la canal sean mejoradas únicamente en partes anatómicas posteriores como la grupa y pierna (Yang y McElligott, 1989; Mersmann, 1998 y Moody *et al.*, 2000). El efecto cuadrático es motivo de una desensibilización de los receptores influenciado por una alta concentración de ligando más que por una exposición crónica (Lortie, 2002 y Domínguez *et al.*, 2009).

Es bien conocido que el músculo está genéticamente (cantidad de ADN presente para la síntesis proteica) predeterminado para mostrar ciertas características morfológicas (tamaño del músculo), pero que éstas dependen de procesos bioquímicos (procesos enzimáticos encargados de catalizar los procesos de síntesis proteica) y pueden ser modificadas por cuestiones ambientales (factores

nutricionales y medio ambiente) (Baldwin y Black, 1979). En el presente estudio el clorhidrato de zilpaterol mostró claramente efectos positivos en el crecimiento muscular mostrándose de manera contundente en el rendimiento de la canal, resultado de mejorar los procesos bioquímicos, incrementando la velocidad enzimática del ARNm y aumentando la cantidad de sustratos energéticos disponibles para el incremento de síntesis proteica, a través de dos vías 1) mejorando la eficiencia energética al inhibir la lipogénesis, aumentando la gluconeogénesis y glucogenólisis y 2) al aumentar la perfusión sanguínea se asegura que estos sustratos lleguen al músculo y estén disponibles en el momento exacto para ser utilizados (Yang y McElligott, 1989; Mersmann, 1998 y Moody *et al.*, 2000).

La terminación de la canal, grasa subcutánea y grasa peri-renal no fueron afectadas por el clorhidrato de zilpaterol ( $P > 0.2$ ). Estos resultados coinciden con (Avendaño *et al.*, 2011, 2018-2). Una cosa es real en ningún experimento existe una disminución de la grasa subcutánea (Salinas *et al.*, 2004; Estrada *et al.*, 2008; Robles *et al.*, 2009; Mondragón *et al.*, 2010, Avendaño *et al.*, 2011; Dávila *et al.*, 2014; Rojo *et al.*, 2017 y Avendaño *et al.*, 2018). Sin embargo, si se reportan cambios en la grasa peri-renal (Mondragón *et al.*, 2010) y grasa pélvico-renal (Estrada *et al.*, 2008; Robles *et al.*, 2009; Dávila *et al.*, 2014; Rojo *et al.*, 2017; Avendaño *et al.*, 2018-1). El zilpaterol estimula la lipólisis mediante una serie de reacciones que terminan activando la lipasa hormono sensible. Sin embargo, la lipólisis está sujeta a regulación alostérica, es decir una vez que hay acumulación de metabolitos de los lípidos en el plasma y en las células el proceso se inhibe automáticamente, de esta manera el organismo mantiene la homeostasis; entonces la lipólisis terminará una vez que cubra el gasto energético requerido por el incremento de la síntesis de proteína muscular. Este gasto energético será suministrado primeramente por rutas metabólicas, como la glucogenólisis, posteriormente por la lipólisis principalmente en tejido adiposo acumulado en las vísceras, de allí que sólo existan disminuciones en el contenido graso pélvico-renal. Por lo que esta última será evidente sólo cuando el crecimiento muscular sea

elevado y/o cuando la ingesta energética no cubra los requerimientos (Murray *et al.*, 2009, López, 2010).

Respecto a las vísceras verdes y rojas, salea y cabeza expresadas en porcentaje de la canal no se encontraron diferencias significativas ( $P>0.10$ ), excepto para las patas anteriores que muestran un comportamiento lineal ( $P=0.021$ ), teniendo un peso más bajo en la dosis más alta de clorhidrato de zilpaterol. Estos resultados coinciden con los encontrados por Aguilera *et al.* (2008), quien no encuentra diferencias significativas en el peso del hígado y rumen ( $P>0.05$ ); de igual manera Ríos *et al.* (2010), demuestra que el clorhidrato de zilpaterol no afectó el peso del corazón, pulmones y estómago, pero sí redujo el peso del hígado ( $P=0.01$ ) y la grasa del mesenterio ( $P<0.01$ ), en añadidura Avendaño *et al.* (2011), no reporta efectos ( $P>0.25$ ) sobre el rumen, abomaso, omaso, intestino delgado, piel, corazón, hígado, riñones y pulmones; sin embargo, sí reporta disminución de peso para la cabeza ( $P<0.02$ ). Finalmente, Avendaño *et al.* (2018), en el experimento 1 reporta que los porcentajes de piel y patas disminuyeron linealmente ( $P<0.01$ ) al incrementar la dosis; la sangre, cabeza, hígado, estómago e intestino mostraron un efecto cuadrático ( $P=0.05$ ) al aumentar la dosis, con valores más bajos en dosis intermedias de zilpaterol. Los porcentajes de corazón, riñones, bazo y pulmones no fueron afectados ( $P>0.05$ ). Avendaño *et al.* (2018), en el experimento 2 observa que el zilpaterol redujo ( $P<0.03$ ) los porcentajes de sangre, hígado, bazo y estómago; incremento el porcentaje de los pulmones ( $P<0.01$ ) pero no afectó los porcentajes de piel, cabeza, patas, riñones e intestinos. En estos estudios se demuestra la capacidad que tiene el CZ para movilizar nutrientes almacenados en las distintas partes de los no-componentes de la canal y redirigirlos hacia la síntesis de proteína muscular; sin embargo, en este estudio a pesar de que existió un incremento en el peso de la canal no se observaron modificaciones en estos no-componentes de la canal, excepto en las patas anteriores.

El porcentaje de la pierna tuvo un comportamiento cuadrático ( $P<0.023$ ) mientras se aumentó la dosis, incluso teniendo un efecto negativo en la dosis más alta. El

zilpaterol no mejoró ( $P > 0.160$ ) partes como faldilla, lomo, Rack, brazo izquierdo y derecho. Estos resultados difieren a los resultados encontrados por Avendaño *et al.* (2011), donde reporta aumento en el porcentaje del cuello ( $P < 0.001$ ) y el lomo no presentó significancias, pero mostró tendencia a ser más pesado ( $P = 0.06$ ). En adición Avendaño *et al.* (2018), en el experimento 1 reporta que el zilpaterol no afectó los cortes como cuello, pierna y lomo. Finalmente Avendaño *et al.* (2018), en su experimento 2 observó que el zilpaterol no afectó los cortes como cuello, costillar y lomo, pero sí incrementó el porcentaje de la pierna ( $P < 0.03$ ).

Este incremento en el porcentaje de la pierna es justificado por un mayor número de receptores en esta región anatómica, consecuentemente el crecimiento muscular fue mayor respecto a los demás cortes y finalmente su peso manifestó una tendencia de aumentar; a pesar de esto la dosis más alta afectó el rendimiento de la pierna, resultado de una inhibición de los procesos de síntesis de proteína muscular a causa de una desfosforilación de los  $\beta_2$  AR estimulada por una alta concentración de cAMP intracelular; la desfosforilación de los receptores causó que el crecimiento particularmente de la pierna disminuyera, sin embargo, los demás cortes no se vieron afectados por lo que continuaron creciendo; en conclusión el valor relativo de la pierna fue menor por dos factores 1) disminución de su crecimiento y 2) crecimiento lento pero constante de los demás músculos.

## IX. CONCLUSIONES

El clorhidrato de zilpaterol (GroFactor®) tiene efecto positivo en las características de la canal. En este sentido, el rendimiento de la canal fue superior para los animales que fueron suplementados con CZ respecto al testigo, ya que la dosis más alta incrementó un 5.89 % el rendimiento de la canal, de forma que esto representa más ingresos económicos por la venta de animales en canal. Respecto a los cortes primarios, el CZ tuvo un efecto cuadrático en el porcentaje de la pierna ( $P < 0.01$ ), catalogado como un corte de precio medio. Sin embargo, el CZ no alteró los no-componentes de la canal, excepto las patas anteriores las cuales redujeron su peso expresados en porcentajes de forma lineal ( $P = 0.021$ ) al aumentar la dosis de CZ.

Según los resultados de este trabajo la dosis de 6 mg CZ/kg MS es la que permite obtener los mejores resultados, ya que mejora determinadas variables como peso y rendimiento de la canal fría, además de que no influye negativamente en los cortes primarios como la pierna.

## X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agüera-Morales, E. (2017). Respuesta in vivo de las células satélites a extractos musculares. Diferencias entre músculos lentos y rápidos. Tesis doctoral. Departamento de ciencias morfológicas. Facultad de Medicina y Enfermería. Universidad de Córdoba, España.
- Aguilera-Soto, J. I., Ramírez, R. G., Arechiga, C. F., Méndez-Llorente, F., López-Carlos, M. A., Silva-Ramos, J. M. & Duran-Roldan, F. M. (2008). Zilpaterol hydrochloride on performance and sperm quality of lambs fed wet brewers grains. *Journal of Applied Animal Research*, 34(1), 17-21.
- AMCO (2007). Asociación mexicana de ovinocultores. ([http://uno.org.mx/images/razas\\_ovinas/index.html](http://uno.org.mx/images/razas_ovinas/index.html)). [Abril 2017]
- Arias, R. A., Mader, T. L., & Escobar, P. C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de medicina veterinaria*, 40(1), 7-22.
- Avendaño-Reyes L., Torres-Rodríguez, V.F., Meraz-Murillo, Phz-Linares,J.C., Figuema-Saavedra, F. and Robinson, P.H. 2006. Effects of two B-adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. *J. Anim. Sci.*, 84: 3259-3265.
- Avendaño-Reyes, I., Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F. D., Águila-Tepato, E, Torrentera-Olivera, N. G. and Soto-Navarro, S. A. (2011). Effects of zilpaterol hydrochloride on growth performance, carcass characteristics, and wholesale cut yield of hair-breed ewe lambs consuming feedlot diets under moderate environmental conditions. *J ANIM SCI* 2011, 89:4188-4194.
- Avendaño-Reyes, L., Torrentera-Oliveraa, N. G., Correa-Calderón, A., López-Rincón, G., Soto-Navarro, S. A., Rojo-Rubio, R., Guerra-Lierae, J. E. and Macías-Cruza, U. (2018). Daily optimal level of a generic beta-agonist based on zilpaterol hydrochloride for feedlot hair lambs. *Small Ruminant Research* 165 (2018) 48-53.
- Baldwin, R. L. and Black, J. L. (1979). Simulation of the effects of nutritional and physiological status on the growth of mammalian tissues: description and

evaluation of a computer program. Animal Research Laboratories Technical Paper 6. Commonwealth Science and Industrial. Research Organization, Melbourne, Australia.

Bianchi, G., Bentancur, O., & Sañudo, C. (2004). Efecto del tipo genético y del tiempo de maduración sobre la terneza de la carne de corderos pesados. *Agrociencia*, 8(1), 41-49.

Bianchi, G., Feed-Boliolo, O. D., Caputti, P., Méndez-Perdomo, C. F., Bielli-Pallela, A., Grompone, M.A., Albertí-Lasalle, P., Ripoli, G., Cabrera- Díaz, E., Varela-Hernández, J. J., Campos-Bravo, C. A., Castillo, A., Sañudo-Astiz, C., Campo-Arribas, M. M., Scognamiglio, J. F., Muela-Garrido, E., Beltrán-García, J. A., Ballesteros-Sepe, F., Gallo-Stegmaier, C., Chagas-Jacinto, M. A. y Dassatti-Razabone, G. O. Introducción a la Ciencia de la carne (2009). Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. Pp 551.

Buxadé-Carbo, C. (S.F.). Ovinos carne: aspectos clave. (<https://www.google.com.mx/search?ei=6A2xW43bFcqEsAW-tqCQBw&q=ovino+de+carne%3A+aspectos+clave+pdf&oq=ovino+de+carne%3A+aspectos+clave+pdf&gs>). [Septiembre 2018].

Codex Alimentarius. 2015. Límites máximos de residuos y recomendaciones sobre la gestión de riesgos para residuos de medicamentos veterinarios en los alimentos. 38a reunion de la Comisión del Codex Alimentarius FAO/OMS. Roma, Italia. pp. 40. (<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/standards/vetdrugs/es/>). [Abril 2017].

Codex alimentarius (2016). Anteproyecto de IMR para ivermectina (grasa, riñón, y músculo de bovino), teflubenzurón (filete y músculo de salmón) y clorhidrato de zilpaterol (grasa, riñón, hígado y músculo de bovino). Vigésima tercera reunión de comisión del codex alimentarius FAO/OMS. Roma, Italia. pp. 3. (<http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh->). [Abril 2017].

Colomer-Rocher, F. 1984. Metodología de clasificación de canales ovinas. Oleaginosas Españolas, Madrid, España.

- Cronje, P. (2000). Ruminant physiology digestion, metabolism, growth and reproduction (2000).CABI publishing. EUA.
- Cuellar-Ordaz, J. A., Tórtora-Pérez, J., Trejo-González, A. y Román-Reyes, P. (2012). La producción ovina mexicana Particularidades y complejidades. Primera edición. Editorial acriba. México. pp 178.
- Delfa, R., Lahoz, F. and González, C. 1995. Modelos de clasificación de canales ovinas en la Unión Europea. Eurocarne. 37:37-44.
- Domínguez-Vara, I. A., Mondragón-Anselmo, J., González-Ronquillo, M., Salazar-García, F., Bórquez-Gastelum, J. L. y Aragón-Martínez, A. (2009). Los B-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, Noviembre-Febrero, 278-284.
- Errecalde, C., Prieto, G., Lüders, C., & Ovando, H. G. (2003). Fármacos  $\beta$ -adrenérgicos en producción animal. Seguridad alimentaria y calidad cárnica.
- Fajardo-Zapata, Álvaro L., Méndez-Casallas, Francy J., Molina, Luis H., Residuos de fármacos anabolizantes en carnes destinadas al consumo humano. Universitas Scientiarum [en línea] 2011, 16 (Enero-Abril). [Septiembre de 2017].
- Fernández-López, F. (1993). Betagonistas en producción animal. (<https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/3769/05-1993-02.pdf?sequence=1>). [Septiembre 2017].
- Fiems, L. (1987). Effect of beta-adrenergic agonists in animal production and their mode of action. Ann Zootech b36 (3): 271-290.
- FND (2015).Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero. Panorama de la carne y lana de ovino. (<http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Ficha%20Ovino.pdf>).[Abril 2017].
- Herrera-Haro, J. y García-Artiga, C. (2010). Bioestadística en ciencias veterinarias Procedimientos de análisis de datos con SAS. Editado por la Universidad complutense de Madrid, España.

- INAC, (S.F.). Instituto Nacional de Carnes. Manual de cortes de carnes alternativas para abasto conejo - cerdo - pollo – ovinos. Montevideo, Uruguay. ([www.inac.gub.uy](http://www.inac.gub.uy)). [Septiembre 2018].
- INEGI, (2009). Instituto nacional de estadística y geografía ([http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/15/15086.pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15086.pdf)). [septiembre 2018].
- Ishikawa, C., Ogawa, T., Ikawa, T., & Yamane, A. (2009). Effects of clenbuterol, a  $\beta_2$ -adrenergic agonist, on sizes of masseter, temporalis, digastric, and tongue muscles. *The open dentistry journal*, 3, 191.
- Karg, H. (1989). Manipulation of growth. *Biotechnology for Livestock Production, Plenum Press, New York and London*, 18, 159-180.
- Lawrie, R. Ciencia de la carne (1998). Tercera edición. Editorial acribia. Zaragoza, España.
- López-Carlos, M. A. (2010). Efecto de dos agonistas  $\beta$  adrenérgicos sobre las características de crecimiento y de la canal en ovinos. Tesis doctoral. Facultad de ciencias biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Lortie, M. (2002). The rainbow trout muscle  $\beta_2$ -agonist feeding. Thesis of de masters. Masters of science in biology. University of Ottawa.
- Macías-Cruz, U., Avendaño-Reyes, L., Álvarez-Valenzuela, F. D., Torrentera-Olivera, N. G., Meza-Herrera, C., Mellado-Bosque, M., & Correa-Calderón, A. (2013). Crecimiento y características de canal en corderas tratadas con clorhidrato de zilpaterol durante primavera y verano. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 4(1), 1-12.
- Magaña-Monforte, J. G., Moo-Catzin, C. J., Chay-Canul, A. J., Aké-López, J. R., Segura-Correa, J. C. y Montés-Pérez, R. C. (2015). Crecimiento y componentes de la canal de ovinos de pelo en jaulas elevadas. *Livestock Research for Rural Development* 27 (6) 2015.
- Mersmann, H. J. (1998). Overview of the effects of beta-adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action. *Journal of animal science*, 76(1), 160-172.

- Mondragón, J., Domínguez-Vara, I. A., Pinos-Rodríguez, J. M., González, M., Bórquez, J., Domínguez, A. and Mejía, M. L. (2010). Effects of feed supplementation of zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass traits of finishing lambs. *Animal Science*, 601, 47-52.
- Moody, D. E., Hancock, D. L., & Anderson, D. B. (2000). Phenethanolamine repartitioning agents. *Farm animal metabolism and nutrition*, 65-96.
- Moreno, M.J., Martínez, J.A. El tejido adiposo: órgano de almacenamiento y órgano secretor. *An Sist Sanit Navar* 2002;25 Suppl 1:29-39.
- Morgan, DJ. Clinical pharmacokinetics of beta-agonists. *Clin Pharmacocinet* 1990;18:270-294.
- Murray, R.; Bender, D.; Botham, K.; Kennelly, P.; Rodwell, P. y Weil, P. (2009). Harper bioquímica ilustrada. Edición 8. McGrawHill. Mexico D.F.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-061-ZOO-1999, Especificaciones zoosanitarias de los productos alimenticios para consumo animal.
- Nourozi, M.; M. Abazari; M. Mohammadi; M.Raisianzadeh and A. ZareShahne (2005). "Effect of Two Beta-Adrenergic Agonists on Performance and Carcass Composition of an Iranian Native Breed of Sheep", *Pakistan Journal of Nutrition*. Vol. 4, Núm. 6.
- NRC, 1994. National Research Council - Board on Agriculture. *Metabolic Modifiers: Effects on the Nutrient Requirements of Food Producing Animals*. National Academy Press. Washington, D.C., EUA. (<http://nap.edu/2306>). [Abril 2017].
- OECD-FAO (2016). Food and Agriculture Organization of the United Nations. (<http://www.agri-outlook.org/>). [Abril 2017].
- Panorama de la carne y lana ovino (2015). Financiera de Desarrollo Nacional Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero. (<http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Ficha%20Ovino.pdf>). [Marzo 2017].
- Partida de la Peña, J. A., Ríos-Rincón, F. G., Cruz-Colín, L., Domínguez-Vara, I. A. y Buen-Día, G. (2017). Caracterización de las canales ovinas producidas en México. *Revista Mexicana de ciencias Pecuarias*. 8(3):269.277.

- Partida de la Peña, J. A., Rodríguez, C., Alejandra, T., & Rubio-Lozano, M. S. (2015). Efecto del clorhidrato de zilpaterol sobre las características de la canal en cruzas terminales de corderos Kathadin. *Veterinaria México OA*, 2(2), 01-13.
- Plascencia, A., Torrentera, N and Zinn, R. A. (1999). Influence of the agonist, zilpaterol, on growth performance and carcass characteristics of feedlot steers. *American Society of Animal Science*. Vol. 50, 1999.
- Price, J. y Schweigert, B. *Ciencia de la carne y de los productos cárnicos* (1994). Segunda edición. Editorial acribia. Zaragoza España.
- Rebollar-Rebollar, S., Rojo-Rubio, R., Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F. D., Correa-Calderón, A. y Soto-Navarro, S. (2015). Análisis económico del uso de clorhidrato de zilpaterol en la alimentación de corderas. *Investigación y Ciencia*, Enero-Abril, 5-10.
- Ricks C. A., Baker P.K. y Dalymple R.H. (1984). Use of repartition to improve performance and body composition of meat animals. *Reciprocal meat conference proceedings*, Volume 37, 1984.
- Rincón, F. G. R., Bautista, J. H., Raúl, H., Gaxiola, G., González, F. A. N., Francisco, J., & Obregon, J. J. P. L. (2010). Nivel de adición de HCl-ractopamina en la respuesta productiva, características de la canal y calidad de la carne de cerdos. *Nacameh Vol.2, No.2*, pp 85-95, 2010.
- Ríos-Rincón, F. G., Barreras-Serrano, A., Estrada-Angulo, A., Obregón, J. F., Plascencia-Jorquera, A., Portillo-Loera, J. J., & Zinn, R. A. (2010). Effect of level of dietary zilpaterol hydrochloride ( $\beta$ 2-agonist) on performance, carcass characteristics and visceral organ mass in hairy lambs fed all-concentrate diets. *Journal of Applied Animal Research*, 38(1), 33-38.
- Robles-Estrada, J. C., Barreras-Serrano, A., Contreras, G., Estrada-Angulo, A., Obregón, J. F., Plascencia, A., & Ríos, F. G. (2009). Effect of two  $\beta$ -adrenergic agonists on finishing performance and carcass characteristics in lambs fed all-concentrate diets. *Journal of Applied Animal Research*, 36(1), 33-36.

- Rodrigo, G. J., & Rodrigo, C. (2002). Controversias sobre el uso de los agonistas beta en el tratamiento del asma aguda. *Archivos de Bronconeumología*, 38(7), 322-328.
- Rodríguez-Gaxiola, M. A. (2015). Efecto de la complementación dietaria del clorhidrato de zilpaterol y su interacción con zinc y cromo orgánicos en la respuesta productiva, características de la canal y calidad de la carne de bovinos y ovinos en engorda intensiva. Tesis doctoral. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Romero-Anaya, A. M. (2011). Efecto del clorhidrato de ractopamina sobre el comportamiento productivo y características de la carne de ovinos en finalización. Tesis doctoral. Ciencias agrícolas. Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México.
- Salinas-Chavira, J., Ramírez, R. G., Domínguez-Muñoz, M., Palomo-Cruz, R., & López-Acuña, V. H. (2004). Influence of zilpaterol hydrochloride on growth and carcass characteristics of Pelibuey lambs. *Journal of Applied Animal Research*, 26(1), 13-16.
- Sanjuan, A. I., Garcia, M. S., & Akl, G. (2001). El distintivo de calidad como indicador de seguridad alimenticia en carne de vacuno y cordero. *Economía agraria y recursos naturales*, (1), 77-94.
- SAS., Institute. 1991. SAS User's Guide: Statistics. Ver.5. SAS Institute. Cary, N.C. USA. 956 p.
- Shahrbabak, M.S., Y. Rozbahan, M.M. Shahrbabak and H.M. Shahrbabak, 2009. Influence of different levels of digestible undegradable protein on the carcass characteristic of Kermani male lambs in Iran. *Int. J. Agri. Biol.*, 11: 643–646
- SIAP (2015). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. ([http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecAvanceProd.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp)). [Abril 2017).
- Solomon, M. B. (2004). Effect of animal production on meat quality. In *Quality of Fresh and Processed Foods* (pp. 1-23). Springer US.

- Soria, L. A. y Corva, P. M. (2004). Factores genéticos y ambientales que determinan la terneza de la carne bovina. Área de Genética. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad de Buenos Aires. Argentina. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 2004. 12(2): 73-88
- Steel, R.G.D., Torrie, J.H. 1980. Principles and Procedures of Statistics, 2<sup>nd</sup> ed. McGraw-Hill International, New York, NY, USA.
- Sumano, H., Ocampo, L., & Gutiérrez, L. (2002). Clenbuterol y otros  $\beta$ -agonistas, ¿Una opción para la producción pecuaria o un riesgo para la salud pública? Clenbuterol and other  $\beta$ -agonists, are they an option for meat production or a threat for public health? *Vet. Mex*, 33(2), 137.
- Sumano, L. H. y Ocampo, C. L. 1997. FARMACOLOGÍA VETERINARIA. Segunda edición. McGraw-Hill Interamericana. 680 pp.
- Taleisnik, S. Tipos de receptores y la transducción de señales (2006). 1ra edición. Grupo editor encuentro. (<https://books.google.com.mx/books?id=wFWEimjnGr4C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>). [Septiembre 2017].
- Torrescano-Urutia, G.R., Sánchez-Escalante, A., Peuri-Molina, F. J., Velásquez-Claudio. J y Sierra-Ramiro, T. (2009). Características de la canal y calidad de carne de ovinos Pelibuey, engordados en Hermosillo, Sonora. *Biotecnia*, vol. XI, No 1, enero-abril 2009.
- UNO (2016). Unión Nacional de Ovinocultores. (<http://www.uno.org.mx/comercializacion/produccionnacionalimportaciones.html>).[Marzo 2017].
- Valladares-Carranza, B., Bañuelos-Valenzuela, R., Peña-Betancourt, S. D., Velázquez-Ordoñez, V., Echavarría-Cháirez, F. G., Muro-Reyes, A. & Gutiérrez-Castillo, A. (2015). Implicaciones del uso de clorhidrato de clenbuterol en la. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 16(2), 1-13.
- Vargas-Orellana, C. R. y Longo-Joachi, P. A. (2017). Evaluación de dos presentaciones comerciales de clorhidrato de zilpaterol (Zilmax®) y (GroFactor®) como aditivos en la dieta para finalización de toretes confinados,

Finca Santa Fe, Petén, Guatemala. Tesis de licenciatura. Carrera de Ingeniería Agronómica. Escuela panamericana, Zamorano. Honduras.

Vázquez-Soria, E. T., Partida de la Peña, J. A., Rubio-Lozano, M. S. y Méndez-Medina, D (2011). Productive performance and carcass characteristics in lambs from crosses between Katahdin ewes and rams from four specialized meat breeds. *Rev Mex Cienc Pecu* 2011;2(3)A:247-258.

Yang Y.T. y McElliogott M. A. (1989). Multiple action of  $\beta$ -adrenergic agonists on skeletal muscle and adipose tissue. *Biochem. J.* (1989) 261, 1-10.