



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

“RESPUESTA PRODUCTIVA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE
OVINOS EN ENGORDA INTENSIVA SUPLEMENTADOS CON CROMO
ORGÁNICO Y CLORHIDRATO DE ZILPATEROL”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA:
LUIS ANGEL GONZAGA VALENCIA

ASESORES:
DR. IGNACIO ARTURO DOMÍNGUEZ VARA
DR. ERNESTO MORALES ALMARÁZ
DRA. MARÍA A. MARIEZCURRENA BERASAIN

Revisores:
M en C. Benjamín Valladares Carranza
M en C. P. Arturo García Álvarez

Toluca México, agosto de 2016.



AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas personas que me apoyaron con su tiempo, consejos y conocimientos que me sirvieron para culminar este trabajo.

A mi familia

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Al Dr. Ignacio A. Domínguez Vara

**RESPUESTA PRODUCTIVA Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL DE OVINOS
EN ENGORDA INTENSIVA SUPLEMENTADOS CON CROMO ORGÁNICO Y
CLORHIDRATO DE ZILPATEROL**

Abreviaturas	
BAA	Beta Agonistas Adrenérgicos
BS	Base Seca
CA	Conversión Alimenticia
Cm²	Centímetros Cuadrados
CMS	Consumo de Materia Seca
Cr	Cromo
CRA	Capacidad de Retención de Agua
CZ	Clorhidrato de Zilpaterol
D	Días
DFD	Dark-Firm-Dry
EA	Eficiencia Alimenticia
GDP	Ganancia Diaria de Peso
H	Horas
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
Kg	Kilogramos
Mg	Miligramos
Mm	Milímetros
MS	Materia Seca
NOM	Norma Oficial Mexicana
Pbb	Polibromobifenilos
PCC	Pesos Canal Caliente
PCF	Peso Canal Fría
ppm	Partes por millón
PV	Peso Vivo
PVS	Pesos Vivo al Sacrificio
SAGARPA	Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SC	Subcutáneo
UE	Unidades Experimentales

INDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
Abreviaturas	iv
Índice de cuadros	vii
Índice de figuras	vii
RESUMEN	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Importancia de la nutrición en la producción pecuaria.....	5
2.3. Situación actual de la producción ovina en México	5
2.4. Alternativas nutricionales en la producción ovina del país	8
2.4.1. Beta agonistas adrenérgicos.....	9
2.4.2. Receptores α y β adrenérgicos	10
2.4.2.1. Receptores β -adrenérgicos.....	10
2.4.2.2. Agonistas β -adrenérgicos.....	12
2.4.2.3. Mecanismo de acción	13
2.5. Uso de clorhidrato de zilpaterol (CZ) en la producción pecuaria.....	16
2.5.1. Inocuidad de la carne	16
2.6. Impacto de los β -agonistas en salud pública.....	18
2.7. Cromo	18
2.7.1. Importancia del cromo en la nutrición animal	19
2.7.2. Fuentes orgánicas de cromo disponibles	20
2.7.3. Metabolismo del cromo	20
2.7.4. Función del cromo en el sistema inmune	21
2.7.5. Requerimientos, deficiencia y toxicidad.....	21
2.7.6. Uso del cromo en la producción pecuaria.....	22
3. JUSTIFICACIÓN	25
4. HIPÓTESIS	27
5. OBJETIVOS	28
6. MATERIAL Y MÉTODO	29
7. LÍMITE DE ESPACIO	38

8. LÍMITE DE TIEMPO.....	39
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
10. CONCLUSIONES	46
11. LITERATURA CITADA.....	47

Índice de cuadros	Página
Cuadro 1. Localización y acción de los tres tipos de receptores β.	11
Cuadro 2. Composición de la dieta basal y aporte nutrimental calculado (% BS).	30
Cuadro 3. Efecto del clorhidrato de zilpaterol y cromo orgánico en la eficiencia del crecimiento de ovinos en engorda intensiva.	41
Cuadro 4. Efecto del clorhidrato de zilpaterol y cromo orgánico en las características de la canal de ovinos en engorda intensiva.	42

Índice de figuras	Página
Figura 1. Distribución porcentual de la población ovina en México.	7
Figura 2. Clasificación Europea de las canales de ovino	33
Figura 3. Grados de engrasamiento de las canales de ovino de acuerdo a la clasificación europea	34

RESUMEN

Veintiocho corderos Rambouillet (23.4 ± 0.18 kg) se utilizaron en una engorda de 74 d para evaluar el efecto del clorhidrato de zilpaterol (CZ) y levadura enriquecida con Cr (LCR) en el rendimiento productivo y las características de la canal. Los corderos se pesaron y asignaron individualmente en corrales de 1.2 x 2.5 m con piso de concreto. Fueron asignados al azar a cuatro tratamientos: 1) Una dieta de 85% de concentrado, con 13.9% de PC y 7.83 MJ ENm kg⁻¹, formuladas a partir de grano de maíz y harina de soya (testigo); 2) Dieta testigo más 0.15 mg de CZ kg⁻¹ PV durante los últimos 28 d de engorda (CZ); 3) Dieta testigo más 0.25 mg de Cr kg⁻¹ MS (LCR); y 4) Dieta testigo más CZ y LCR. El CZ se añadió como Zilmax® (Merck Salud Animal) y el Cr se suministró como levadura enriquecida con Cr, BioChrome® (Alltech). Los resultados fueron analizados como un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2 de tratamientos. Los datos se analizaron por covarianza, utilizando el peso inicial como la covariable asociada. El peso vivo final, la ganancia de peso total y ganancia diaria de peso tendieron a cambiar de forma positiva ($P=0.10$, $P=0.10$ y $P=0.07$) en los ovinos con CZ; asimismo, el CZ mejoró ($P=0.02$) 7.94 % la conversión y 7.92 % la eficiencia alimenticia. El consumo de alimento no fue afectado ($P>0.10$) por el CZ, el Cr o la interacción entre ambos. La adición de Cr en la dieta no afectó ($P>0.10$) la respuesta productiva; asimismo, no hubo efecto ($P>0.10$) de la interacción de CZ con el Cr en el crecimiento de los corderos. El PV al sacrificio no fue diferente ($P>0.10$). El peso de la canal caliente ($P=0.10$) y fría ($P=0.07$) tendió a aumentar por el CZ. Las canales de los ovinos con CZ y Cr tendieron ($P=0.08$; $P=0.10$) a reducir la pérdida por enfriamiento. El Cr tendió ($P=0.10$) a aumentar el espesor de grasa dorsal y el grado de engrasamiento ($P=0.08$). El CZ aumentó ($P<0.01$) la conformación muscular, el ancho y el perímetro de la grupa. El rendimiento en canal, el área del *longissimus thoracis* y la grasa perirrenal no fueron afectados ($P>0.10$) por los tratamientos. Se concluye que el CZ mejoró la respuesta productiva y las características de la canal; el Cr no afectó el crecimiento ni las características de la canal, quizás porque no fue suficiente para producir la respuesta esperada, por lo tanto, se debe seguir investigando sobre los requerimientos del Cr en ovinos en engorda.

Palabras clave: Cromo, Corderos, Crecimiento, Engorda, Canales, Zilpaterol.

1. INTRODUCCIÓN

El campo de la nutrición en la producción animal representa un pilar importante ya que de ello dependen diversos aspectos tales como la rentabilidad obtenida por el productor, la demanda en el consumo de los productos pecuarios por parte de la población y en consecuencia el éxito o fracaso de cualquier unidad de producción pecuaria (Partida *et al.*, 2013).

El aspecto nutricional es el rubro en el que el productor invierte la mayor parte de su capital, por ello es básico que siempre se busque ahorrar el máximo sin descuidar los requerimientos nutricionales, buscando ser sumamente eficientes para que la rentabilidad obtenida al final de la producción animal sea redituable (Partida *et al.*, 2013).

En México, la especie ovina tiene un gran potencial productivo debido a la gran diversidad de climas y a las grandes extensiones de tierra (zonas montañosas, boscosas, llanos) con condiciones favorables para su cría (INEGI, 2012).

La creciente demanda en la carne de ovino a nivel nacional ha obligado a los productores a aumentar su producción ya que está no es suficiente para satisfacer las demandas de la población mexicana, por lo que el engordador de ovinos tiene que ser altamente eficiente, es decir engordar animales en el menor tiempo posible, produciendo calidad y cantidad sin que esto represente costos muy elevados por concepto de alimentación. Para ello es necesario buscar, analizar y hacer validas nuevas alternativas que incrementen la producción de cordero de abasto sin alterar la composición física y química en la canal (Shimada, 2003).

Es importante producir carne de calidad y sana que no ponga en riesgo la salud de los consumidores, para ello es bueno implementar buenas prácticas de producción pecuaria, lo que implica hacer un buen manejo de los ingredientes empleados respetando tiempos de

retiro para los aditivos o promotores de crecimiento empleados durante el período de engorda, con la finalidad de proveer un producto final inocuo y seguro para la salud del consumidor (Domínguez *et al.*, 2009).

En la actualidad se encuentran diversas alternativas como los agonistas β -adrenérgicos que en la producción animal se usan con frecuencia con la finalidad de mejorar el rendimiento y la calidad de la canal de las especies pecuarias productoras de carne como son ovinos, bovinos y cerdos, principalmente (Casaya, 2011).

Estudios recientes han demostrado que el empleo de agonistas β -adrenérgicos, principalmente clenbuterol y zilpaterol, en los bovinos incrementan la ganancia de peso, disminuyen la conversión alimenticia, aumentan la calidad de la canal; pero el uso del primero no está autorizado debido al mal manejo por parte de los productores y a su efecto residual en las canales, constituyendo un riesgo para la salud de los consumidores (Domínguez *et al.*, 2009).

Así mismo, el clorhidrato de zilpaterol, en las dosis aprobadas, no constituye riesgo por ser un fármaco débil, que puede biotransformarse y ser eliminado con rapidez en los animales (Domínguez *et al.*, 2009).

Por otro lado, se tiene otras opciones como son los minerales quelados, uno de ellos es el cromo orgánico, que es esencial en el metabolismo de los nutrientes como lípidos, aminoácidos y glúcidos; es parte estructural del Factor de Tolerancia a la Glucosa (FTG), y entre otras funciones aumenta el potencial de la insulina en la célula. Las fuentes de Cr orgánico que se han usado son: el picolinato, tripicolinato y nicotinato de Cr, y la levadura rica en Cr; las cuales se han usado en humanos para reducir el contenido de colesterol y triglicéridos, y para mejorar las características de la canal en cerdos, ovinos y bovinos productores de carne; al ser estos productos orgánicos no constituyen ningún riesgo para la salud humana o animal, y son una alternativa para producir canales más magras y con

mayor rendimiento; además de que pueden aumentar la eficiencia en el uso de los alimentos en especies pecuarias y la rentabilidad para el productor de carne (Rodríguez *et al.*, 2011).

Tanto el clorhidrato de zilpaterol (Mondragón *et al.*, 2010) como el Cr orgánico (Domínguez *et al.*, 2009; Moreno, 2010) se han probado de forma individual para evaluar su efecto en la respuesta productiva y características de la canal de ovinos en engorda, pero no se ha estudiado si al suministrarse de forma simultánea se logra un efecto sinérgico en el crecimiento y composición de la canal de ovinos en engorda.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar si el Cr orgánico, suministrado en la fase de crecimiento y finalización, y el zilpaterol suministrado en la etapa de finalización, sólo o combinado con Cr orgánico, mejoran la respuesta productiva y las características de la canal de ovinos de genotipo $\frac{3}{4}$ Rambouillet en engorda con alimentación intensiva.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Una de las necesidades fundamentales del hombre a través de su desarrollo evolutivo e histórico ha sido la adecuada procuración de alimentos. El caótico crecimiento de la población humana que se espera sea de 10 mil millones para el año 2050, ejercerá una enorme presión sobre la ya de por sí insuficiente producción de alimentos, que tendrá que duplicarse, y no solo eso sino que además deberán ser alimentos de calidad nutrimental e inocuos que no comprometan la salud pública (Partida *et al.*, 2013).

En México la ovinocultura se orienta principalmente a la producción de carne, en el año 2009 el inventario nacional de ovinos fue de 7,800,000 cabezas, originando una producción de carne de 53,740 ton. Esto lleva a una participación porcentual de la producción nacional de 70%, y el 30% restante corresponde a las importaciones, según datos oficiales reportados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2012).

La producción de carne de ovino en México es insuficiente para abastecer la demanda del mercado nacional, por lo cual aproximadamente el 30 % de la carne consumida en el país es importada de Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda, Chile y Uruguay. Por ello es necesario buscar alternativas que generen la implementación de nuevas prácticas pecuarias para volver a los sistemas de producción cada vez más competitivos y corregir este problema (Arbiza y De Lucas, 2000).

En este sentido, la búsqueda de productos como los aditivos alimenticios para mejorar el crecimiento y reducir los periodos de engorda en ovinos ha sido una constante en los últimos años (Mondragón *et al.*, 2010).

2.2. Importancia de la nutrición en la producción pecuaria

La producción pecuaria exige que las estrategias empleadas en la nutrición animal sean eficientes y de esta manera siga siendo rentable y competitiva para el productor, ello depende de la constante aplicación de nuevos conocimientos y tecnología sin afectar la inocuidad de los alimentos y garantizando la estabilidad de la salud pública y la salud animal (Mondragon *et al.*, 2012).

En un mundo de recursos finitos, la población humana que crece con gran rapidez, significa un desafío importante para la producción pecuaria y todos los sectores de la sociedad. El suministro adecuado de alimentos depende de los resultados continuos de la investigación en las ciencias agropecuarias, así como de la aplicación de nuevos conocimientos a la solución de problemas relacionados con la producción de alimento nutritivo, seguro y sano (Church *et al.*, 2002).

De las divisiones que tiene la zootecnia: nutrición, reproducción, alimentación y mejoramiento genético; la nutrición es la más importante desde el punto de vista cuantitativo y económico ya que dependiendo de la especie animal representa entre el 60 y 85 % de los costos de producción (Shimada, 2003).

2.3. Situación actual de la producción ovina en México

A pesar de que México ha ido avanzando en mejorar su productividad, sólo genera el 70% de la carne ovina que consume, por lo que tiene un mercado interno potencial de unas 30,000 toneladas anuales. Además, nuestro país ha recibido la petición de exportar carne y animales a países como Jordania, Turquía, Libia, India y Corea del Sur, además de Centroamérica (Arteaga, 2012).

Las tendencias en el contexto mundial indican que la producción de cordero se mantendrá estable en los próximos años, pero se prevé un aumento en el precio porque habrá más demanda, sobre todo en los países en vías de desarrollo (FAO, 2013). Las estimaciones indican que el grupo E7, compuesto por China, India, Brasil, Indonesia, México y Turquía tendrán, en el 2050, un poder adquisitivo 75% mayor que el que tiene actualmente el grupo G7 (Estados Unidos, Japón, Alemania, Inglaterra, Francia, Italia y Canadá) (Hawksworth, 2006). Por todo esto, se requiere difundir la información existente y divulgar las nuevas tecnologías para que los ovinocultores conozcan las distintas opciones disponibles para lograr productos de excelente calidad, ya que a través del conocimiento aplicado como se espera contribuir a lograr mayores oportunidades para la ovinocultura de nuestro país, que le permitan incrementar su productividad y competitividad, tanto en el mercado nacional, como en el internacional.

La ovinocultura actual tiene varias tendencias. El fin productivo de tener ovejas puede ser de tres tipos:

Subsistencia. Se tienen ovejas de traspatio, sin ningún manejo y el objetivo es como un mecanismo de ahorro, en el cual invierten algo de tiempo en el cuidado de las ovejas y a cambio no les exigen más producción salvo que naturalmente sobrevivan. Tienen ovinos para eventos o fiestas familiares, alguna emergencia económica y nada más.

Pasatiempo. Generalmente lo hacen personas con alto poder adquisitivo. Compran sementales y vientres caros sin importarles el número ni la producción de ellos. Son sistemas que no necesariamente son eficientes en su producción y por supuesto no son rentables.

Empresa. Son los sistemas en que se cuida la eficiencia productiva del rebaño, existe inversión, uso de tecnología avanzada y asesoría técnica profesional. Su objetivo es la rentabilidad.

Actualmente 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 (PROGAN, 2010). 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 como (Katahdin, Dorper y Pelibuey); la región sur-sureste se orienta principalmente a la producción de carne con razas de pelo (Pelibuey, Black Belly, Katahdin y Dorper) y produce un poco de lana para uso artesanal con animales criollos en Oaxaca y Chiapas; la zona norte 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 (Pelibuey, Katahdin y Dorper).

El inventario ovino en las últimas estadísticas de la SAGARPA (2012), en México existen 8,219,386 cabezas ovinas, de las cuales el 70.9% se localiza en diez Estados de la República y sólo el 29.1% se ubica en las 21 Entidades Federativas restantes (Figura 1).



Figura 1. Distribución porcentual de la población ovina en México (SAGARPA, 2012).

La producción nacional de carne de ovino en canal durante el año 2011 fue de 56,546 ton., con un precio estimado en poco más de 212.5 millones de dólares (SAGARPA, 2011). Esta producción satisfacía el 70% del consumo nacional aparente, estimado en 80,780 toneladas de carne en canal, el 30% restante se cubrió con carne importada de Australia, Nueva Zelanda y Estados Unidos.

Lo cual nos lleva a decir que la baja productividad en México se debe a muchos factores, pero el principal es que no se implementan adecuadas estrategias de alimentación, lo que origina parámetros productivos muy deficientes, retrasando el ciclo de producción ovina, lo que deja de ser redituable para el productor (Soto *et al.*, 2006).

La situación actual de la producción de carne ovina sugiere que la engorda de corderos se lleve a cabo bajo condiciones de confinamiento, en corrales de engorda con dietas basadas en granos, pero además que sean altamente eficientes y económicamente factibles (Mondragón *et al.*, 2012)

2.4. Alternativas nutricionales en la producción ovina del país

El objetivo y reto de la producción ovina en el país es proveer una elevada cantidad de productos que cubran las demandas actuales de la población consumidora, pero no solo ello, ya que además de cantidad, se debe producir con calidad e inocuidad buscando satisfacer el gusto de los consumidores sin que ello comprometa la salud pública y la economía del productor para que la producción siga siendo redituable para los productores y consumidores (Reséndiz *et al.*, 2012),

Existen diversas alternativas para mejorar el aspecto nutricional en el rebaño ovino, desde el buen manejo de una pradera hasta la implementación de tecnología que permita obtener mayores rendimientos productivos, pero por el auge e importancia que actualmente tienen algunos aditivos como los β -agonistas y el cromo se proponen como dos muy buenas

opciones para incrementar la producción ovina y la calidad de la carne (Domínguez *et al.*, 2009; Reséndiz *et al.*, 2012).

La razón de emplear este tipo de aditivos es porque el mercado actual exige a los productores ante el constante crecimiento poblacional, a los diversos problemas de salud relacionados con un exceso de grasa en la carne y a la demanda de alimento, se produzca carne de forma eficiente e inocua, es decir en forma rápida, produciendo calidad pero además seguridad para la salud de los animales y de los consumidores (Domínguez *et al.*, 2009).

2.4.1. Beta agonistas adrenérgicos

En el manual Merck de Veterinaria (1993), se menciona que los fármacos que son capaces de reaccionar con receptores específicos y luego producir una respuesta definida, y que poseen afinidad y actividad intrínseca se les denominan agonistas. Las catecolaminas ejercen su efecto por medio de la estimulación de receptores que se localizan en las membranas celulares de los tejidos blancos conocidos como receptores adrenérgicos (Casaya, 2011).

La noradrenalina (norepinefrina), adrenalina (epinefrina) y dopamina, son las principales catecolaminas presentes en el organismo de los mamíferos. Se denominan catecolaminas porque sus estructuras químicas están constituidas por un grupo catecol y una cadena lateral con un grupo amino (Nelson y Cox, 2000). Estos compuestos llevan a cabo funciones parácrinas (como neurotransmisores) y endócrinas (hormonales) (Timmerman, 1987).

Las catecolaminas controlan varias actividades fisiológicas en el organismo animal, como son: funciones cardiovasculares (frecuencia cardiaca y tono de los vasos sanguíneos), las del aparato respiratorio (pulmón, músculo bronquial), las del sistema músculo esquelético y los sistemas metabólicos (lipólisis y glucogenolisis) (Ganong, 2001).

La adrenalina y noradrenalina, son ligandos de ambos receptores, pero las respuestas fisiológicas dependen de sus concentraciones y del órgano blanco. Para fines del presente trabajo sólo se hará énfasis en los receptores β , debido a que análogos sintéticos de la adrenalina y noradrenalina que tienen afinidad a este tipo de receptores se emplean como promotores de crecimiento en la producción animal como el clenbuterol y el zilpaterol (Domínguez *et al.*, 2009; Casaya, 2011).

Cuando un grupo de compuestos, que se unen a un tipo de receptor y ocasionan la misma respuesta, se les denomina agonistas, en el caso de los receptores adrenérgicos β , se les conoce como β agonistas; estos se clasifican en naturales o fisiológicos, debido a que se sintetizan en el propio organismo (catecolaminas); y los sintéticos que se unen a los receptores β , los β agonistas sintéticos (Domínguez *et al.*, 2009).

2.4.2. Receptores α y β adrenérgicos

Los receptores β -adrenérgicos son proteínas conformadas por 450 a 600 aminoácidos y tienen un peso molecular de 40 a 50 KDa (Soria y Arias, 1997). Se conocen tres subtipos de receptores β -adrenérgicos, los cuales son β_1 , β_2 y β_3 . Drenann (1994) describió a los receptores β_1 en el miocardio y los receptores β_2 en el sistema nervioso central y en el conducto bronquial; Ganong (2001) indicó que ambos subtipos de receptores β incrementan el adenosinmonofosfato cíclico (AMPc).

2.4.2.1. Receptores β -adrenérgicos

Existen en la membrana de la célula un gran número de proteínas, su cantidad varía con la función de la membrana, pero en promedio constituyen 50% de la masa de la membrana. Un grupo de proteínas funciona como receptores, a los que se unen neurotransmisores y hormonas, que generan cambios fisiológicos en el interior de la célula. El constante y rápido avance de las técnicas de biología molecular y clonación, han permitido llegar a un

progreso en el conocimiento acerca de la estructura y función de los receptores para neurotransmisores y otros mensajeros químicos (Ganong, 1996).

En la mayoría de las células de mamíferos se han encontrado receptores β -adrenérgicos; sin embargo, su distribución y proporción varían de un tejido a otro, en cada especie animal (Mersmann, 1998). En ovinos los receptores β_1 y β_2 coexisten en el bíceps posterior y en el área del músculo *Longissimus dorsi* (Koochmaraie *et al.*, 1991; Ekpe *et al.*, 2000).

El receptor β adrenérgico regula la enzima adenilatociclasa fijada a la membrana, responsable de la producción de AMP cíclico (Eckert *et al.*, 1990). Los receptores β adrenérgicos tienen actividad sobre el sistema nervioso autónomo, cuando se administran con fármacos o toxinas pueden aumentar o disminuir su actividad (Ganong, 1996).

Algunos β adrenérgicos agonistas fueron originalmente desarrollados para tratamientos de enfermedades bronquiales (Malucelli *et al.*, 1994). En el epitelio bronquial, así como en el músculo liso y adipocitos hay receptores β_1 y β_2 adrenérgicos. En el humano predominan los receptores β_2 , y la administración de β -agonistas, ya sean en forma inhalada o inyectados, como el isoproterenol, causa broncodilatación y disminución de la secreción bronquial (Ganong, 1996) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Localización y acción de los tres tipos de receptores β

Receptor	Localización	Acción
β_1	Corazón, riñón y tracto gastrointestinal	Estimulan la frecuencia cardíaca, secreción de renina y relajación del músculo liso en tracto gastrointestinal
β_2	Músculo liso, bronquiolos, vasos sanguíneos y útero	Relajación del músculo liso de bronquiolos, vasos sanguíneos y útero
β_3	Tejido adiposo blanco y pardo o café	Control de la lipólisis y termogénesis

(Domínguez *et al.*, 2009).

2.4.2.2. Agonistas β -adrenérgicos

A principios de siglo XX surgió el interés por aumentar la productividad individual mediante la manipulación hormonal. La necesidad de acelerar el crecimiento de los animales propició la búsqueda de nuevos productos naturales o artificiales para ser implementados en la explotación de especies de consumo (bovinos, ovinos y cerdos principalmente) (Sánchez y Huerta, 1995).

Los compuestos químicos sintéticos que compiten con la adrenalina por los receptores β -adrenérgicos reciben el nombre de agonistas β -adrenérgicos, o simplemente “ β -agonistas” (Sánchez, 1990). Los agonistas β -adrenérgicos forman parte del grupo de elementos conocidos como promotores del crecimiento. Estas sustancias tienen una actividad hormonal con capacidad de mejorar la conversión alimenticia, eficiencia alimenticia, el crecimiento, así como la calidad de la canal, incrementando la proteína muscular, reduciendo la grasa subcutánea y abdominal (Casey, 1998; Garza, 1998). Son análogos sintéticos de la adrenalina y noradrenalina, dentro de los que se encuentran diversos productos como los que se mencionan a continuación:

- Cimaterol
- Clenbuterol
- Ractopamina
- Salbutamol
- Zilpaterol

En estudios realizados se ha observado, que estos compuestos mejoran potencialmente las ganancias de peso, conversión alimenticia, además de que alteran la tasa, eficiencia y composición del crecimiento corporal. En tejido muscular, aumentan la perfusión sanguínea hacia el músculo, promoviendo una mayor disponibilidad de energía y aminoácidos; en consecuencia, aumenta la síntesis y retención de proteína que favorece la hipertrofia muscular, principalmente en los músculos del cuarto trasero del animal (Domínguez *et al.*,

2009); también se ha sugerido que pueden contribuir al incremento de la masa muscular magra debido a que actúan sobre el complejo calpina-calpastatina, disminuyendo la degradación proteica (Baxa, 2010); en ovinos se ha observado que aumenta el peso muscular hasta un 40% y que la magnitud de la respuesta varía dependiendo del β AA suministrado así como a la influencia de factores como son la especie, la raza, la edad, el sexo y la dieta (Mersmann, 2002); en el caso del clorhidrato de zilpaterol la temperatura es otro factor ya que las altas temperaturas limitan su funcionamiento (Ulises-Macías, 2013).

El efecto principal parece ser una disminución del catabolismo muscular, que se acompaña de un ligero incremento en la síntesis de tejido (anabolismo muscular) y referente a la grasa corporal se incrementa la lipólisis (Domínguez *et al.*, 2009).

El empleo del zilpaterol está permitido y de hecho se produce comercialmente por los laboratorios Intervet bajo el nombre comercial de Zilmax®, con resultados productivos menos potenciales que cuando se emplea clenbuterol, sin embargo no produce alteraciones en la salud de los consumidores. El producto está autorizado en México, Sudáfrica y Estados Unidos (Shelver y Smith, 2006; Dikeman, 2007; Delmore *et al.*, 2010).

Los límites máximos de residuos en ppb, para diferentes tejidos comestibles son: hígado y riñón 30, tejido adiposo 20 y músculo 1 (Shelver y Smith 2006; Domínguez *et al.*, 2009) por lo que se considera a este β AA de bajo riesgo asociado al consumo de tejidos tratados. Sin embargo, el tratamiento con zilpaterol puede afectar adversamente a la dureza y otras características de palatabilidad de la carne (Leheska *et al.*, 2009; Dikeman, 2007), esto asociado a su efecto en el sistema proteolítico de degradación de proteínas.

2.4.2.3. Mecanismo de acción

Los beta agonistas mejoran la eficiencia del crecimiento vía estimulación de los receptores β - adrenérgicos de la membrana celular; en el tejido muscular, promueven la síntesis de

proteínas e hipertrofia celular por la reducción de proteólisis y en el tejido adiposo promueven la lipólisis (Reeds y Mersmann, 1991).

El efecto anabólico de los β -agonistas en el músculo incluye hipertrofia de las fibras musculares, cambios en el tipo de fibra muscular y cambios en la proporción de ARN de transcripción para proteínas musculares como la miosina de cadena ligera y actina (Miller *et al.*, 1988).

El incremento en la proporción de músculo tiene tres posibles vías o rutas de acción:

- ❖ Incremento en la síntesis proteica (Aumento de ARNm para proteínas musculares)
- ❖ Incremento en la acumulación de proteína debido a una reducción en la degradación proteínica
- ❖ Combinación de ambos procesos metabólica (Yang y McElligot, 1989).

Los resultados de los experimentos de los agonistas β -adrenérgicos demuestran que estas sustancias en cantidades muy pequeñas (entre 6 y 10 ppm) poseen una amplia actividad metabólica y funcionan eficientemente como promotores del crecimiento modificando el metabolismo de las proteínas y lípidos, además de aumentar el valor biológico de la proteína en la dieta (Vanguelov, 1995).

Es importante mencionar que los resultados obtenidos varían de acuerdo al β -agonista empleado, dosificación, tipo de explotación y características de los animales empleados; ya que varios experimentos llevados a cabo con el empleo del zilpaterol han arrojado resultados variables Barajas *et al.*, (1998); Hasenmaier (1998) recomienda que para el éxito con la administración de zilpaterol en la dieta se deberá poner especial atención en el manejo de la engorda, en la calidad de mezclado y en la planeación desde las compras hasta la comercialización.

Se han comprobado la eficacia del zilpaterol administrando 0.15 mg kg^{-1} de peso corporal al día durante los últimos 50 días del período de engorda en novillos, vacas y toretes. Se debe tomar en cuenta que la suplementación dependerá del peso vivo de los animales y del consumo diario de alimento, obteniéndose una mejora en la conversión alimenticia de 12%, el mejoramiento porcentual del rendimiento en canal en 1.8% y un incremento promedio en el aumento en la masa muscular de la canal de 13.06 kg en novillos, manteniéndose sin alteración el consumo de la ración diaria (Hasenmaier, 1998). Cabe mencionar que los estos resultados fueron obtenidos conjuntamente con la adición de Revalor y Ionóforos, por lo que se puede concluir que el efecto del zilpaterol es aditivo o agonista (Casey, 1998; Macar, 1998). Plascencia (1998), reportó en otro estudio con zilpaterol, que el aumento de la energía neta en la dieta de 26% y la suplementación con 6 mg de zilpaterol por kg de peso vivo produjo beneficios económicos de 369 pesos por novillo engordado.

Garcés *et al.* (1998) reportaron que la inclusión de zilpaterol en el concentrado para toretes en los últimos 40 días del período de engorda en pastoreo incrementó la ganancia de peso en 0.280 gd^{-1} , el peso de la canal en 20.3 kg y el porcentaje de carne deshuesada 1% en comparación con toretes que no fueron suplementados. Un aspecto sumamente importante es la forma de incorporar el zilpaterol a la ración integral (alimento terminado), pues como son niveles muy bajos de inclusión, deberá ser diluido primero en la premezcla de vitaminas y minerales para proceder posteriormente a integrarlo en la ración completa.

La duración óptima de la inclusión del zilpaterol varía de un corral a otro y de un productor a otro, dependiendo de los parámetros, mismos que será necesario definir en cada caso. A nivel nacional se recomienda un período de utilización de 30 días en la engorda (Macar, 1998).

2.5. Uso de clorhidrato de zilpaterol (CZ) en la producción pecuaria

El empleo de zilpaterol en su presentación comercial, está autorizado en México (Norma Oficial Mexicana-NOM-061-ZOO -1999; NOM- EM-015-ZOO-2002). Sudáfrica es el otro país del mundo que permite el empleo de este promotor. En bovinos, en dosis similares ($0.15 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV d}^{-1}$) a las aprobadas para uso en México (Plascencia *et al.*, 1999; Castellanos *et al.*, 2006).

El clorhidrato de zilpaterol es altamente estable a temperatura ambiente, se absorbe rápidamente por vía oral a las 12 horas después de ser consumido, su eliminación se presenta de modo bifásico con una primera fase de disminución rápida (12.5 horas de vida media) seguida por una remanencia al octavo día (Macías *et al.*, 2013).

El clorhidrato de zilpaterol se excreta rápidamente; 60% de la dosis administrada en 24 h y 90% en 48 h, la orina es la principal vía de excreción eliminándose a través de ella 86% del compuesto y a través de las heces se excreta el resto. Después de 24 horas de suspender el tratamiento, se observa una rápida disminución de sus niveles en todos los tejidos (Domínguez *et al.*, 2009).

El clorhidrato de zilpaterol es un compuesto que se elimina rápidamente de los animales que lo consumen y que los niveles más elevados de residuos se localizan en el hígado y los riñones, pero a las 48 horas más de 80% del compuesto ha sido eliminado de estos tejidos; por otro lado los niveles de clorhidrato de zilpaterol encontrados en el músculo son muy bajos y en la grasa casi inexistentes (Castillo y Avila, 2000).

2.5.1. Inocuidad de la carne

Hablar de inocuidad en el consumo de los alimentos es un tema sumamente importante; hablando en cuestiones de salud pública y de seguridad ante todo de los consumidores, los animales y los productores, en base a ello se han realizado diversos estudios con el clorhidrato de zilpaterol que han demostrado que el producto es seguro ya que no es tóxico,

no produce mutagenicidad, ni genotoxicidad, no tiene potencial carcinogénico y no afecta la reproducción (Vanguelov, 1995).

Debido a lo anterior, y a la rápida eliminación del clorhidrato de zilpaterol bajo condiciones normales de uso, el período de retiro es relativamente corto y garantiza la seguridad del consumidor. En México el período de retiro para bovinos es de 72 horas y se emplea sólo para finalizar al ganado de engorda a una dosis de 0.15 mg por kg de peso vivo durante un período de 30 días, y todos los estudios llevados a cabo han demostrado que es un producto inocuo que no pone en riesgo la salud de los trabajadores, animales y consumidores, obteniendo un producto de calidad, bajo en grasa y con buena composición de la masa muscular (Castellanos, 2006).

El empleo del clorhidrato de zilpaterol en novillos, vaquillas y toretes bajo condiciones de corral de engorda y de pastoreo han demostrado la obtención de resultados positivos y consistentes. En promedio el peso de las canales aumenta 12 kg (con un rango de 6.5 a 20.4 kg) en comparación con los animales que no lo consumieron. Es importante considerar que la respuesta obtenida al emplear este aditivo se ve afectada por diversas condiciones como el potencial genético para producir, el programa de alimentación (incluyendo la energía y aminoácidos disponibles en la ración), eficiencia de mezclado en la dieta, instalaciones, programa sanitario (Castellanos, 2006).

Recientemente se efectuó un estudio con CZ en bovinos de razas cebuinas a una dosis de 0.14 mg/kg de PV suministrado en finalización; se obtuvo una respuesta positiva en la ganancia de peso, el rendimiento en canal propiciando canales más magras (Castellanos, 2006).

Respecto a ovinos, Anaya (2005) efectuó un estudio en corderos Pelibuey por un período de 60 días empleando diferentes dosis, pero sin encontrar resultados significativos.

En bovinos tiene un efecto en el rendimiento porque aumenta el tejido muscular, la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia, dependiendo del sexo, del manejo genético y de la calidad de los ingredientes con los que cuente la dieta; el clorhidrato de zilpaterol influye positivamente en el peso de la canal y en los cortes primarios (Garza, 1998).

2.6. Impacto de los β -agonistas en salud pública

El clorhidrato de zilpaterol a pesar de ser una molécula menos potente que el clenbuterol es capaz de inducir resultados productivos positivos no tan marcados como el clenbuterol pero la diferencia está en la seguridad de este producto para el productor, los animales y el consumidor (Domínguez *et al.*, 2009). Actualmente el uso de β adrenérgicos está muy extendido en todo México, ya sea dentro de la NOM-061-ZOO-1999 o al margen de ella. De manera legal, la forma comercial del clorhidrato de zilpaterol es ampliamente distribuida y comercializada (Castellanos, 2006).

2.7. Cromo

La función de los micro minerales, entre ellos el cromo (Cr), comúnmente se subestima y su presencia en el alimento en cantidades adecuadas se da por hecho; sin embargo, la inclusión de este y otros minerales son necesarias para mantener varias funciones corporales, ya que participan en varios sistemas enzimáticos, optimizando el crecimiento, la producción y respuesta inmune apropiada (Close, 1999). Cuando existe ausencia o exceso de este u otros minerales determina el estado de salud, repercutiendo en la producción según su función zootécnica, lo que se traduce en pérdidas económicas.

El Cr fue descubierto por Vauquelin, en 1797 en el mineral rojo de Siberia (crocoisita). Los minerales ricos en cromo suelen tener alrededor del 48% de óxido crómico. La mayoría del Cr en plantas es orgánico, pero no forma parte del factor de tolerancia a la glucosa (FTG). Sin embargo, la mayoría de los productos de origen animal presentan el cromo en forma de FTG (Mc Dowell, 1992).

El Cr es un elemento esencial, se sabe que en compañía de otros compuestos como el ácido nicotínico, la glicina, el ácido glutámico y la cistina, forma el FTG, el que actúa como activador o potenciador de la acción de la insulina en el transporte de la glucosa y aminoácidos al interior de la célula, por lo que se le implica con la síntesis proteica y la disminución de los niveles de colesterol en sangre (Steele y Rosebrough, 1979).

2.7.1. Importancia del cromo en la nutrición animal

El Cr es un elemento traza esencial y un nutriente importante principalmente en animales de alta producción sometidos a estrés.

Es considerado como un nutriente esencial, sin embargo no se ha establecido el nivel de inclusión ni los requerimientos en las dietas de especies pecuarias. Se han probado niveles de 0.2, 0.5 y 1.0 ppm de cromo en la dieta de bovinos productores de carne con los que se han obtenido diferentes resultados tanto en el mejoramiento de la eficiencia productiva como en las características de la canal; en ovinos se han probado dosis de 0.2 y 0.25 ppm de fuentes inorgánicas (CrCl_3) u orgánicas (PicCr, Cr L- Metionina o levadura rica en Cr) y los resultados son muy parecidos a los obtenidos en bovinos (Kitchalong *et al.*, 1993; Pollard y Richardson, 1999).

La fuente natural de cromo más rica para la nutrición animal es la levadura de cerveza con un nivel de 1 a 2 mg/kg. Otra fuente disponible y biológicamente sintetizada es la levadura de cromo, que contiene 1000 mg de Cr/kg; varios complejos bioactivos de Cr han sido sintetizados, tales como el picolinato, nicotinato y quelatos de Cr con aminoácidos también usados en nutrición animal (Mc Dowell, 1992).

2.7.2. Fuentes orgánicas de cromo disponibles

En el mercado existen varios productos de cromo orgánico con amplia disponibilidad en el mercado.

Nicotinato de cromo: Utilizado en humanos y en menor grado en cerdos, con resultados inconsistentes (Liderman *et al.*, 1995).

Picolinato de cromo: Utilizado en la reproducción de cerdas, calidad de la canal de cerdos para abasto, su costo no es redituable (Page *et al.*, 1993).

Cr-L metionina: Para aumentar el número de lechones por camada en las cerdas, el porcentaje de fertilidad, ganancia de peso magro en cerdos de crecimiento y finalización, y para mejorar el uso de la energía en cerdos y lechones, con dietas de iniciación (Liderman *et al.*, 1995; Page *et al.*, 1993).

Levadura enriquecida con cromo. (Bio-cromo), es muy disponible, promueve el uso de la energía y la conversión alimenticia (Lindemann *et al.*, 1995; Page *et al.*, 1993).

2.7.3. Metabolismo del cromo

El Cr inorgánico se absorbe poco, de 0.4 a 3 % o menos (Anderson, 1987), de acuerdo a la dosis y su nivel de inclusión en la dieta. Se absorbe en el intestino delgado, principalmente en yeyuno, un exceso de zinc reduce su absorción (Mertz, 1987).

El Cr es transportado junto con las proteínas plasmáticas en sangre, almacenándose y utilizándose principalmente en hígado y bazo, también en estómago, epidídimo, timo, riñones y testículos, pero en el plasma su concentración es muy baja por lo tanto este no es un buen indicador para el organismo. (Mertz, 1987). El Cr se elimina por orina, bilis y

sistema respiratorio. El valor urinario es menor a 0.5 mg d^{-1} y coincide con los valores de consumo y absorción por día.

2.7.4. Función del cromo en el sistema inmune

El uso del Cr en bovinos tiene un efecto positivo en la respuesta inmune mostrando una mayor inmunidad mediada por células, menores niveles de cortisol en sangre y mayores títulos de anticuerpos en suero (Chang y Mowat, 1992; Kegley *et al.*, 1996; Mallard *et al.*, 1997).

Moonsie-Shangeer and Mowat (1993) demostraron el beneficio de suplementar Cr para reducir la morbilidad en terneros estresados, lo que indica que el Cr es importante en la respuesta inmune del animal, aunque se desconoce su mecanismo de acción.

2.7.5. Requerimientos, deficiencia y toxicidad

Algunos estudios han mostrado que el uso de Cr en forma de levadura (orgánico) mejora la ganancia de peso (Domínguez *et al.*, 2009). Los requerimientos de Cr no han sido definidos, pero se sabe que 100 ppm en forma de cloruro son tóxicos (NRC, 2001) y que las formas orgánicas se absorben 20 a 30 veces más que las inorgánicas (Herrera *et al.*, 1989).

Una deficiencia de Cr se caracteriza por hiperglucemia, glucosuria, elevado colesterol y triglicéridos (Anderson, 1987), por lo tanto una deficiencia de Cr conduce a síntomas asociados con diabetes y enfermedades cardiovasculares.

El Cr hexavalente es más tóxico que el trivalente. La toxicidad leve produce dermatitis al contacto con la piel, irritación de vías respiratorias, ulceración, perforación del septo nasal y cáncer de pulmón (Mertz, 1987).

El máximo nivel tolerable en la dieta de los animales domésticos es de 3000 ppm cuando se suministra como óxido y 1000 ppm como clorito (NRC, 1980).

2.7.6. Uso del cromo en la producción pecuaria

Los resultados de la complementación con Cr sobre parámetros reproductivos no son siempre constantes. Sin embargo, Lindemann *et al.* (1995), observaron que la administración de fuentes orgánicas de cromo a cerdas desde los 40 kg de peso y durante dos partos incrementaba el número de lechones por camada. En otro experimento, Lindemann *et al.* (1995) no observaron efectos significativos de la suplementación de los piensos de cerdas gestantes, lactantes, o ambas con 200 ppb de cromo orgánico. Una de las mayores dificultades para observar diferencias significativas en parámetros reproductivos es la elevada variabilidad asociada a ellos y, por tanto, el número de animales implicados en estudios de este tipo tiene que ser muy elevado.

En estudios realizados con vacas, Yang *et al.* (1986) observaron que la adición de 0.5 g de cromo quelado con aminoácidos aumentaba la producción de leche en el primer parto pero no observaron efectos significativos en la producción de vacas multíparas. Subiyatno *et al.* (1996) sugieren que las vacas primíparas podrían haber pasado por un período carencial de cromo al final de la gestación y principio de la lactación y no en fases posteriores de producción.

Los efectos de la complementación con cromo sobre el crecimiento y la cantidad de tejido magro en la canal han despertado todavía más interés que el efecto sobre los parámetros reproductivos. Los resultados productivos no han sido siempre consistentes entre experimentos, de forma que algunos autores han intentado explicar los factores que pudieran causar estas discrepancias. Uno de los factores a considerar es la duración de la suplementación. Money y Cromwell (1995) observaron una mejora en la deposición de tejido magro y un descenso en la acumulación de grasa cuando se suplementaba el pienso

con 200 ppb de cromo desde los 27 a los 109 kg. Sin embargo, Boleman *et al.* (1995) observaron efectos similares cuando la suplementación se hacía entre los 57 y los 106 kg de peso, pero no cuando se comenzaba a suplementar a los 19 kg. Además, O'Quinn *et al.* (1997) no observaron efectos favorables de la suplementación con 50, 100, 200 o 400 ppb de cromo en forma de nicotinato o picolinato sobre el crecimiento de lechones en la fase de iniciación.

El segundo factor que se puede considerar es la influencia del sexo; Lindemann y Pursuer (1997) observaron que la complementación con cromo de los 26 a los 117 kg de PV mejoraba el porcentaje de tejido magro en machos castrados pero no en hembras. Kornegay *et al.* (1997) observaron efectos positivos de la complementación con cromo en un trabajo en el que sólo se utilizaron machos castrados. Estas diferencias en la respuesta a la suplementación con cromo se pueden deber a diferencias en la cinética de la glucosa.

Guan *et al.* (1997) observaron que los machos castrados a los que se da un suplemento de cromo tienen mayor tolerancia a la glucosa puesto que ésta desaparece más rápidamente de la circulación y tiene menor vida media. Sin embargo, este efecto no se observa en las hembras. También el tipo de alimentación podría influir en el efecto del cromo. Ward *et al.* (1977) observaron que el picolinato de cromo mejoraba el crecimiento y los índices de conversión en dietas bajas en proteína, pero no en dietas con alto contenido proteico. Sin embargo, Crow y Newcomb (1997), no observaron mejoras en el crecimiento de machos castrados, ni hembras complementados con picolinato de cromo y ésta ausencia de efectos era independiente del tipo de alimento formulado.

La forma de suplementación también puede ser de importancia, puesto que puede variar la disponibilidad del cromo; observando que el picolinato de cromo era más eficaz que el cloruro de cromo para mejorar la calidad de la canal. (Mooney y Cromwell, 1997; Piquer, 2000).

En cerdos el CrPic incrementa el área del músculo dorsal largo y reduce la grasa a nivel de la décima costilla, se ha observado que la inclusión en la dieta de corderos a una dosis de 0.250 ppm de CrPic, no tiene efecto en el comportamiento productivo pero reduce 0.95 mm de grasa pélvica, así mismo disminuye los niveles de colesterol en plasma y los ácidos grasos no esterificados (Kitchalong *et al.*, 1993).

En los humanos, la hipercolesteremia se reduce con la suplementación de cromo, las lipoproteínas de baja densidad, el colesterol, las concentraciones de triglicéridos incrementan las concentraciones de lipoproteínas de alta densidad (Abraham *et al.*, 1990; Press *et al.*, 1990).

En animales de laboratorio alimentados con dietas típicas y altas en colesterol se demostró que el suplementar con cromo disminuye la cantidad de lípidos totales en hígado y la presencia de placas aórticas (Abraham *et al.*, 1992). Los corderos alimentados con dietas altas en proteína presentan aumento en el colesterol total del plasma en comparación con los corderos alimentados con una dieta baja en proteína, se deduce que el cromo incrementa el colesterol total en plasma de corderos alimentados con dietas altas en proteína y lo disminuye en corderos alimentados con dietas bajas en proteína (Gentry *et al.*, 1999).

3. JUSTIFICACIÓN

Una de las necesidades fundamentales del hombre a través de su desarrollo evolutivo e histórico ha sido la adecuada procuración de alimentos. El caótico crecimiento de la población humana que se espera sea de 10 mil millones para el año 2050, ejercerá una enorme presión sobre la ya de por sí insuficiente producción de alimentos, que tendrá que duplicarse, y no solo eso sino además deberá ser un alimento de calidad e inocuo que no comprometa la salud pública.

Es importante tener en cuenta que la nutrición en la producción pecuaria juega un papel sumamente importante ya que representa desde un 60 hasta un 85% de los costos de producción, por ello es fundamental aplicarla en forma eficiente.

La problemática común a la que se enfrentan los productores de carne de ovino, al menos en el Estado de México es que no tienen claramente establecido la importancia económica que tiene el aplicar de forma eficiente la nutrición sobre sus unidades de producción, con lo que se obtendría una rentabilidad elevada en su producción.

Ante esta problemática surge la necesidad de realizar este trabajo de investigación con la finalidad de encontrar alternativas para el productor de carne de ovino que no afecten la inocuidad de los productos ovinos y pongan en riesgo la salud pública de los consumidores. Además de que la producción sea rentable para los productores.

Para lo cual el uso de cromo y el clorhidrato de zilpaterol; dos aditivos promotores de la productividad en las diversas especies de consumo debido a sus aportes nutricionales y a sus resultados tan favorables en los procesos de producción y específicamente en la fase de engorda.

Debido a las tendencias del consumidor y a las precauciones en cuanto a consumir un producto sano; estos dos compuestos empleados en la dieta de animales de engorda son dos buenas opciones que garantizan calidad e inocuidad al consumidor, así como rentabilidad ya que se aprovechan mejor los nutrientes y se tiene una mayor eficiencia en los animales los consumen, para los productores.

Por otro lado también son una alternativa para favorecer la producción de cordero de abasto en el país y cubrir todo ese déficit oportunamente que se tiene en este sector, siendo una opción redituable y capaz de implementarse en cualquier explotación por ser segura y permitida por las autoridades hablando del clorhidrato del zilpaterol en contraparte con el clenbuterol.

Respecto al empleo del cromo para proporcionar productos de consumo más sanos a los consumidores y sobre todo pensando en prevenir problemas cardiovasculares y de obesidad en la población es una buena alternativa para implementarse en los sistemas de engorda de corderos teniendo la opción además de darle un valor agregado al producto por la calidad que este representa para quién lo consume.

Ya que el cromo es esencial en el metabolismo de los nutrientes como lípidos, aminoácidos y glúcidos, es parte estructural del factor de tolerancia a la glucosa (FTG) y aumenta la potencia de la insulina en la célula. Fuentes de Cr orgánico (picolinato, tripicolinato, nicotinato de Cr y levadura rica en Cr) se han usado en humanos para reducir el contenido de colesterol y triglicéridos y para mejorar las características de la canal en cerdos, ovinos y bovinos.

Al ser productos orgánicos son una alternativa para producir canales más magras y con mayor rendimiento, además de que pueden aumentar la eficiencia en el aprovechamiento de los alimentos por especies pecuarias y la rentabilidad para el productor e inocuidad para el consumidor.

4. HIPÓTESIS

El clorhidrato de zilpaterol y el cromo orgánico mejoran el comportamiento productivo y las características de la canal de ovinos en engorda con alimentación intensiva.

5. OBJETIVOS

- Comparar el efecto del Cr orgánico y el agonista β -adrenérgico (clorhidrato de zilpaterol) en la engorda intensiva de ovinos.
- Evaluar el comportamiento productivo y las características de la canal en términos de: Consumo, ganancia de peso, conversión alimenticia, rendimiento de canal, peso de la canal en frío y en caliente, grasa dorsal de la canal, área de la chuleta y medidas lineales.

6. MATERIAL Y MÉTODO

Esta investigación se efectuó en tres fases:

Fase 1. Prueba de comportamiento productivo. Esta prueba se realizó en el Área Experimental de la Unidad de Producción de la FMVZ de la UAEMex, del mes de febrero al mes de mayo de 2014. Se utilizaron 28 corderos enteros $\frac{3}{4}$ Rambouillet, con peso promedio de 23.4 kg provenientes del norte del país (estados de Zacatecas y Durango), los cuales fueron asignados aleatoriamente a cuatro tratamientos: T1= grupo control (sin Cr, sin CZ), T2=0.15 mg de CZ kg⁻¹ PV ovino⁻¹ d⁻¹, T3= 0.25 ppm Cr orgánico, T4=0.15 mg CZ kg⁻¹ PV ovino⁻¹ d⁻¹ +0.25 mg Cr kg⁻¹ MS.

Los ovinos fueron alojados en corrales individuales provistos de sombra y agua a libre acceso. La dieta basal (DB) fue suministrada a libre acceso (8:00 h y 16:00 h), la cual fue la misma para los cuatro tratamientos (Cuadro 2). Los corderos fueron pesados al inicio (8:00 h) y desparasitados contra parásitos externos e internos con closantel (0.2 mg kg⁻¹ PV). El tiempo de adaptación a la dieta fue de 13 d y 74 d de período experimental. Para lograr la concentración requerida de CZ y cromo orgánico por tratamiento se les adiciono diariamente lo requerido por tratamiento de acuerdo al peso del animal. Se registró el peso del alimento ofrecido y rechazado diariamente, y el peso de los corderos al inicio y cada 15 días; las variables de respuesta fueron las siguientes:

- 1. Consumo de materia seca por día y total.** Se calculó de la diferencia entre el alimento ofrecido y el rechazado. Para ello se utilizó una báscula con precisión de 0.5 g, marca Torino.
- 2. Ganancia de peso vivo por día y total.** Se determinó mediante el pesaje de los animales al inicio y posteriormente cada 15 días (08:00 h). Se utilizó una báscula electrónica portátil con precisión de 100 g.

3. **Conversión alimenticia.** Se calculó como el cociente entre el consumo de MS y la ganancia de PV.
4. **Eficiencia alimenticia.** Se calculó como el cociente entre la ganancia de PV y el consumo de MS.

Cuadro 2. Composición de la dieta basal y aporte nutrimental calculado (%BS).

Ingredientes/Nutrientes	Composición, g/100g (BS)
Rastrojo de maíz	15.0
Maíz molido	57.0
Soya	14.0
Canola	5.0
Salvado	5.0
Minerales y vitaminas ¹	2.5
Bicarbonato de Sodio	1.5
Total	100.0
Análisis calculado	
EM (Mcal kg ⁻¹ MS)	2.66
Proteína cruda, %	14.39
FDN, %	32.21
FAD, %	14.07
Cenizas, %	5.00
Fósforo, %	0.37
Calcio, %	0.60

Fase 2. Evaluación de las características de la canal. Concluida la prueba de comportamiento productivo, se retiró el clorhidrato de zilpaterol 72 h previas al sacrificio y se ofreció únicamente alimento sin CZ y agua a libre acceso, y 12 horas antes del sacrificio se les retiró completamente el alimento para evitar la contaminación de la canal con contenido gastrointestinal al momento de la evisceración. Posteriormente fueron

transportados (9:00 h) los 28 corderos con peso vivo promedio de 44.7 ± 4.5 a un taller de matanza de un productor de barbacoa, en Capulhuac, México, para el sacrificio y evaluación de las canales. Los corderos fueron sometidos a una revisión ante mortem para verificar su estado de salud, no observando síntomas de morbilidad.

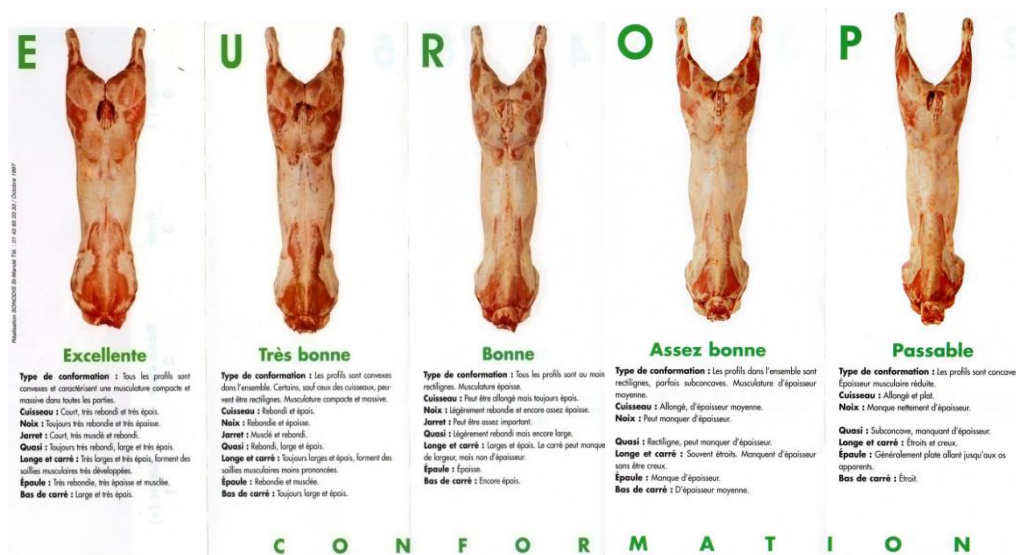
Los corderos fueron pesados momentos antes de ser sacrificados para poder obtener, posteriormente, el valor de rendimiento comercial en canal. El sacrificio se realizó por sangrado haciendo una incisión en la yugular a nivel del tercio superior del cuello. Una vez que el animal estuvo inconsciente, se sujetó a la altura del ligamento suspensorio y se elevó para proceder al degüelle, procediéndose a separar la cabeza a nivel de la articulación occipitoalantoidea.

La piel de 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. Una vez expuesta la canal completamente se midieron las siguientes variables:

1. **Peso de la canal caliente.** El peso de la canal caliente fue obtenido inmediatamente después de haber terminado la evisceración.
2. **Peso de la canal fría.** Debido al despiece rápido de la canal para su procesamiento en barbacoa y por las condiciones del taller no permitió que se refrigeraran a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas; por lo que la canal se mantuvo únicamente a temperatura ambiente durante 12 horas para su maduración, posteriormente fue pesada para obtener el valor de peso de la canal fría.
3. **Rendimiento comercial de la canal.** Se calculó dividiendo el peso de la canal fría/peso vivo al sacrificio x 100.

4. **Conformación muscular de la canal (escala de 1 a 5 o europea).** Se consideraron las siguientes especificaciones para esta medición:
1. **Conformación pobre (P):** Son canales con desarrollo muscular netamente deficiente; el tronco y las extremidades anteriores y posteriores son relativamente largas con relación a la longitud de la canal. Las superficies de la canal son planas, limitadas frecuentemente por concavidades más o menos aparentes.
 2. **Conformación normal (O):** El desarrollo muscular es aceptable; la canal es 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 (R):** Son 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 (U):** Son canales muy armoniosas en proporción de sus regiones anatómicas; presentan un desarrollo muscular importante en cada una de ellas; las canales son cortas, anchas y redondas.
 5. **Conformación excelente (E):** 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.

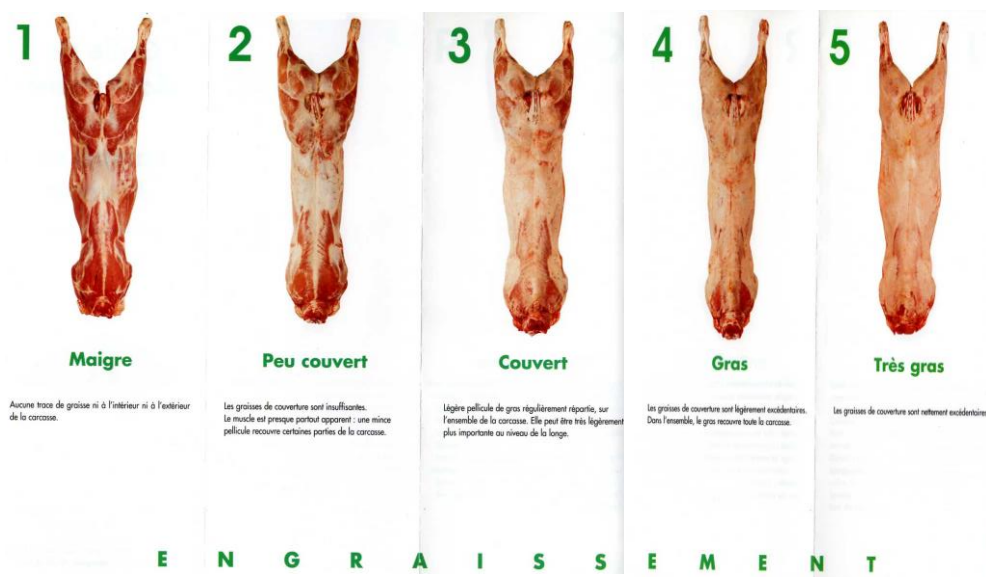
Figura 2. Clasificación Europea de las canales de ovino



(Delfa y González, 1995).

- Grado de engrasamiento (escala de 1 a 5).** Para la medición de esta variable se tomó en cuenta las siguientes especificaciones:
 - Canal muy magra.** Los músculos de esta canal son muy visibles. Los límites intermusculares externos presentan vetas finas de grasa que los delimitan.
 - Canal magra.** La canal está cubierta por una película de grasa fina que deja aparecer parcialmente los músculos subyacentes.
 - Canal medianamente grasa.** La cobertura grasa de la canal se acentúa de modo que la canal presenta cúmulos grasos en algunas regiones anatómicas;
 - Canal grasa.** Una capa de grasa cubre la canal pero es menos espesa sobre los miembros posteriores, donde algunos músculos son visibles hacia la parte distal de las extremidades.
 - Canal muy grasa.** Un manto de grasa espeso envuelve a la canal y forma acúmulos importantes en diferentes niveles de las regiones anatómicas.

Figura 3. Grados de engrasamiento de las canales de ovino de acuerdo a la clasificación europea.



(Delfa y González, 1995).

6. **Contenido de grasa interna (grasa perirrenal) (escala de 1 a 4).** 1. Riñones descubiertos, 2. Riñones con gran ventana, 3. Riñones con pequeña ventana, 4. Riñones cubiertos totalmente. Esto fue realizado con apreciación visual (Delfa y González, 1995).

Para la evaluación de la conformación de la canal y el grado de engrasamiento se usaron esquemas de patrones fotográficos según la Norma Oficial Española para Ovinos (Delfa y González, 1995).

7. **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.
8. **Longitud de la pierna.** Se midió la distancia entre el punto más caudal del periné y el punto más distal del borde medial de la superficie articular tarso-metatarsiana.

9. **Ancho de la grupa.** Se midió la anchura máxima de la cadera a nivel de los trocánteres de ambos fémures, se realizó con una cinta métrica de tela graduado en cm.
10. **Ancho mayor de tórax.** Se midió la anchura máxima de la curvatura de las costillas, aproximadamente entre la 5ª y 7ª costillas; fue medido con una cinta metálica graduada en cm.
11. **Ancho menor de tórax.** Se midió la distancia mayor entre la superficie externa del esternón y la superficie externa de la 6ª vértebra torácica. Fue medido con la cinta metálica.
12. **Depósito de grasa dorsal.** Fue medido con una regla graduada en mm en la región lumbar (6ª y 13ª costillas).

Área del ojo de chuleta (*Longissimus dorsi*). Fue medida en la 13ª costilla, para esto se utilizó una plantilla cuadrada. 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 cm² (Delfa y González, 1995).

6.1. Materiales

- ✿ 28 corderos machos híbridos (3/4 rambollet para abasto) con un peso vivo promedio de 26 kg.
- ✿ Medicamentos:
- ✿ Desparasitantes (closantel)
- ✿ Antibiótico (penicilina G, oxitetraciclinas)
- ✿ Jeringas

De escritorio:

- ⌚ Lápiz
- ⌚ Computadora con acceso a internet

- ⌚ Disquettes y discos compactos
- ⌚ Bolígrafos
- ⌚ Impresora

De laboratorio:

- Balanza digital
- Balanza granataria
- Digestor
- Mufla
- Equipo BÜCHI (para medir proteína)
- Desecador
- Estufa
- Matraces
- Procesador de grasas
- Crisoles
- Bata
- Guantes

De campo:

- ✓ Bebederos
- ✓ Comederos
- ✓ Corrales
- ✓ Alambre
- ✓ Varilla
- ✓ Jaulas metabólicas
- ✓ Pinzas
- ✓ Overol
- ✓ Botas
- ✓ Bascula
- ✓ Lápiz
- ✓ Libreta

- ✓ Insumos y aditivos para la dieta (soya, canola, maíz, rastrojo, salvado, minerales, bicarbonato de sodio, zilmax®, bio-chrome®.)
- ✓ Jeringas
- ✓ Crayones marcadores.

6.2. Método

Para la realización del presente trabajo se usaron 28 ovinos ³/₄ Rambouillet, machos enteros con un peso vivo promedio de 23.4 kilogramos, asignados a uno de cuatro tratamientos, cada tratamiento con siete repeticiones, donde cada cordero fue considerado como una unidad experimental.

La dieta suministrada fue formulada antes de iniciar el período de alimentación intensiva (engorda) según los requerimientos establecidos por el NRC (2007) para corderos en etapa de crecimiento y finalización (25 a 40 kg de peso vivo) a base de cereales, pasta de soya, canola, rastrojo de maíz, salvado, minerales, vitaminas, carbonato de calcio y bicarbonato de sodio (Cuadro 2).

6.2.1. Diseño experimental y análisis estadístico

El método estadístico comprendió un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2 x 2 de tratamientos, para un modelo $Y_{ij} = \mu + CZ_i + Cr_j + CZ \times Cr_{ij} + E_{ij}$.

Los análisis de varianza de la información recabada fueron realizados mediante los procedimientos GLM con apoyo del programa estadístico SAS; los promedios fueron comparados con la prueba de Tukey considerando un alfa de ($P < 0.05$) (Steel *et al.*, 1997).

7. LÍMITE DE ESPACIO

El presente trabajo se realizó en el módulo de ovinos, ubicado en la posta zootécnica y en el laboratorio de Bromatología correspondiente al Departamento de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, localizada en el Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México.

El sacrificio de los ovinos y la evaluación de las canales se realizaron en dos talleres de productores de barcacoa ubicados en el municipio de Capulhuac, México.

8. LÍMITE DE TIEMPO

La fase de revisión de bibliografía se realizó de mayo a octubre de 2013; la fase de campo y análisis de laboratorios de noviembre de 2013 a mayo de 2014.

El análisis de la información y la redacción del trabajo final de enero a junio de 2015.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento del crecimiento

Respecto a los resultados de las variables peso vivo final, ganancia de peso total y ganancia diaria de peso se observó una tendencia a cambiar de forma positiva ($P=0.10$, $P=0.10$ y $P=0.07$) en los ovinos que recibieron el clorhidrato de zilpaterol (CZ); asimismo, el CZ mejoró 7.94 % la conversión y 7.92 % la eficiencia alimenticia de los corderos en engorda. El consumo de alimento no fue afectado ($P>0.10$) por el zilpaterol, el Cr o la interacción entre ambos. Respecto al Cr, la adición de este en la dieta no afectó ($P>0.10$) la respuesta productiva; asimismo, no hubo efecto ($P>0.10$) de la interacción del CZ con el Cr en el crecimiento de los corderos en engorda (Cuadro 3). Mendoza (2015) encontró que el CZ en corderos encastados con la raza Rambouillet mejoró la conversión y eficiencia alimenticias.

En general, el CZ aumentó el peso final y la ganancia diaria de peso (GDP) de los corderos, esto puede ser una evidencia de la actividad del β -agonista suministrado durante 30 de los 74 días que duró la prueba de comportamiento, e indica que el CZ aumentó 1.4 kg el peso final y 26 g más la ganancia de masa corporal diaria. En los rumiantes, la mayor masa muscular producida por el CZ se atribuye al incremento en la síntesis de proteínas musculares, así como a una disminución del recambio proteico muscular, causando una hipertrofia del músculo (Mondragon *et al.*, 2010; McEvers *et al.*, 2014). Este efecto del CZ sobre el anabolismo muscular está mediado por el aumento en la actividad del AMPc (Mersmann, 1998), el cual causa un aumento del ARNm que codifica para la cadena pesada de miosina-IIx y IIB en las células musculares (Baxa *et al.*, 2010; Hemmings *et al.*, 2014).

El consumo de materia seca (CMS) no fue afectado por los tratamientos, pero la eficiencia alimenticia (EA) aumentó 7.92% con relación a los ovinos sin CZ. Un efecto positivo sobre la GDP y la EA sin afectar el CMS ha sido consistentemente reportado cuando se suplementa a bovinos en engorda con CZ (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Plascencia *et al.*,

2008; Vasconcelos *et al.*, 2008) o con ractopamina (Walker *et al.*, 2006; Sissom *et al.*, 2007), y en ovinos en engorda intensiva con CZ (Estrada *et al.*, 2008; Robles-Estrada *et al.*, 2009), lo cual es atribuible a la fuerte actividad anabólica del CZ (Mersmann, 1998; Baxa *et al.*, 2010; Hemmings *et al.*, 2014), que induce una mayor retención de N en el músculo de los corderos alimentados con CZ, a pesar de que consumieron una dieta con la misma concentración de PC que los corderos alimentados sin CZ. Está aceptado que el uso de CZ puede aumentar la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia (Moody *et al.*, 2000); sin embargo, se han observado respuestas variables con la administración de CZ (Vahedi *et al.*, 2014). Salinas-Chavira *et al.* (2004) indicaron incremento del CMS y GDP al dar CZ a corderos de la raza Pelibuey. En contraste, Felix *et al.* (2005) al suplementar corderos de la raza Pelibuey con CZ no observaron ningún efecto durante el crecimiento.

Cuadro 3. Efecto del clorhidrato de zilpaterol y cromo orgánico en la eficiencia del crecimiento de ovinos en engorda intensiva.

Variables	Tratamientos				EEM ¹	Efectos de:		
	CZ (mg kg ⁻¹ PV)		Cr (mg kg ⁻¹ MS)			CZ	Cr	CZxCr
	0	0.15	0	0.3				
PV Inicial ² , kg	23.28	23.34	23.32	23.67	0.827	----	----	----
PV Final ³ , kg	44.05	45.46	44.84	44.68	0.586	0.10	ns	Ns
GDPTotal ⁴ , kg	20.77	22.12	21.52	21.01	0.847	0.10	ns	ns
GDP ⁵ , kg d ⁻¹	0.280	0.300	0.291	0.284	0.010	0.07	ns	ns
Consumo, kg MS d ⁻¹	1.34	1.32	1.32	1.34	0.027	ns	ns	ns
Conversión, kg	4.78	4.40	4.54	4.72	0.133	0.02	ns	Ns
Eficiencia, %	20.90	22.70	22.05	21.20	0.650	0.02	ns	Ns

¹Error Estándar de la media.

²Peso Vivo Inicial, ³Peso Vivo Final, ⁴Ganancia de Peso Total, ⁵Ganancia diaria de peso .

Evaluación de las características de las canales

Los resultados de la evaluación de las características de la canal se muestran en el Cuadro 4. El peso vivo medio de los ovinos al momento del sacrificio no fue diferente ($P>0.10$).

Cuadro 4. Efecto del clorhidrato de zilpaterol y cromo orgánico en las características de la canal de ovinos en engorda intensiva.

Variable	CZ (mg kg ⁻¹ PV)		LCR (mg kg ⁻¹ MS)		EEM ¹	Probabilidad		
	0	0.20	0	0.3		CZ	LCR	CZ+LCR
PVS (kg) ^{2,6}	43.995	45.46	44.80	44.668	0.653	0.10	0.10	0.10
PCC (kg) ^{2,6}	20.25	20.9	20.67	20.48	0.271	0.10	0.62	0.89
PCF (kg) ^{2,6}	19.44	20.18	19.86	19.77	0.274	0.07	0.82	0.98
RCC (%) ^{2,6}	46.03	45.97	46.14	45.86	0.346	0.91	0.57	0.90
RCF (%) ^{2,6}	44.19	44.39	44.32	44.26	0.325	0.68	0.92	0.90
PPE (%) ^{2,6}	3.98	3.45	3.95	3.47	0.203	0.08	0.10	0.38
ÁLT (cm ²) ^{2,6}	24.64	25.36	24.86	25.14	0.680	0.47	0.77	0.88
EGD (mm) ^{2,6}	1.96	1.73	1.67	2.02	0.147	0.27	0.10	0.26
GP (%) ^{3,6}	3.21	3.29	3.21	3.29	0.143	0.73	0.73	0.30
GE ^{4,6}	3.07	3.14	3.00	3.21	0.083	0.55	0.08	0.55
CM ^{5,6}	200	264	236	229	12.37	0.01	0.69	0.69
LC (cm) ⁶	63.74	64.48	64.14	64.08	0.713	0.47	0.95	0.28
LP (cm) ⁶	36.36	35.39	35.79	35.96	0.584	0.25	0.83	0.76
PP (cm) ⁶	37.73	39.02	37.72	39.03	0.815	0.28	0.27	0.21
AG (cm) ⁶	19.49	20.81	20.10	20.20	0.336	0.01	0.82	0.47
PG (cm) ⁶	59.64	61.75	60.75	60.64	0.457	0.01	0.87	0.70

¹ Error estándar de la media.

² Resultados ajustados por análisis de covarianza utilizando el peso inicial como co-variables asociado ($P < 0.05$).

³ Grado de cobertura de riñón: 1, descubierto; 2, gran ventana; 3 pequeña ventana; 4, totalmente cubierta.

⁴ Código: 1, muy magra; 2, magra; 3, poco graso; 4, graso; 5, muy graso.

⁵ Código: 100, pobre; 200, normal; 300, buena; 400, muy buena; 500, excelente.

⁶PCC= Peso de la Canal Caliente; PCF= Peso de la Canal Fría; RCC=Rendimiento en Canal Caliente; RCF=Rendimiento en Canal Fría; PPE=Perdida por enfriamiento; ALT= Área del *longissimus thoracicus*; EGD= Espesor de Grasa Dorsal; GP= Grasa Perirrenal; GE= Grado de Engrasamiento; CM= Conformación muscular; LC= Longitud de la Canal; LP= Longitud de la Pierna; PP= Perímetro de la Pierna; AG= Ancho de la Grupa; PG= Perímetro de Grupa.

El peso de la canal caliente ($P=0.10$) y fría ($P=0.07$) mostró una tendencia a aumentar por la suplementación del CZ. Los canales de los ovinos que recibieron CZ y LCR tendieron ($P=0.08$; $P=0.10$) a reducir la pérdida por enfriamiento. El Cr tendió ($P=0.10$) a aumentar el espesor de grasa dorsal y el grado de engrasamiento ($P=0.08$). El CZ aumentó ($P<0.01$) la conformación muscular, el ancho y el perímetro de la grupa. El rendimiento en canal, el área del *longissimus thoracis*, la grasa perirrenal, la longitud de la canal, la longitud y el perímetro de la pierna no fueron afectados ($P>0.10$) por los tratamientos.

El aumento del peso de la canal es una respuesta consistente en diversos trabajos de rumiantes alimentados con CZ (Mondragón *et al.*, 2010; Avendaño-Reyes *et al.*, 2011), este efecto se ha observado como resultado de la influencia anabólica que ejerce el CZ, al presentar una mayor hipertrofia de las fibras musculares, cambio en el tipo de fibra, diferencia de la tasa de ADN y ARN muscular, y alta acreción de la proteína en los animales (Beermann, 2002; Leheska *et al.*, 2009; Montgomery *et al.*, 2009; Johnson *et al.*, 2014). Los efectos del CZ sobre las canales son más consistentes en bovinos que en ovinos (Estrada-Angulo *et al.*, 2008; Robles-Estrada *et al.*, 2009). Avendaño-Reyes *et al.* (2011) suplementaron 10 mg de CZ al día durante 32 días, y reportaron aumento del peso de la canal caliente y fría de borregos Dorper x Pelibuey. En un trabajo similar utilizando la misma dosis y la misma proporción genética, pero sometiendo a los animales a estrés calórico Macías-Cruz *et al.* (2010) reportaron una mejora en el peso de la canal caliente y fría.

La adición de CZ incrementó la conformación muscular, ancho y perímetro de la grupa. El incremento en la conformación muscular ha sido previamente reportado (Macías-Cruz *et*

al., 2010; Avendaño-Reyes *et al.*, 2011). El CZ es una sustancia que muestra una gran afinidad por los receptores β 2-adrenergicos que se encuentran situados en la membrana celular (Johnson *et al.*, 2014); la abundancia de receptores β 2-adrenergicos en varios músculos de rumiantes, como por ejemplo en el bíceps posterior de ovinos (Ekpe *et al.*, 2000), explicaría que al estimularlos desencadenarían un incremento en la síntesis de proteínas miofibrilares con inhibición del recambio proteico, lo que causaría una hipertrofia del músculo (Ricks *et al.*, 1984; Johnson *et al.*, 2014).

El CZ no afectó el rendimiento en canal caliente, rendimiento en canal fría y área del *longissimus thoracis*. En varios estudios, la suplementación a ovinos con CZ ha incrementado el rendimiento en canal y el área del *longissimus thoracis* (Macías-Cruz *et al.*, 2010; Avendaño-Reyes *et al.*, 2011) y en bovinos (Avendaño-Reyes *et al.*, 2006; Montgomery *et al.*, 2009); sin embargo, en algunos estudios con ovinos estos efectos han sido inexistentes (Aguilar-Soto *et al.*, 2008; Robles-Estrada *et al.*, 2009). La variación en la composición genética, proporción y tipos de cruza de corderos utilizados en el experimento actual, podría haber contribuido en no poder observar efecto del CZ sobre el rendimiento en canal y área del *longissimus thoracis*; sin embargo, la gran variación del grado de los efectos observados en los animales en los diferentes trabajos realizados, puede ser debido a diferencias en sexo, genotipo, capacidad de retención de nutrientes, dosis y dieta (Mersmann, 1998; Lawrence *et al.*, 2011; Johnson *et al.*, 2014).

La suplementación de cromo en forma de levadura tiende a incrementar el espesor de grasa dorsal, así como el grado de engrasamiento; el incremento de la deposición de grasa en las canales puede estar relacionado a un efecto del cromo asociado a un aumento en la sensibilidad de las células a la insulina, como parte de una proteína de bajo peso molecular unida al cromo (cromodulina) que estabiliza el receptor de la insulina, y esto permite una potencialización de la señal (Mertz, 1993; Vincent, 2004). La insulina tiene un fuerte efecto anabólico, ya que incrementa la entrada de glucosa al músculo, al tejido adiposo y al hígado (Mertz, 1993), provocando el incremento de la síntesis de proteína, ácidos nucleicos

(Sasaki, 2002) y síntesis de grasa (McNamara y Valdez, 2005). La grasa perirrenal fue similar entre tratamientos. No se observó interacción entre Cr x CZ en las características de la canal.

10. CONCLUSIONES

Con base en los resultados de la presente investigación, se puede concluir que el clorhidrato de zilpaterol influyó para lograr una mejor respuesta productiva y mejores características de la canal de los ovinos ya que redujo el contenido de grasa y aumentó el peso de la canal.

La levadura-Cr no afectó el crecimiento ni las características de la canal, tal vez porque la concentración de Cr en la dieta no fue suficiente para crear la reacción esperada, por lo que es necesario seguir investigando sobre cuáles son los requerimientos de este mineral en ovinos en engorda.

No hubo efecto de la interacción del clorhidrato del zilpaterol con el cromo en las variables analizadas.

11. LITERATURA CITADA

- Abraham, A.S., Sonnenblie K.M., Eini M. (1982): The action of chromium on serum lipids and on atherosclerosis in cholesterol fed rabbit. *Atherosclerosis*, 42:185-195.
- Anaya, A.D. (2003): Efecto de un β adrenérgico solo y combinado, sobre aumento de peso, grasa dorsal y área ribete en ovinos Tabasco. *Memorias XXVII Congreso Nacional de Buiatría*. pp. 240-241.
- Anderson, R.A. (1987): Chromium Trace elements in human and animal nutrition. Vol 1. *Academic Press*. New York. pp. 225-243.
- Arbiza, S.I. y de Lucas, T.J. (2000): Evaluación nutricional y agronómica de praderas de ballico perene (*lolium perene*) solo y asociado con trébol blanco (*trifolium repens*) en época de invierno-primavera, pastoreado por terneros Holstein de remplazo. Tesis de licenciatura Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia del Estado de México p.60.
- Arteaga, C.J.D. (2012): Mensaje institucional en el acto Inaugural del VII. Foro Ovino del Estado de México. INIFAP. ICAMEX.
- Barajas, C.R., Virgilio R.A., Contreras G., Monarres, P.P.R. (1998): Efectos del clorhidrato de zilpaterol (Zilmax) sobre la respuesta productiva de toretes cebú finalizados en trópico seco. *Memorias de la Reunión Científica de la XXXIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria*. Querétaro, México, pp. 144.
- Baxa, T.J., Hucheson J.P., Miller M.F., Brooks J.C., Nichols W.T., Streeter M.N., Yates D.A., and Johnson B.J. (2010): Additive effects of a steroidal implant and zilpaterol hydrochloride on feedlot performance, carcass characteristics, and skeletal muscle messenger ribonucleic acid abundance in finishing steers. *J. Anim. Sci.* 88: 330-337.
- Boleman, S.L., Boleman, S.J., Binder, T.D., Southern, L.L., Word, T.L., Pontif, J.E. and Pike, M.M. (1995): Effects of chromium picolinate on growth body composition and tissue accretion in pigs. *J. Anim. Sci.* 73:2033-2042.

- Casaya, R.R.A. (2011): Efecto del clorhidrato de zilpaterol y dos pesos de faena sobre la calidad de la carne en corderos Katahdin x Dorper o Charolais. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. pp.8-16.
- Casey, H.N. (1998): Efectos fisiológicos y toxicológicos del Clorhidrato de Zilpaterol. En: Resúmenes de las Conferencias Presentadas en el Lanzamiento de Zilmax en México D. F., México, pp. 37-47.
- Castellanos, R.A. (2006): Empleo del zilpaterol en novillos con alimentación intensiva en Yucatán, México. Mérida, Yucatán, México.
- Chang, X. and Mowat, D.N. (1992): Supplemental chromium for stressed and growing feeder calves. *J. Anim. Sci.* 7:559-565.
- Church, D.G., Pond, W.G., Pond, K.R. (2002): Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales. 2ª ed., LIMUSA, México, D.F.
- Close, W.H. (1999): Organic minerals for pigs: an update. In: Lyons, T.P., and Jacks K.A. (Eds.). *Biotechnology in the feed industry. Proceedings of Alltech's 15th Annual Symposium.* University Press. England.
- Dikeman, M.E. (2007): Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat 241 quality. *Meat Science*, 77, 121-135.
- Delfa, R.L. and Gonzales, C.F. (1995): Modelos de calificación de canales de ovinos en la unión europea. *Euro carne* 37:37-44.
- De Lucas, T.J. (2011): Estrategias reproductivas para aumentar la producción de corderos. Disponible en: http://spo.uno.org.mx/wpcontent/uploads/2011/07/9_jdlt_estrategias_repro.pdf____, (Consulta: 18 de abril de 2014).
- Domínguez, V.I.A., Mondragón, A.J., González, R.M., Salazar, G.F., Borquez, G.J.L. y Aragón, M.A. (2009): Los β -agonistas adrenérgicos como modificadores metabólicos y sus efectos en la producción, calidad y inocuidad de la carne de bovino y ovino: una revisión, *Rev. Ciencia Ergo sum*, 16(3):164.
- Drennan, W.G. (1994): Clenbuterol not approved for use in cattle in Canada. *Can. Vet. J.* 35: 474.

- Eckert, R., Randall, D., Agustine, G. (1990): Fisiología Animal, Mecanismos y Adaptaciones. Ed. Interamericana Mc Graw-Hill. México, pp. 580.
- Ekpe, E.D., Moibi, J.A. and Christopherson, R. J. (2000): "Beta-Adrenergic Receptors in Skeletal Muscles of Ruminants: Effects of Temperature and Feed Intake", Canadian, J. Anim. Sci. 80 (20):456-676.
- FAO (2013): La situación de los recursos zoo genéticos mundiales para la alimentación y la agricultura; editado por Barbara Rischkowsky y Dafydd Pilling. <http://www.fao.org/decrep/011/a125s/a150s00.htm>. (Consulta: 30 de octubre de 2014).
- Félix, A., Estrada-Angulo, A., Ríos, F.G., Ramos, C.H. and Pérez, A.B. (2005): Effect of Zilpaterol Chlorhydrate on growth performance and carcass traits in finishing sheep. J. Anim. Sci., 83 (1): 63.
- Ganong, W.F. (1996): Fisiología Animal. Ed. LIMUSA, México. D. F, México, pp. 822.
- Ganong, W.F. (2001): Fisiología Médica. 18ª ed., Ed Manual Moderno. México, D. F, pp. 113, 317, 318, 334.
- Garcés, Y.P., Zinn R., Rebolledo, A., and Abreu C. (1998): Efectos del Clorhidrato de Zilpaterol sobre la ganancia de peso y características de la canal de toretes finalizados en pastoreo. Memoria de la Reunión Científica de la XXXIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Querétaro, México, pp. 143.
- Garza, F.J.D. (1998): Comportamiento productivo de bovinos productores de carne en finalización, suplementados con Zilmax. Resúmenes de las Conferencias Presentadas en el Lanzamiento de Zilmax en México D. F., México, pp. 57-61.
- Gentry, L.R., Fernandez, J.M., Ward, T.L., White, T.W., Shourther, L.L., Bidner, T.D., Thompson, Jr. D.L., Horohov, D.W., Chapa, A.M. and Sahlu, T. (1999): Dietary protein and chromium tropic linoleic acid in suffolk wether lambs: effects on production characteristics, metabolic and hormonal responses, and immune status, J. Anim. Sci. 77:1284-1294.

- Hasenmaier, J. (1998): El punto de vista de la industria farmacéutica sobre el proceso intensivo de producción de carne. Memorias de la XXXIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Querétaro, México, p.p. 116-118.
- Hawksworth, J. (2006): The world in 2050. Price water house Coopers, March 2006.
- Hemmings, K. M., Daniel, Z.C., Buttery, T.J., Parr, T. and Brameld, J.M. (2014): Differential effects of short-term β agonist and growth hormone treatments on expression of myosin heavy chain IIB and associated metabolic genes in sheep muscle. *Animal*. 9: 285-294.
- Herrera, Y., Saldaña, R., Huber, J.T. (1989): Influence of varying protein and starch degradabilities on performance of lactating cow. *J. Dairy Sci.* 9 (5):1477-1483.
- INEGI. (2012): Disponible en:
http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/agro/Ca2007/Resultados_Agricola/presentacion.aspx?p=21&dv.=C3, (Consulta: enero de 2014).
- Johnson, J.B., Smith, B.S. and Chung, Y.K. (2014): Historical Overwiev of the Effect of β -Adrenergic Agonists on Beef Cattle Production. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 27: 757-766.
- Kegley, E.B., Spears, J.W., Brown, T.T. (1996): Immune Response and Diseases Resistance of Calves fed Chromium Nicotinic Acid Complex or Chromium Chloride. *J. Dairy. Sci.* 79: 1278.
- Kitchalong, L., Fernández, J.M., and Bunting, L.D. (1993): Chromium picolinate supplementation in lambs rations: effects on performance, nitrogen balance, endocrine and metabolic parameters. *J. Anim. Sci.* 71: 344.
- Koomaraie, M., Shackelford, D.S., Mugglicockett, N.E. and Stone, R.T. (1991): Effect of β -adrenergic agonist L644, 969 on muscle growth, endogenous proteinase activities, and postmortem proteolysis in whether lambs. *J. Anim. Sci.* 69:536-541.
- Kornegay, E.T., Wang, Z., Wod, C.M., and Limdemann, M.D. (1997): Supplemental chromium picolinate influence nitrogen balance, dry matter digestibility and carcass traits in growing-finishing pigs. *J. Anim. Sci.* 75:1319-1323.

- Leheska, J.M., Montgomery, J.L., Krehbiel, C.R., Yates, D.A., Hutcheson, J.P., Nichols, W.T., Streeter, M., Blanton, J.R., Miller, M.F. (2009): Dietary zilpaterol hydrochloride. II. Carcass composition and meat palatability of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 7 (9):1384-1393.
- Lindemann, M.D., Wood, C.M., Harper, A.F., Komegag, E.T. and Anderson, R.A. (1995): Dietary chromium picolinate additions improve gain: feed and carcass characteristics in growing finishing pigs and increase litter size in reproducing sows, *J. Anim. Sci.* 73:457-465.
- Macar, C. (1998): Zilmax en la industria de los bovinos productores de carne. Resúmenes de las Conferencias Presentadas en el Lanzamiento de Zilmax en México, D. F. México, pp. 1-6.
- Macías, C.V., Avendaño, R.L., Álvarez, V.F.D., Torrentera, O.N.G.N., Neza, H.C., Mellado, B.M., Correa, C.A. (2013): Crecimiento y características de la canal en corderos tratados con clorhidrato de zilpaterol durante primavera y verano, En: *Rev. PECU*, 4(1):1-12.
- Malucelli, A., Ellendorff, F., and Meyer, H.H.D. (1994): Tissue distribution and residues of clenbuterol, salbutamol, terbutaline in tissues of traits broiler chickens. *J. Anim. Sci.* 72: 1555-1560.
- Mc Dowell, L.R. (1992): *Minerals in Animal Nutrition*. 2^aed., Vol.II. Academic Press, Inc. USA.
- Merck, M. (1993): *El Manual Merck de Veterinaria*. 3^a ed., Centrum. Madrid, España. : 544-668
- Mersmann, J.H. (2002): Species Variation in Mechanism for modulation of growth by beta adrenergic receptors. *J. Nutr.* 125: pp. 1777-1778.
- Mersmann, H.J. (1998): "Beta-Adrenergic Receptor Modulation of Adipocyte Metabolism and Growth", *J. Anim. Sci.* 80:24-29.
- Mertz, W. (1987): *Trace elements in human and animal nutrition*. Vol. 1. Academic Press, Inc. USA.

- Mertz, W. (1993): Chromium in human nutrition: A review. *Journal of Nutrition*. 123: 626–633.
- Miller, M.F., García, D.K., Coleman, M.E. (1988): Adipose tissue, longissimus muscle and anterior pituitary growth and function in clenbuterol fed heifers. *J. Anim. Sci.* 43 (5):12-20.
- Mondragón, A.J., Domínguez, V.I.A., Rebollar, R.S., Borquez, G.J.L., Hernández, M.J. (2012): Márgenes de comercialización de la carne del ovino en Capulhuac, Estado de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 15 (2012): 105-116.
- Mondragon, J., Domínguez, V.I.A., Pinos, R.J.M., González, M., Borquez, J.L., Domínguez A., Mejía M.L. (2010): Effects of feed supplementation of zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass traits of finishing lambs, *Acta. Agric. Scand. Anim. Science*. 60: 47-52.
- Money, K.W. and Crowell, G. L.(1995): Efficacy of chromium picolinate and chromium chloride as potential carcass modifiers in swine. *J. Anim. Sci.*75:2661-2671.
- Montgomery, J.L., Krehbiel, C.R., Cranston, J.J., Yates, D.A., Hutcheson, J.P., Nichols, W.T., Streeter, M.N., Bechtol, D.T., Johnson, E., TerHune, T. and Montgomery, T.H. (2009): Dietary zilpaterol hydrochloride. I. Feedlot performance and carcass traits of steers and heifers. *J. Anim. Sci.* 87: 1374-1383.
- Moonsie-Shangeer, S. and Mowat, D.N. (1993): Effect of level supplemental chromium on performance, serum constituents, and immune status of stressed feeder calves *J. Anim. Sci.*6 (3):232-238
- Moreno, C. L. (2010) Efecto del cromo orgánico en el crecimiento, características de la canal y calidad de la carne de ovinos suffolk en engorda intensiva. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México. pp 3-6.
- Nelson, D.L. and Cox, M.M. (2000): Principios bioquímica, Lehnienger, 4 Ed. España: Ediciones omega, P. 34.
- Norma Oficial Mexicana-NOM-061-ZOO-1999: Especificaciones zoosanitarias de los productos alimenticios para consumo animal. SAGARPA. México, D. F.

- Norma Oficial Mexicana- NOM-EM-015-ZOO-2002: Especificaciones técnicas para el testigo del uso de beta-agonistas en los animales. SAGARPA. México, D. F.
- NRC. (1980): Chromium in mineral tolerance of domestic animals. National Academy of Sciences. USA.pp. 142-153.
- NRC. (2001): Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Ed. National Nutrient Academy Press.Washington, D.C. USA. p. 381.
- Ocaña, C.E. (2003): Finalización de toretes y vaquillas con un β agonista en la dieta. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México, p. 81.
- Page, T.G., Southern, T.L., Ward, T.L., Thompson, J.D.L. (1993): Effect of chromium picolinate on growth and serum and carcass traits of growing-finishing pigs. J. Anim. Sci. 71: 656-662.
- Partida, De la P.J.A., Braña, V.D., Jiménez, S.H., Ríos, R.I.G., Buendía, R.G. (2013): Producción De Carne Ovina. Centro de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, Libro técnico 5.pp. 6-76.
- Piquer, J.F. (2000): Nuevas perspectivas en el uso de oligoelementos y vitaminas en alimentación animal. Avances en nutrición y alimentación animal. XIV Curso de Especialización, p. 46.
- Plascencia, A. (1999): Influencia de la adición de zilpaterol en dietas de finalización para novillos: comportamiento productivo y características de la canal. Resúmenes de las Conferencias Presentadas en el Lanzamiento de ZILMAX en México, D.F. México, pp. 72-75.
- Pollard, G.V. and Richardson, C.R. (1999): Effects of organic chromium on growth, efficiency in carcass characteristic of fed lots steers in: Zyions, T.P. and Kacks, K.A. (Eds.). Biotechnology in the feed industry. Proceedings of All Tech 15th annual symposium university press. England, P. 537.
- PROGAN. (2010): Programa Nacional Ganadero. SAGARPA.
<http://www.sagarpa.gob.mx/ganaderia/Programas/Paginas/PROGRAM.aspx>, (diciembre 2013).

- Reeds, P. J., Mersmann, H. J. (1991): Protein and energy requirements of animals treated with β -adrenergic agonists, *J. Anim. Sci.* 69: 1532-1550.
- Reséndiz, H.M., Bárcena, G.J.R., Crosby, G.M.M., Cobos, P.M., Herrera, H.J., Hernández G.P.K., Carreón, L.L. (2012): Efecto del selenio y cromo orgánico *Saccharomyces cerevisiae*, la degradación *in situ* de la dieta, fermentación ruminal y crecimiento de borregos. *Agrociencia*, 46 (48):654-687.
- Richardson, C.R., and Pollard, G.V. (1999): Effects of organic Chromium (Biochrome) on growth, efficiency and carcass characteristics of feedlot steers: In: Lyons, T.P and K.A Jacks (eds.). *Biotechnology in the feed industry. Proceedings of Alltech's 15th Ann. Symposium.* University Press. England.
- Robles-Estrada, J. C., Barreras-Serrano A., Contreras G., Estrada-Angulo A., Obregón J. F., Plascencia A., and Ríos, F.G. (2009): Effect of two β -adrenergic agonists on finishing performance and carcass characteristics in lambs fed all-concentrate diets. *J. Appl. Anim. Res.* 36: 33–36.
- Rodríguez, A.L.C., Mendoza, M.G.D., Mota, S.N., Osorio, T.A.I., Lee, R.H., Hernández, G.P.A. (2011): Efecto de selenio y el cromo orgánico sobre el comportamiento en ovinos en finalización, nota técnica. *Rev. Cient. Fcv-luz*, 21(2):152-155.
- SAGARPA. (2012): Crece ovinocultura en México; busca incursionar en nuevos mercados. Comunicado de prensa de la Secretaria de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación 073.
- Sánchez, Del R. C., y Huerta, M. (1995): Promotores del crecimiento animal. Influencia de los implantes en el comportamiento de ovinos. *Memorias de los "Tópicos Actuales sobre nutrición y Alimentación de Ovinos de Engorda"*. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México, pp. 119-123.
- Sánchez, G.E.J. (1990): Anabólicos y hormonas. En: *Anabólicos y aditivos en la producción pecuaria.* G.E Ávila., A.S. Shimada, L.G. Llamas (eds.). *Const. Prod. Anim.* S.C. México, D. F, pp. 151-152.

- Shelver, W.L. and Smith, D.J. (2006): "Tissue Residues and Urinary Excretion of Zilpaterol in Sheep Treated for 10 Days with Dietary Zilpaterol", *J. Agri. and Food Chetry*. 5(6): 54.
- Shimada, M.A. (2003): *Nutrición Animal*. Ed. Trillas, México, D. F. pp. 358-467.
- Soria, J.L.B. y Arias, M.J.A. (1997): "Señalización por segundos mensajeros", en *Curso Internacional Pre congreso "Actualización en Fisiología"*. XI Congreso Nacional de Temas Fisiológicos.
- Soto, L.C., Delgado, E.M., Cuellar, O.A. (2006): *Situación de la ovinocultura en México*. www.engormix.com. (12 de octubre del 2006).
- Steel, R.G.D., Torie, J.H., and Dikey, D.A. (1997): *Principles and procedures of statistics*. Printed in the united states of America., pp. 1-600.
- Steele, N.C. and Rosebrough, R.W. (1979): Trivalent chromium and nicotinic acid supplementation the turkey poultry. *Poult. Sci.* 58: 983-984.
- Timmerman, H. (1987): β -Adrenergics; Physiology, Pharmacology, Applications, Structures and Structure-Activity Relationships,. In: *Beta-Agonists and Their Effects on Animal Growth and Carcass Quality*. J.P. Hanrahan (ed.). Elsevier Applied Science. London.pp. 13-28.
- Vanguelov, B.O. (1995): *Promotores del crecimiento animal. Los beta-agonistas adrenérgicos y su efecto sobre el crecimiento de corderos y las características de la canal*. Memorias de "Tópicos Actuales sobre Nutrición y Alimentación de Ovinos en Engorda". Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, pp. 135-141.
- Ward, J. and Spear, J.W. (1991): Availability of copper in ruminants from copper lysine relative to copper sulfate, *J. Anim. Sci.* 69(1):55.
- Yang, Y.T., and Mc Elligot, M.A. (1989): Multiple actions of beta-adrenergic agonist on skeletal muscle and adipose tissue. *Bioch. J.* 261: 1-10.