



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES

“EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE CLORHIDRATO DE
ZILPATEROL Y ZINC ORGÁNICO EN LA RESPUESTA
PRODUCTIVA, METABÓLICA Y CALIDAD DE LA CARNE DE
OVINOS EN ENGORDA INTENSIVA”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:
M.V.Z. MANUEL GUERRERO BARCENA

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, Marzo de 2017



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES

“EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE CLORHIDRATO DE
ZILPATEROL Y ZINC ORGÁNICO EN LA RESPUESTA
PRODUCTIVA, METABÓLICA Y CALIDAD DE LA CARNE DE
OVINOS EN ENGORDA INTENSIVA”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

PRESENTA:
M.V.Z. MANUEL GUERRERO BARCENA

COMITÉ DE TUTORES

Dr. ERNESTO MORALES ALMARAZ
Dr. IGNACIO ARTURO DOMINGUEZ VARA
Dr. JUAN EDREI SANCHEZ TORRES

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, Marzo de 2017

DEDICATORIAS

Para mi familia, especialmente a mis hijos y mi esposa por su amor y apoyo incondicional.

Para mis padres y hermanos por su ejemplo y confianza.

Para mis compañeros y amigos.

Para mis tutores, por su paciencia comprensión y enseñanza.

Para Dios, por haberme ofrecido esta oportunidad y por brindarme la fortaleza para culminar mis estudios.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por acompañarme y guiarme en la vida, en mi trayecto profesional y bendecirme con los mejores familiares, amigos y maestros.

A mis padres Mario y Juani, por educarme con valores, amor y paciencia y brindarme la oportunidad de cumplir mis sueños.

A mis hermanos, Juan, Claudia y Mario por su cariño y atención.

A mi esposa Norma y mis hijos Camila y Mario, por brindarme su apoyo, amor, y paciencia.

A mis compañeros y amigos del laboratorio de carne por su gran ayuda y excelente compañía.

A mis amigos Edrei y Gelvis, J. Y. O. por su apoyo y consejo.

Al Dr. Ignacio Domínguez, por darme su confianza y brindarme la oportunidad para realizar mis estudios de Maestría, además de su valiosa enseñanza y dirección en mi trabajo de investigación.

Al Dr. Ernesto y Dr. Edrei por su paciencia y apoyo durante la investigación.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por permitirme realizar los estudios.

A la D.G.E.T.A. por los permisos y apoyos que me otorgaron y que hicieron posible la realización de este trabajo.

RESUMEN

Se utilizaron 32 ovinos machos (25 ± 0.580 kg PV) para evaluar el efecto de suplementar el clorhidrato de zilpaterol (CZ) y metionina de zinc (ZM) sobre el crecimiento, características de la canal y calidad de la carne. Se utilizó un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 2x2, dos niveles de CZ (0 y $0.2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ PV d}^{-1}$) y dos niveles de ZM (0 y $80 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$). El CZ aumentó ($P < 0.05$) el rendimiento en canal, el índice de compacidad, el área de ojo de chuleta y disminuyó el engrasamiento ($P < 0.02$). El contenido de extracto etéreo en la grasa intramuscular de la carne aumentó ($P < 0.05$) en los ovinos suplementados con ZM más CZ y en los que recibieron sólo ZM ($P < 0.0001$). El CZ aumentó ($P < 0.05$) el contenido de proteína cruda en la carne y disminuyó ($P < 0.002$) los valores de color L^* , a^* , b^* , C^* , y H° . Por lo tanto, se concluye que el CZ aumenta el rendimiento de la canal, y disminuye su engrasamiento; el aumento del contenido de extracto etéreo en la carne por efecto de ZM, CZ más ZM y en el contenido de proteína por efecto del CZ implica que el uso de estos aditivos en la producción de ovinos en engorda puede influir sobre la calidad de la carne.

Palabras clave: ovinos, clorhidrato de zilpaterol, zinc metionina, canal, carne.

ABSTRACT

Thirty-two male lamb (25 ± 0.580 kg BW) were used to evaluate the effect of supplementing zilpaterol hydrochloride (ZH) and zinc methionine (ZM) on growth, carcass characteristics and meat quality. A completely randomized design with 2x2 factorial arrangement, two levels of ZH (0 and $0.2 \text{ mg kg}^{-1} \text{ BW d}^{-1}$) and two levels of ZM (0 and $80 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$) were used. The ZH increased ($P < 0.05$) the carcass yield, the compactness index and the rib eye area, nevertheless decreased the fat ($P < 0.02$). The content of ether extract in the intramuscular fat of the meat increased ($P < 0.05$) in the lambs supplemented with ZM + ZH and in those that received only ZM ($P < 0.0001$). The ZH increased ($P < 0.05$) the crude protein content in the meat and decreased ($P < 0.002$) the values of color L *, a *, b *, C *, and H°. Therefore, it is concluded that the CZ increases the yield of the carcass, and decreases its grease; The increase in ether extract content in meat by the effect of ZM, ZH + ZM and in the protein content by ZH implies that the use of these additives in the production of fattening sheep can influence the quality of the meat.

Key words: lambs, zilpaterol hydrochloride, zinc methionine, carcass, meat.

CONTENIDO

DEDICATORIAS.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
INDICE DE CUADROS	ix
INDICE DE FIGURAS	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
2.1. Situación de la producción ovina en el mundo	3
2.1.1. Situación de la producción ovina en México	3
2.1.2 Comercialización.....	5
2.1.3 Consumo de carne ovina en México	5
2.2 La canal ovina	6
2.2.1 Precio y características	7
2.2.2 Calidad.....	8
2.3 La carne ovina	8
2.3.1 Grasa.....	9
2.3.2 Grasa subcutánea de cobertura o externa	10
2.3.3 Grasa intramuscular y de marmoleo.....	10
2.3.4 Área del ojo de la chuleta	10
2.3.5 Color.....	11
2.3.6 Capacidad de retención de agua (CRA)	12
2.3.7 pH	12
2.3.8 Terneza	13
2.4 El Zinc	14
2.4.1 Importancia del zinc en la función orgánica	14
2.4.2 Zinc y biosíntesis de insulina	16
2.4.3 El Zn y sus efectos en el ganado	17

2.5. β Agonistas Adrenérgicos	18
2.6 Mecanismo de acción del clorhidrato de zilpaterol	20
2.6.1 Efectos del CZ en el ganado.....	21
III. JUSTIFICACIÓN	23
IV HIPÓTESIS	25
V. OBJETIVOS	26
Objetivo general	26
Objetivos específicos	26
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
6.1. Animales y Alimentación	27
6.2. Tratamientos	27
6.3. Mediciones	29
6.3.1. Características de la canal	29
6.3.2. Características y calidad de la carne.....	29
6.4. Análisis estadístico	30
VII. RESULTADOS	31
7.1. Desempeño productivo	31
7.2. Características de la canal	32
7.3. Composición química de la carne	33
VIII. DISCUSION	36
8.1. Desempeño productivo	36
8.2. Características de la canal	36
8.3. Composición química de la carne	37
IX. CONCLUSIONES.....	40
X. LITERATURA CITADA	41
X. ANEXOS	58

INDICE DE CUADROS

CUADRO	TÍTULO	Página
1-	Producción de carne ovina por entidad, 2013	5
2-	Ingredientes de la dieta y su composición química	28
3-	Desempeño productivo de ovinos suplementados con clorhidrato de zilpaterol y metionina de zinc	31
4-	Características de la canal de ovinos suplementados con clorhidrato de zilpaterol y metionina de zinc	32
5-	Características de la canal de ovinos suplementados con clorhidrato de zilpaterol y metionina de zinc	33
6-	Efecto del clorhidrato de zilpaterol y metionina de zinc sobre la composición nutrimental (g 100g ⁻¹) de la carne de ovinos	34
7-	Efecto de del clorhidrato de zilpaterol y metionina de zinc sobre el pH, color, pérdida de agua por cocción y fuerza de corte de la carne de ovinos	35

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	TÍTULO	Página
	1-Inventario Nacional de Ganado Ovino (miles de cabezas)	3
	2-Producción Nacional y Comercio de Carne de Ovino	4
	3-Precio Medio Rural de la Carne Ovina en canal en México	7
	4-El zinc y la biosíntesis de insulina.....	16

I. INTRODUCCIÓN

La Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO, 2015) prevé una caída del orden de 8.5% en el comercio mundial de carne ovina, debido a que Australia y Nueva Zelanda entraron en una fase de retención para reconstruir sus diezmados stocks (Partida *et al.*, 2015); el informe de la FAO considera un consumo mundial per cápita de 43.1 kg (FAO, 2015); sin embargo, la producción de corderos aumentó a una tasa promedio de 1.12% por año durante la última década (FAO, 2014), y se espera para el 2025 una tasa de 2.5% anual debido al incremento substancial en el consumo de ovinos en países en desarrollo (OECD-FAO, 2013).

En México, en el año 2014, la producción de carne ovina fue de 58,288 ton (SIAP, 2014), y se espera que para el año 2018 la producción alcance las 67,500 ton., con una demanda de alrededor de 99,000 ton (OECD-FAO, 2013). A pesar de este crecimiento proyectado, el consumo de carne ovina en México representa aproximadamente sólo el 1 % del total de la carne consumida en el país, con un consumo per cápita de 0.68 kg/habitante/año, esperando que se incremente a 0.70 kg en los próximos años (SAGARPA, 2012). De igual manera se espera que la demanda pase de 90,290 toneladas en el 2012 a 101,850 toneladas para el año 2021 (OECD-FAO, 2013). Sin embargo, se tiene previsto que la producción de carne ovina tenga un mayor crecimiento para satisfacer las necesidades demandadas. Por lo tanto, la mejora en la producción y calidad de la carne es uno de los retos más importantes para los sistemas de producción ovinos. Debido al incremento de la demanda es necesario perfeccionar las técnicas de producción empleadas y la introducción de nuevos y procedimientos, incluyendo aditivos en la dieta (SAGARPA, 2011).

El uso de anabólicos y modificadores del metabolismo es común en la engorda de ganado ovino en México para mejorar la producción, especialmente en parámetros como velocidad del crecimiento y conversión alimenticia (SAGARPA, 2011). Entre estos se encuentran los anabólicos esteroides, la somatotropina, los β -agonistas, las vitaminas y los minerales. En

general dentro del proceso productivo estos productos incrementan la tasa de crecimiento, mejoran la conversión y eficiencia alimenticias, y en la canal, aumentan el porcentaje de carne magra y disminuyen la cantidad de grasa corporal (Partida y Braña, 2011).

El clorhidrato de zilpaterol (CZ) es un β -Agonista adrenérgico que se encuentra autorizado para uso comercial en la ganadería de México, Sudáfrica, Estados Unidos (FDA, NDA 141-258) y Recientemente en el 2009 fue aprobado su uso en Canadá (Shelver *et al.*, 2005; Dikeman, 2007; Delmore *et al.*, 2010). Numerosos estudios reportan que el CZ tiene efectos favorecedores sobre el comportamiento productivo y las características de la canal, aumenta el peso vivo (Avendaño *et al.*, 2006) y el peso de la canal (Beckett *et al.*, 2009; Avendaño *et al.*, 2006; Castellanos *et al.*, 2006).

Otro aditivo que puede tener un impacto importante en el mejoramiento de la producción animal es el zinc (Zn). Este elemento traza es esencial para los animales domésticos y se ha comprobado que es un componente indispensable en la dieta de los rumiantes (Minson, 1990; McDowell *et al.*, 1997), ya que es necesario para el crecimiento y la reproducción, se ha relacionado con varios mecanismos como un compuesto lipogénico (Malcolm-Callis *et al.*, 2000; Oh y Choi, 2004); además, se ha reportado que el Zn tiene efecto sobre la ganancia diaria de peso, rendimiento en canal y marmoleo (Spears y Kegley, 2002).

Es evidente que se requiere más investigación acerca de los efectos de la adición de estos suplementos en la dieta del ganado ovino; por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de suplementar el Clorhidrato de Zilpaterol y Zinc-metionina y su combinación en la dieta sobre la respuesta productiva, características de la canal y la calidad de la carne de ovinos en engorda intensiva.

II. REVISION DE LITERATURA

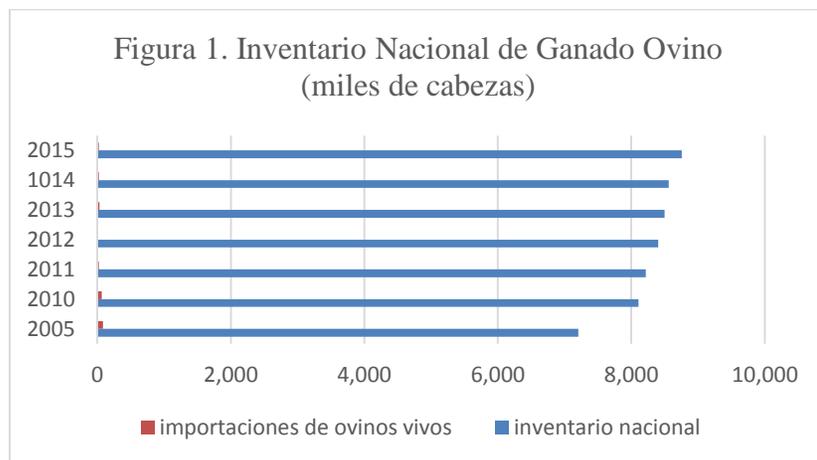
2.1. Situación de la producción ovina en el mundo

Las previsiones indican que la producción mundial de carne experimentará un aumento de 1.3 por ciento o 4 millones de toneladas más que en 2014 (FAO, 2015).

Se estima que la población ovina mundial en el año 2011 era aproximadamente 1,043 millones de cabezas, la cual ha permanecido relativamente estable en los últimos años con un pequeño descenso de 2000 a 2011 de 16 millones, aproximadamente el 1.5% (OECD-FAO, 2013). En el año 2010, China era el país con el mayor rebaño ovino, concentraba el 12.42% de la población mundial, le seguían la India con 6.86%, Australia con 6.31% e Irán con 5%. Los principales exportadores de carne ovina son Nueva Zelanda, Australia, Ucrania y la India.

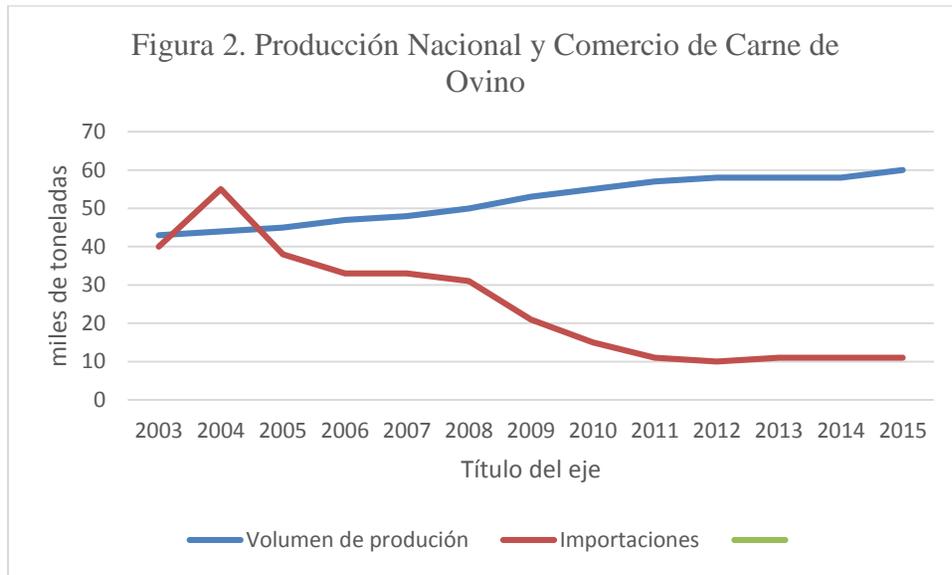
2.1.1. Situación de la producción ovina en México

El inventario de ganado ovino en el México se incrementó 25% entre 2003 y 2013, y alcanzó los 8.5 millones de cabezas en 2013; se estima que en 2014 llegó a 8.6 millones de cabezas (Figura 1). Las importaciones de ovinos son principalmente para abasto y en el año 2014 alcanzaron las 23 mil cabezas, con un valor de 3 mdd. En tanto que las exportaciones no son significativas (SIAP, 2015).



SIAP-SAGARPA (2015) Cifras estimadas

En el año 2014, México produjo alrededor de 58 mil toneladas de carne de ovino y casi 5 mil toneladas de lana sucia (Figura 2). Entre los años 2009 y 2014 el crecimiento promedio anual de cada uno de estos productos fue de 1.6% para la carne y 0.7% para la lana.



Fuente: SIAP-SAGARPA (2015) SIAVI-SE. /p Cifras prelim. /e Cifras estimadas.

Las exportaciones de carne de ovino no son significativas, mientras que las importaciones han descendido fuertemente en los últimos diez años, a un ritmo de casi 15% anual, en el año 2014 llegaron a poco más de 11 mil toneladas con un valor de 52 mdd.

Cuadro 1. Producción de carne ovino por entidad, 2013.

Estados	Volumen		Valor	
	Toneladas	Participación	Mdp ¹	Participación
Hidalgo	7,253.00	12.5	496.4	16.4
México	8,596.50	14.8	475.5	16.4
Veracruz	4,819.50	14.8	475.5	15.7
Puebla	4,125.10	7.1	220.9	7.3
Zacatecas	4,175.7	7.2	207.7	6.9
Baja California	3,280.00	5.7	165.1	5.5
Resto del País	25,730.70	44.4	1,222.80	40.5
Total Nacional	57,980.40	100	3,020.20	100

¹ millones de pesos.

Fuente SIAP-SAGARPA (2015)

Todas las entidades del país producen carne de ovino, sin embargo, Hidalgo y el Estado de México son los de mayor importancia (Figura 3), ya que entre los dos estados participan con el 27.3% del volumen y 32.2% del valor generados (SIAP, 2015).

2.1.2 Comercialización

La comercialización de la carne de ovino se realiza a través de diferentes vías y actores que permiten que el producto llegue a manos del consumidor final. Los pequeños productores venden los ovinos en pie, ya que comercializan su producto por la ruta más accesible (Roets y Kirsten, 2005), pero aun dependen de los grandes intermediarios; sin embargo, el resto de productores tienen en medio dos o tres eslabones más, agravándose esta situación por los intermediarios, que también son los principales importadores de ganado en pie y de carne congelada (Arteaga, 2003)

2.1.3 Consumo de carne ovina en México

México no es un país de gran consumo de cordero (738 g/persona/año) (SAGARPA, 2005); sin embargo, para satisfacer una demanda de por lo menos 750 g de cordero/persona/año es necesario importar más de 31,000 toneladas de carne ovina/año. Esta situación brinda a los productores ovinos mexicanos la oportunidad de aumentar su Producción en más de 60%

para satisfacer las necesidades actuales. Durante los últimos años, se han introducido en el país varias razas especializadas en la producción de carne para mejorar el rendimiento animal, la conformación de la canal y el grado de acabado de la canal (Hernández *et al.*, 2009; Ríos *et al.*, 2011., Partida *et al.*, 2015).

En México, el consumo de carne de ovino, casi en su totalidad (95%), es a través del platillo típico, “barbacoa”, considerado como un platillo de lujo. Las importaciones de carne congelada compiten en precio con la carne fresca, y esto así se mantendrá mientras el precio se sostenga, pero se espera que con el tiempo los consumidores den preferencia a la carne fresca (Torrescano *et al.*, 2009).

Con lo anterior se ratifica que es importante ser eficientes en esta actividad pecuaria, para que los costos de producción permitan dar un precio competitivo a la carne fresca ante las importaciones (Torrescano *et al.*, 2009).

2.2 La canal ovina

La canal ovina se define como el cuerpo del animal sacrificado, sangrado, desollado, eviscerado, separada la cabeza a nivel de la articulación occipito-atloidea, y sin extremidades, que se cortan a nivel de las articulaciones carpometacarpianas y tarso-metatarsianas, conservando la cola, los pilares y la porción periférica carnosa del diafragma y los testículos. La canal podrá conservar o no los riñones y la grasa de riñonada y pélvica; no presentará las vísceras torácicas ni abdominales ni la ubre ni la grasa mamaria (MAAMA, 2013).

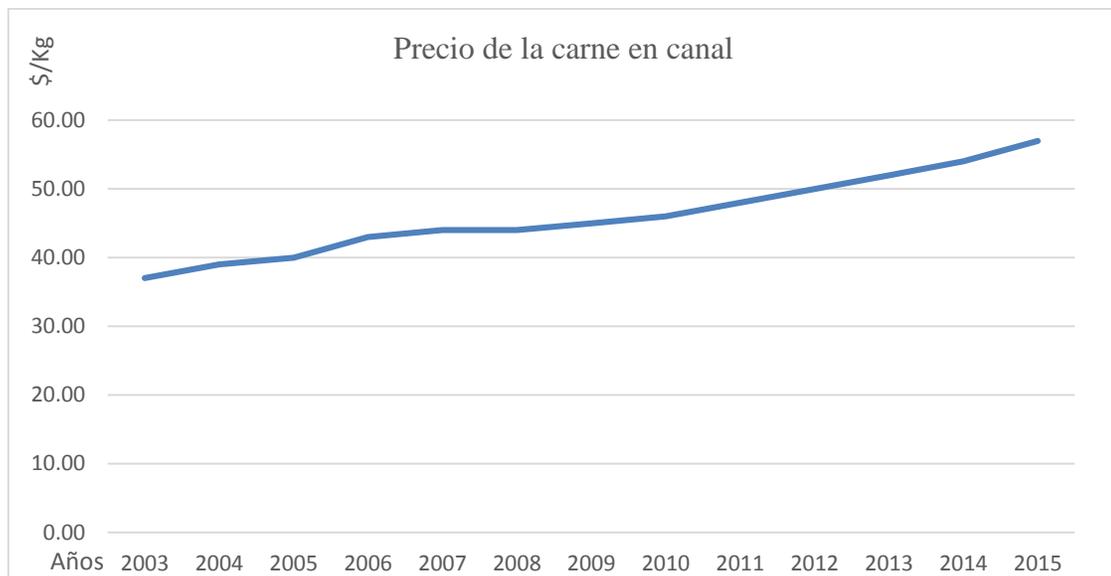
Conocer las diferencias entre las canales ovinas tiene un fuerte impacto económico, lo que ha cambiado la industria de la carne a lo largo del mundo (Cross y Savell, 1994). Sin embargo, en México, se paga casi exclusivamente por el valor del animal en pie (peso vivo), la cual es una práctica que debe quedar en el pasado (Rubio *et al.*, 2013). Los científicos han desarrollado una metodología para la medición de atributos de canales que afectan el rendimiento y la palatabilidad de la carne (Méndez *et al.*, 2009), los cuales son relevantes para el consumidor, los productores y empacadoras de carne (Kempster *et al.*, 1982). El valor de los animales debería ser diferente según las características de la canal y de la carne, que

las hagan más deseables para el mercado, además deberían estar asociadas a un sistema de incentivos y castigos (Rubio *et al.*, 2013).

2.2.1 Precio y características

En el medio rural el precio de la carne ovina en canal ha aumentado en un 3.4% anual durante el período de 2003 a 2013, ubicándose en \$52.1 por kg en 2013 y se estima que en 2014 pudo haber alcanzado los \$53.8 por kg (Figura 4). Actualmente, en el municipio de Capulhuac, México, el precio de la carne de ovino en canal ha alcanzado un valor de \$95.0 por kg.

Figura 3. Precio en medio rural de la carne ovina en canal en México.



Fuente: SIAP-SAGARPA (2015). p/Cifras preliminares /e Cifras estimadas

Debido a que en México existe una gran diversidad de condiciones ambientales, en los sistemas de producción, en las razas de ovinos, en los pesos y en las edades al sacrificio, las canales que se producen presentan alta variabilidad en cuanto a su tipología (Partida y Braña., 2011). En México, los estudios realizados por Partida *et al.* (2013), se encontró que los genotipos más abundantes son Katahdin, Rambouillet, Pelibuey, Criollo, Dorper y Cruzamientos de Katahdin x Pelibuey, Pelibuey x Dorper, Katahdin x Charollais, Katahdin

x Dorper, Katahdin x Suffolk, Pelibuey x Black Belly, Dorper x Hampshire, Pelibuey x Dorset y Katahdin x Texel, los cuales presentan un buen promedio de peso en canal fría cercano a 22 kg, pero con rangos muy extremos debido a las diferencias en el tamaño de los animales de los distintos grupos genéticos. El rendimiento comercial en canal fría va del 24 al 62% y la conformación de la canal es buena, con canales en los extremos que van de excelentes hasta deficientes.

2.2.2 Calidad

La calidad es un término difícil de definir porque varía en función del punto de vista de quien lo explica y de su ubicación en la cadena de valor, pero básicamente se refiere a la medida en la que un producto satisface las necesidades o uso al que se le destina.

Particularmente la calidad de la canal se asocia básicamente con su engrasamiento, forma, tamaño y peso, pues estos elementos permiten estimar de manera indirecta las proporciones de musculo y grasa que son las que realmente se utilizan (Partida y Braña, 2011).

La FAO (2015) define la calidad de la carne generalmente en función de su composición (proporción magro-graso), y de factores de palatabilidad tales como aspecto, olor, firmeza, jugosidad, ternura y sabor. La calidad nutritiva de la carne es objetiva, mientras que la calidad “como producto comestible”, tal y como es percibida por el consumidor, es altamente subjetiva. A nivel del consumidor, Smith (2000) describió las características más importantes al comprar un corte de carne fresca: calidad (sabor, ternura o blandura, apariencia y la estabilidad en el almacenamiento), consistencia (igualdad en apariencia a la compra, igualdad en palatabilidad al consumo), inocuidad (seguridad bacteriológica y química), y por último, la actitud del distribuidor (productores sobre el ambiente y bienestar animal).

2.3 La carne ovina

La carne, en su definición más amplia, es el tejido animal utilizado como alimento. Se compone de células de tejido o fibras musculares, grasa y tejido conectivo (Miller, 2002). Aunque la carne refleja en gran medida la química y la estructura natural de los músculos postmortem (Lawrie, 1991). El músculo se convierte en carne por una serie de cambios bioquímicos y biofísicos, que se inician tras la muerte del animal. La conversión es un

proceso de tres pasos que incluye la fase de pre-rigor (pocos minutos a 30 minutos post-mortem), durante la cual el músculo permanece excitable y podría corresponder a la duración de la supervivencia del sistema nervioso, y es consecuencia del cese del suministro de oxígeno y nutrientes a la células, por lo que en este momento el músculo es flácido y extensible. La fase de rigor mortis sucede después de pocas horas, se caracteriza porque el músculo se torna rígido e inextensible, lo cual es provocado por la formación de puentes cruzados entre los filamentos de actina y miosina, que en ausencia de energía esto es irreversible. Durante este periodo, el pH desciende debido a la degradación del glucógeno por la vía anaerobia con el fin de obtener energía (ATP); como resultado hay la formación de ácido láctico, provocando el descenso del pH muscular, pasando de valores próximos a 7 hasta valores entre 5.4-5.8; la última fase es la post rigor, maduración o tenderización de la carne, que es un proceso en el que enzimas proteolíticas endógenas (catepsinas, calpainas, caspasas, proteosomas) degradan proteínas musculares (desacoplamiento de las proteínas ligadas al sarcolema de cada miofibrilla) (Pearson y Young, 1989; Taylor *et al.*, 1995; Sentandreu *et al.*, 2002; Warris, 2003).

La carne de cordero es un alimento especialmente rico en proteínas de buena calidad, también denominadas proteínas de alto valor biológico y contiene en promedio 19.24 % de PC, mientras que el contenido de grasa es de alrededor de 12.7 %, respecto al contenido (%) de humedad y cenizas es de 68.25 y 1.05, respectivamente (Hoffman *et al.*, 2002).

2.3.1 Grasa

El tejido graso está constituido por adipocitos especializados en el almacenamiento de grasas, y por tejido conjuntivo de sostén (Díaz, 2001). La función se relaciona con una serie de procesos biológicos destinados a la nutrición de los tejidos, y una de sus funciones más importante es como reserva de energía para el animal (Ham, 1975; Lehninger *et al.*, 1978; Díaz, 2001). Es el único tejido básico que no tiene límite de acumulación, excepto cuando el factor genético lo regule (Godoy *et al.*, 1986). Los factores que influyen en la cantidad de grasa son: peso vivo del animal, sexo, raza, alimentación.

El estado de engrasamiento se define como la proporción de grasa que presentan las canales respecto de su peso (Briskey y Bray, 1964), el cual es un indicador de la cantidad de músculo y grasa que contendrá, así como de algunos parámetros organolépticos de la carne, como son el sabor y la jugosidad. Es decir, el estado de engrasamiento, puede ser un indicador subjetivo de la calidad de la canal (Albertí *et al.*, 2003).

2.3.2 Grasa subcutánea de cobertura o externa

La grasa de cobertura protege a la canal y a los músculos de las pérdidas de agua durante la conservación en refrigeración o en congelación, evitando el oscurecimiento de la carne como consecuencia de la oxidación de la mioglobina, evita el acortamiento por frío cuando la canal es congelada (PAG, 2006; McCrae *et al.*, 1971; Lawrie, 1966).

2.3.3 Grasa intramuscular y de marmoleo

La grasa intramuscular es un depósito de grasa dentro de las fibras musculares (Forrest *et al.*, 1979; Rubio *et al.*, 2013), es muy importante en el aroma, la jugosidad, la ternura y la vida de anaquel de la carne (French *et al.*, 2000; Oliván *et al.*, 2001; Chambaz *et al.*, 2003). Por lo tanto, el marmoleo de la carne es el mayor factor que determina el grado de calidad y es de gran importancia económica. El porcentaje mínimo de grasa necesaria para la palatabilidad de la carne es de 3 % en base cruda (Savell y Cross, 1988); particularmente en el ganado ovino el depósito de grasa intramuscular ocurre después de la madurez (Cianzio *et al.*, 1985), a diferencia de otras especies, en los ovinos el porcentaje de grasa intramuscular al sacrificio es menor a 5 % (McPhee *et al.*, 2008); las canales de ovinos en edades avanzadas pueden tener grandes cantidades de grasa subcutánea, sin embargo, el mayor aumento proporcional de grasa intramuscular y resto de tejido adiposo ocurre en edades tempranas (Ponnampalam *et al.*, 2007).

2.3.4 Área del ojo de la chuleta

El área del músculo del ojo de la chuleta a la altura de la 12^a costilla es el mejor predictor de la composición que las medidas subjetivas de conformación o forma. Se puede medir usando una gradilla marcada, con planímetros o dibujando el contorno sobre un papel plástico

trasparente. En la medición solo se debe incluir el área del músculo, excluyendo la grasa adyacente y demás tejidos (Méndez *et al.*, 2009; Rubio *et al.*, 2013).

2.3.5 Color

El color de la carne depende del tipo de músculo (tipo de actividad) y de la concentración de mioglobina que contenga el tejido muscular; además del estado de oxidación del átomo de hierro del grupo hemo, y de una posible desnaturalización de la globina (Hulot y Ouhayoun, 1999). El color de la carne es uno de los atributos más valorados por el consumidor en el momento de la compra, hasta el punto de ser considerado uno de sus criterios preferenciales (Krammer, 1994).

La comisión Internacional de la Carne (CIE por sus siglas del francés: Commission Internationale de l'Eclairage) de 1976 recomienda para evaluar el color, dos escalas de color alternativas y uniformes: (L*, a*, b*) ó CIELAB y la CIE, 1976 (L*, u*, v*) ó CIELUV. El sistema de representación del color más adecuado es el CIELAB, ya que se presenta más uniforme en la zona de los rojos (Hernández, 1994). Este sistema emplea las coordenadas tricromáticas L* (luminosidad), a* (índice rojo) y b* (índice de amarillo), de manera que a partir de relaciones entre ellas se pueden obtener las coordenadas colorimétricas, intensidad de color o croma ($C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$) y tono ($H^* = \arctg(b^*/a^*)$).

La coordenada L* es la más relacionada con la valoración visual del consumidor (Murray, 1989). Su valor depende de varios factores como el pH, la capacidad de retención de agua, la humedad, la integridad de la estructura muscular y, en menor medida, del grado de oxidación de los hemo pigmentos (Sayas, 1997). También influye el contenido en grasa, pues las materias primas con mayor contenido en grasa son las que presentan mayores valores de L*. La coordenada a* (eje rojo-verde) está relacionada con el contenido de mioglobina (Pérez-Álvarez, 2006). La coordenada b* (eje amarillo-azul) ha sido relacionada con los distintos estados de la mioglobina (Pérez-Álvarez, 1996).

2.3.6 Capacidad de retención de agua (CRA)

La carne cruda de los mamíferos después del sacrificio contiene, por término medio, un 75 % de agua (Lawrie, 1996), porcentaje que varía con la especie y el tipo de músculo. Parte de esta agua se pierde por evaporación durante el enfriamiento de las canales (en los corderos lechales estas pérdidas pueden llegar a ser de un 5 %); o por goteo, como consecuencia de la sección de los tejidos (según el grado de división de la carne puede perderse hasta un 6 %). Las mayores pérdidas de agua, sin embargo, se producen en el cocinado de la carne, pérdidas que pueden superar el 40 % (Offer y Knight, 1988).

No se sabe con total certeza como se encuentra el agua en el músculo, aunque mediante estudios de resonancia magnética nuclear se ha concluido que existe un 5 % de agua imposible de separar y el 95 % restante está considerada como agua libre, capaz de migrar (Hazlewood, 1995). Sañudo *et al.* (1993), la definen como la capacidad de la carne para retener el agua que ella misma contiene cuando se aplican fuerzas externas como cortes, calentamiento, trituración y prensado, lo cual representa un gran interés durante su conservación, fileteado, cocinado y transformación. Después del sacrificio del animal, la CRA de la carne se ve afectada por factores como: caída del pH post-mortem, pérdida de ATP, instauración del rigor mortis y cambios en la estructura miofibrilar asociados, en parte, a la actividad proteolítica (Ouali, 1990; Koohmaraie, 1996). Por ello, las propiedades físicas más importantes de la carne (color, firmeza, jugosidad y textura) están estrechamente relacionadas con la CRA (Hulot y Ouhayoun, 1999).

2.3.7 pH

El pH de los animales vivos varía en un rango de 7.08 a 7.30; tras la muerte del animal, se produce un descenso del mismo hasta valores entre 5.4 y 5.6 (Barriada, 1995). Cuando el animal muere, el músculo se ve privado de riego sanguíneo y por lo tanto de oxígeno. Esto hace que se bloquee la síntesis de ATP, que es la fuente ordinaria de obtención de energía muscular, con lo cual el músculo se ve obligado a adquirir esa energía por vía anaerobia a partir del glucógeno de reserva, dando lugar a la producción de ácido láctico (Monin, 1988). Mientras exista glucógeno se produce ácido láctico, descendiendo el pH hasta que se

interrumpen los fenómenos glucolíticos o bien hasta que se inactivan las enzimas que rigen el metabolismo muscular (Lawrie, 1996). El pH afecta directamente a la estabilidad y a las propiedades de las proteínas, y de su valor final (medido generalmente a las 24 h post mortem) dependerán prácticamente todos los atributos importantes de la calidad de la carne (capacidad de retención de agua, textura y color).

Para la determinación del pH en la canal y la carne se utiliza un potenciómetro con electrodo de penetración, introduciéndolo en el músculo *longissimus thoracis* a nivel de la 12ª costilla, a las cero horas (justo después del faenado del animal) y a las 24 horas (después de permanecer en refrigeración) (Braña *et al.*, 2011).

2.3.8 Terneza

La terneza determina el valor comercial de la carne (Chambers y Bowers, 1993); Boleman *et al.* (1995) confirmaron que el consumidor paga por la terneza. Otros autores señalan que la terneza y el color de la carne son los parámetros principales que determinan las preferencias del consumidor (Pearson, 1966). Dos fracciones proteicas determinan la terneza, por una parte están las proteínas del tejido conjuntivo y por otra las miofibrilares (Marsh, 1977). Las proteínas del tejido conjuntivo están constituidas por el colágeno, la elastina y la reticulina y constituyen un elemento negativo que limita la terneza. El colágeno es el principal componente del tejido conjuntivo, determina la dureza de base ya que cuanto mayor es su cantidad, más dura es la carne (Hill, 1966). La dureza de la carne cocinada se atribuye, fundamentalmente, al tejido conectivo y a las proteínas contráctiles (Marsh, 1977; Miller, 1994).

La segunda fracción proteica implicada en la terneza, son las proteínas miofibrilares cuyas transformaciones post mortem son responsables de las principales variaciones de esta cualidad, existiendo una estrecha relación entre esta y el grado de concentración de las miofibrillas (los músculos relajados son más tiernos que los contraídos). Herring *et al.* (1967) demostraron que la dureza de la carne está relacionada con la contracción de las fibras musculares, hecho que se refleja observando la longitud del sarcómero. El método más

ampliamente utilizado para medir la terneza es la determinación de esfuerzo de cizallamiento o de corte con equipo Warner-Bratzler (Cross *et al.*, 1986), basado en la metodología propuesta por Bratzler (1949).

2.4 El Zinc

El zinc es un elemento químico esencial que se encuentra en la totalidad de las células, pero se encuentra principalmente en el músculo esquelético y el hueso, los que contienen el 90% del zinc total del organismo. En el músculo, el encéfalo, los pulmones y el corazón, las concentraciones son relativamente estables y no responden a las variaciones del contenido del mineral en la dieta. En otros tejidos como el hueso, los testículos, el pelo y la sangre, la concentración tiende a reflejar la ingesta dietética del mismo (Cousins, 1999). La ubicación y distribución del zinc en las células, y el hecho de que es el oligoelemento intracelular más abundante, indica que sus funciones son muy básicas (Torres y Bahr, 2004).

2.4.1 Importancia del zinc en la función orgánica

El zinc es requerido para la acción de más de 300 metaloenzimas (Smith y Akinbamizo, 2000), como la superóxido-dismutasa con cobre y zinc, la anhidrasa carbónica, la alcohol deshidrogenasa, carboxipeptidasa, la fosfatasa alcalina y la ARN polimerasa (Vierboom *et al.*, 2003; Spears, 1989); el Zn presenta características antioxidantes, contrarrestando la oxidación, al menos, mediante dos mecanismos, por la unión en el grupo sulfhidrilo de las proteínas y por la ocupación del sitio de unión del hierro y el cobre en los lípidos, proteínas y ADN (Bray y Bettger, 1990; Zago y Oteiza, 2001). Así, el zinc es un limpiador de los radicales libres de oxígeno, protegiendo a las células contra el daño oxidativo y la oxidación de lípidos inhibiendo la fosfolipasa (Eggert *et al.*, 2002).

El Zn también impide la apoptosis inhibiendo las proteasas implicadas en la muerte celular programada o suprimiendo las endonucleasas dependientes de calcio y magnesio, que causan la apoptosis por fragmentación del ADN (Perry *et al.*, 1997; Chai *et al.*, 1999; Truong *et al.*,

2000; Chimienti *et al.*, 2003). El Zn al estar involucrado en el metabolismo de carbohidratos, ácidos nucleicos, lípidos y de las proteínas, es, por lo tanto, esencial en la diferenciación y replicación celular (Underwood, 1981; Vierboom *et al.*, 2003). La deficiencia de Zn induce un retardo del crecimiento y disfunción del sistema inmune del animal (Vierboom *et al.*, 2003).

Tanaka *et al.* (2000) observaron que en ausencia de zinc disminuye la síntesis de insulina; Tang y Shay (2001) informaron que el Zn podría inducir un aumento en el transporte de glucosa en las células; probablemente actuando a través de la vía de señalización de la insulina (Chen *et al.*, 1998); El Zn también está involucrado en el metabolismo del tejido adiposo, y en el aumento de la obesidad; en estudios *in vitro*, la adición de Zn mejora la estimulación a la insulina para convertir la glucosa en lípidos dentro de los adipocitos de ratas y ratones (Shisheva *et al.*, 1992; Chen *et al.*, 1996).

El zinc ejerce su acción sobre tres enzimas reguladoras clave de la glucólisis y gluconeogénesis; inhibe la fosforilacinasasa, activa a la piruvatocinasasa y a la fructosa 2,6 bifosfatasa/fosfofructocinasasa (Gómez *et al.*, 2003):

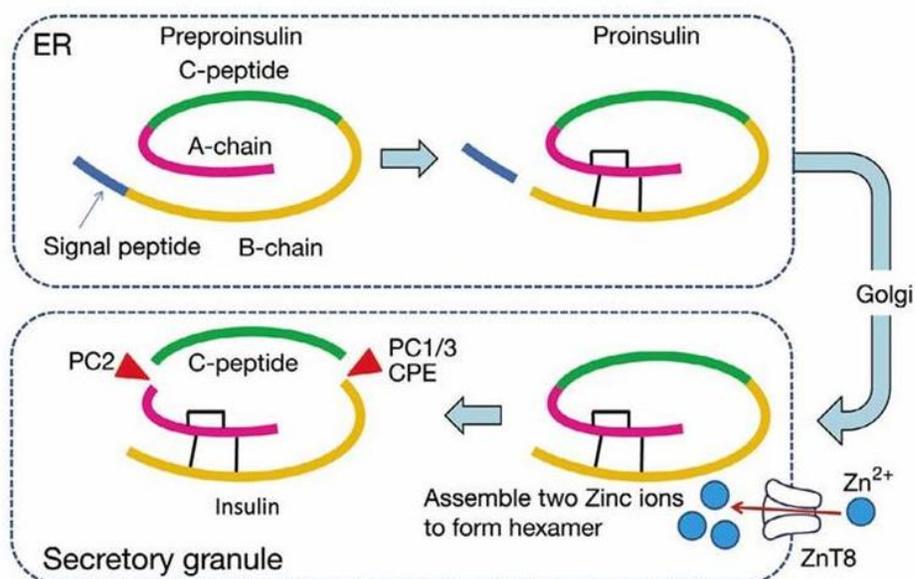
1. El zinc inhibe a la fosforilacinasasa dependiente del AMPc y fosforila a la glucógeno fosforilasa, enzima que rompe el glucógeno en glucosa e introduce un grupo fosfato a cada molécula de glucosa proveniente del glucógeno (Díaz *et al.*, 1995), este paso causa un aumento en la glucosa 1-fosfato que se convierte en glucosa 6-fosfato y se transforma en glucosa y continua a la vía de la glucólisis.
2. La activación de la piruvatocinasasa por el Zn^{+2} cataliza la reacción del fosfoenolpiruvato a piruvato, último paso de la glucólisis. El piruvato se convierte a acetil coenzima A y continúa por la vía del ciclo de Krebs. Cuando la piruvatocinasasa se inactiva, el fosfoenolpiruvato se utiliza en la gluconeogenesis (Díaz *et al.*, 1995).
3. La fructosa 2,6 bifosfatasa/fosfofructocinasasa-2 regula la gluconeogenesis y la glucólisis mediante el efector alostérico fructosa 2,6-bifosfato. El efector activa la fosfofructocinasasa (enzima que produce fructosa 1,6-bifosfato) e inhibe la fructosa

1,6-bifosfatasa (enzima regulatoria en la gluconeogenesis) promoviendo la glucolisis e inhibiendo la gluconeogenesis (Díaz *et al.*, 1995).

2.4.2 Zinc y biosíntesis de insulina

El zinc, en su forma libre, se concentra en los gránulos secretorios de insulina. Después de la señal del péptido en la molécula de pro insulina en el retículo endo plasmático, la proinsulina es ensamblada en el aparato de Golgi bajo la forma de hexámeros que contiene dos iones de zinc. La histidina en la posición 10 de la cadena B de la proinsulina es la encargada de coordinar los dos iones de zinc. Posteriormente, la proinsulina hexamérica es convertida en insulina por escisión del péptido C mediante la acción de las enzimas proteolíticas convertasas PC 1/3 y PC 2 y carboxipeptidasa E (Figura 5). Cuando ocurre la exocitosis de la insulina en las células β , el zinc es co secretado con la insulina en el espacio extracelular, pero una vez expuestos al pH de la sangre, el zinc se separa de la insulina (Kawasaki, 2012).

Figura 4. El zinc y la biosíntesis de insulina.



Kawasaki, 2012.

2.4.3 El Zn y sus efectos en el ganado

Estudios realizados en bovinos suplementados con zinc bajo sistemas pastoriles donde los niveles del mineral son deficientes o marginales demuestran que puede tener efecto sobre la ganancia de peso (Mayland *et al.*, 1980); en relación con lo anterior, Underwood (1981) reportó que hay disminución del crecimiento en animales deficientes de Zn y esta disminución se debe a un menor consumo de alimento pero también en parte a una menor eficiencia en la conversión alimenticia.

Se ha reportado que el Zn tiene efecto sobre la ganancia diaria de peso de bovinos en finalización. Spears y Kegley (2002) reportaron un incremento en el marmoleo con respecto al control durante 84 días de prueba, con niveles aproximados de 25 mg de Zn/kg MS. Beeson *et al.* (1977) realizaron una serie de experimentos utilizando 20 mg de Zn/kg MS, encontrando diferencia en uno de los siete experimentos. El % de grasa en riñón, corazón y pelvis (RCP) aumento cuando se suplemento metionina-zinc a una dosis de 360 mg de Zn/por animal/día (Nunnery *et al.*, 2000). Greene *et al.* (1988) informaron de mayores puntuaciones de marmoleado y calidad de la canal de novillos alimentados Zn metionina (360 mg Zn/kg MS) en comparación con novillos alimentados ZnO (360 mg Zn/kg MS) o novillos alimentados con una dieta de control (82 mg Zn/kg MS). El aumento en la deposición de grasa intramuscular con la administración de suplementos de metionina de Zn se reflejó en el aumento de KPH y grasa externa (Greene *et al.*, 1988). McBerth *et al.* (2005) no encontraron diferencia estadística cuando los novillos fueron alimentados con 90 ppm de Zn, sin embargo la diferencia numérica en el grado de marmoleo fue 4.0 % mayor con Zn.

Chen *et al.* (1996) determinaron que la suplementación de zinc aumenta significativamente la grasa corporal y reduce la ingesta de alimentos en ratones obesos, debido a que el zinc imita algunas acciones de la insulina para aumentar la utilización de la glucosa y el proceso de lipogénesis, sin embargo, en otro estudio se menciona que este efecto del zinc sobre el aumento de la lipogénesis se debe principalmente a la mejora en la actividad de la insulina, pero no una acción similar a la insulina (Chen *et al.*, 1996).

Hace poco tiempo la industria comenzó a producir complejos orgánicos de distintos minerales, de los cuales, los más importantes son los aminoatos y proteinatos, sosteniendo que su impacto en la nutrición animal surge del hecho en que tienen mejor biodisponibilidad, además de que una vez absorbido el complejo aminoácido-mineral son transportados a los tejidos o sistemas enzimáticos específicos (Van dergrift, 1992); el complejo metionina zinc es actualmente el complejo aminoácido-zinc más utilizado en nutrición animal (Brown y Zeringue, 1994).

2.5. β Agonistas Adrenérgicos

El crecimiento animal puede ser manipulado mediante el uso de técnicas de manejo que incrementan la acreción muscular, disminuyendo la acumulación de grasa (Avendaño *et al.*, 2011). Dentro de estas técnicas podemos citar el uso de los β -Agonistas Adrenérgicos (β AA) donde se encuentra el clorhidrato de zilpaterol, que es utilizado legalmente en México (Norma Oficial Mexicana- NOM-061-ZOO-1999; NOM-EM-015-ZOO-2002). En los Estados Unidos de América fue aprobado su uso por la US Food and Drug Administration (FDA) en Agosto 2006 (FDA, New Animal Drug Application 141-258), durante los últimos 20 a 40 días del periodo de finalización, seguido de 3 días de retiro. Recientemente en el año 2009 fue aprobado su uso en Canadá. Sudáfrica es otro país que permite el empleo de este promotor desde 1997 (Delmore *et al.*, 2010).

En producción animal se señala a los β -Agonistas Adrenérgicos como redistribuidores de la energía, promoviendo que esta se deposite en algunos sitios corporales en lugar de otros; se les define como agentes químicos que actúan a nivel de los receptores adrenérgicos que actúan asociados a la proteína G, derivando la energía de los alimentos y la de la lipólisis hacia la síntesis proteica (De la Garza *et al.*, 2005). Es decir, producen una redirección del metabolismo energético celular a favor de la síntesis proteica (Reeds y Mersmann, 1991), siempre y cuando haya suficientes aminoácidos disponibles. Esto se traduce en un incremento en la productividad en bovinos, porcinos y aves (Herbert *et al.*, 1985; Mersmann, 1998). Estudios en ovinos y bovinos afirman que aumenta el peso de los músculos en 40%, y que la magnitud de la respuesta varía dependiendo del β AA suministrado, así como de la influencia

de factores como la especie, la raza, la edad, el sexo y la dieta (Mersmann, 1998).

En teoría, la utilización de estas sustancias presenta una serie de ventajas relacionadas no sólo con la mejora de la productividad, sino también con la calidad, pues la carne de animales tratados con β AA tiene mayor proporción de tejido magro (Domínguez *et al.*, 2009).

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 receptores β -adrenérgicos se encuentran ubicados en la membrana plasmática de la mayoría de los mamíferos y existen tres tipos que son: R β -A, β 1, β 2 y β 3, localizados en todos los tejidos de los ovinos y en estos el más presente en el músculo esquelético y tejido graso es el tipo β 2. De estos subtipos el 1 y el 2 aumentan el adenosin monofosfato cíclico (Domínguez-Vara *et al.*, 2009; Sissom, 2009; Sumano *et al.*, 2002); así mismo Ganong (2001) indicó que ambos subtipos de receptores β incrementan el adenosin monofosfato cíclico (AMPc); estos receptores consisten en una proteína que atraviesa la membrana celular siete veces, formando tres asas intracelulares y tres extracelulares a los que se unen la adrenalina y la noradrenalina. En la mayor parte de las células de los 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). Por ejemplo, en los ovinos, los receptores β 1 y β 2 coexisten en el bíceps posterior y en el área del músculo *Longissimus dorsi* (Koohmaraie *et al.*, 1991; Ekpe *et al.*, 2000).

Las propiedades que hacen diferente la respuesta intrínseca entre los β AA radican en las características de sus grupos constituyentes, que propician una distinta farmacocinética, la cual determina la magnitud del efecto y la persistencia de residuos en los tejidos animales; por ejemplo, el clenbuterol para mostrar actividad, requiere de la presencia de un anillo aromático con un grupo hidroxilo en la posición β del grupo alifático. Al mismo tiempo, la presencia del cloro en el clenbuterol lo hace más liposoluble que sus análogos y por consecuencia tiende a difundirse profundamente en los tejidos, minimizando su excreción;

sin embargo, todos los β AA serían más liposolubles de no ser porque la amina, que todos tienen, se encuentra a un pH fisiológico menor al del estómago. Esta respuesta es determinada por los tipos de receptores adrenérgicos encontrados en la membrana celular, a los cuales, el β AA se unirá para llevar a cabo su respuesta fisiológica (Sumano *et al.*, 2002).

2.6 Mecanismo de acción del clorhidrato de zilpaterol

El Clorhidrato de Zilpaterol (CZ) se une a los receptores β A formando un complejo agonista-receptor que activa a la proteína G, la cual activa a la enzima adenil ciclasa, que se localiza en la membrana celular, esta enzima cataliza la formación de adenosin monofosfato cíclico (AMPC) a partir un adenosin trifosfato (ATP). El AMPC es un importante mensajero intracelular o segundo mensajero, el cual se une a la subunidad reguladora de la proteína quinasa A o proteína kinasa A (PKA), esta última fosforila dos tipos de proteínas intracelulares. Una de estas proteínas es la lipasa sensible a hormonas (LSH), y la otra proteína que es activada es la perilipina. La LSH es la enzima limitante para la hidrólisis de los triglicéridos almacenados en los adipocitos, hacia ácidos grasos y glicerol y la perilipina se encuentra rodeando las gotas lipídicas y al igual que la LSH se activa con la fosforilación. La LSH se une a la perilipina e hidroliza a los triglicéridos a monoglicéridos. La enzima monoglicérido hidrolasa (MAGh), hidroliza el monoglicérido en ácidos grasos y glicerol (Mersmann, 2002).

Por otro lado el acetil coenzima A (CoA) carboxilasa, es inactivada con la fosforilación, la cuál es la enzima limitante para la síntesis de ácidos grasos de cadena larga (Smith, 1998; Mersmann, 1998). Los ácidos grasos obtenidos en este mecanismo de acción son enviados fuera del adipocito para ser usados como fuentes oxidativas en otros tejidos. Un aumento en el catabolismo (lipolisis) y una reducción en el anabolismo (lipogénesis) de los lípidos en el adipocito propician una atrofia en el adipocito y en consecuencia una reducción en el depósito de grasa en la canal.

Se han encontrado algunos β AA en adipositos de determinados animales, los cuales no han tenido efecto alguno (Mills y Mersmann, 1995). En ovejas, la respuesta al uso prolongado de los β AA no es clara; Oksbjerg *et al.* (1996) indicaron que los efectos de los β AA en el tejido

adiposo son menores que en el músculo. Los β AA aumentan la perfusión sanguínea hacia el músculo, así como una mayor disponibilidad de energía y aminoácidos, en consecuencia aumenta la síntesis y retención de proteína que favorece la hipertrofia muscular, principalmente de los músculos del cuarto trasero del animal (Li *et al.* 2000; Ekpe *et al.* 2000; Castellanos *et al.* 2006). En el músculo, además de la hipertrofia, ocurren cambios en el tipo de fibra muscular, también hay cambios en la proporción de ARN de transcripción para proteínas musculares como la miosina y actina (Miller *et al.*, 1988) que son las proteínas del músculo esquelético primario (Mills, 2002). El mecanismo para la realización de la hipertrofia causada por los β -agonistas sucede de la siguiente manera: la PKA (proteína quinasa A) se activa, aumenta la cantidad de ARN (ácido ribonucleico) y ARNm (ácido ribonucleico mensajero) de las proteínas miofibrilares mediante el aumento de la tasa de síntesis de las proteínas (Anderson *et al.* 2005). Los agonistas β -AA causan un aumento en la actividad calpastatina y esto, a su vez, inhibe la acción de la calpaína, disminuyendo de ese modo la degradación de proteínas (Yang y McElligott, 1989; Dunshea *et al.*, 2005).

2.6.1 Efectos del CZ en el ganado.

El CZ tiene efectos favorecedores sobre el comportamiento productivo y las características de la canal; aumenta el peso vivo (Rathmann *et al.*, 2011; Avendaño *et al.*, 2006) y el peso de la canal (Rathmann *et al.*, 2011; Beckett *et al.*, 2009; Avendaño *et al.*, 2006; Castellanos *et al.*, 2006); también se ha observado que mejora la ganancia diaria de peso (Rathmann *et al.*, 2011; Avendaño *et al.*, 2006; Castellanos *et al.*, 2006; Plascencia *et al.*, 1999), y la conversión alimenticia (Plascencia *et al.*, 1999). También aumenta el rendimiento en canal (Rathmann *et al.*, 2011; Beckett *et al.*, 2009; Avendaño *et al.*, 2006; Castellanos *et al.*, 2006; Plascencia *et al.*, 1999) y el área del *Longissimus dorsi* (Rathmann *et al.*, 2011; Beckett *et al.*, 2009; Avendaño *et al.*, 2006; Castellanos *et al.*, 2006). Además, se reduce la grasa de cobertura (Lawrence *et al.*, 2011; Rathmann *et al.*, 2011; Castellanos *et al.*, 2006).

En los estudios realizados con ovinos alimentados con el β AA CZ (Anaya *et al.*, 2005; López *et al.*, 2003; Salinas *et al.*, 2006; Mondragón, 2008), (Shackelford *et al.*, 1992; Koohmaraie

et al., 1996) no se mejoró la respuesta productiva. En contraste, en un estudio en ovinos que recibieron CZ (Salinas *et al.*, 2004) se mejoró la ganancia de peso en 60%. También en bovinos se han observado efectos significativos sobre la ganancia de peso atribuible al CZ (Garza *et al.*, 1997; Garcés *et al.*, 1998; Placencia *et al.*, 1999; Castellanos *et al.*, 2006; Avendaño *et al.*, 2006).

III. JUSTIFICACIÓN

Aumentar la productividad en la engorda de ganado ovino mejorando la calidad de la carne, es una búsqueda constante; En México, el uso de anabólicos y modificadores del metabolismo es común en la engorda de ganado ovino para mejorar la producción, especialmente en parámetros como la velocidad del crecimiento y la conversión alimenticia (SAGARPA, 2011).

Varios modificadores metabólicos han sido utilizados para aumentar la ganancia diaria de peso, mejorar la eficiencia alimenticia y maximizar el crecimiento muscular.

El CZ tiene efectos positivos sobre el comportamiento productivo y las características de la canal, aumenta el PV (Avendaño *et al.*, 2006) y el peso de la canal (Beckett *et al.*, 2009; Avendaño *et al.*, 2006; Castellanos *et al.*, 2006); sin embargo, los β -Agonistas, al estimular la lipólisis y disminuir la grasa intramuscular y visceral pueden tener efectos negativos en la calidad de la canal y de la carne, afectando el color, la jugosidad y la ternura o suavidad de la misma (Partida y Braña, 2011; Mondragón *et al.*, 2010).

En la carne, la grasa intramuscular es el principal factor que determina la calidad y es de gran importancia económica, sin embargo, en el ganado ovino, a diferencia de otras especies, la intensidad para almacenar la grasa intramuscular, ocurre después de la madurez sexual (Cianzio *et al.*, 1985); además, en los ovinos al sacrificio el contenido de grasa intramuscular es menor a 5 % (McPhee *et al.*, 2008) por lo cual es importante buscar alternativas que permitan modificar estos efectos, mejorando la productividad y la calidad de la canal de los ovinos en engorda alimentados con clorhidrato de zilpaterol.

Otro aditivo que puede tener un impacto importante en el mejoramiento de la producción animal es el zinc, este micro mineral está relacionado con el aumento de la obesidad (Chen *et al.*, 1996), y se le ha identificado como un compuesto lipogénico (Malcolm-Callis *et al.*, 2000), se ha aceptado que imita algunas acciones de la insulina para aumentar la utilización de la glucosa y promover la lipogénesis (Chen *et al.*, 1996); en bovinos, Spears y Kegley (2002) indicaron un efecto del Zn en la GDP, el rendimiento en la canal y el marmoleo en la

carne. Por lo tanto, el uso de CZ más ZM puede influir en el depósito de la grasa intramuscular, en el grado de ternura de la carne, en las características de la canal y en la respuesta productiva de ovinos en engorda.

IV HIPÓTESIS

La respuesta productiva, las características de la canal y la calidad de la carne de ovinos en engorda con alimentación intensiva son modificadas por efecto del clorhidrato de zilpaterol y el zinc orgánico.

V. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el efecto de suplementar el clorhidrato de zilpaterol, el zinc orgánico y su combinación en la respuesta productiva, en las características de la canal y en la calidad la carne de ovinos en engorda intensiva.

Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del clorhidrato de zilpaterol y el zinc orgánico sobre la ganancia de peso, consumo de alimento, conversión y eficiencia alimenticia de ovinos en engorda intensiva.
- Determinar el efecto del clorhidrato de zilpaterol y el zinc orgánico sobre el rendimiento, pesos de las canales caliente y fría, pH de la canal a las 0 y 24 h, grasa dorsal, el área del ojo de la costilla, medidas lineales, capacidad de retención de agua, compacidad, conformación, grasa de cobertura de ovinos en engorda intensiva.
- Medir el efecto del clorhidrato de zilpaterol y el zinc orgánico sobre la calidad de la composición nutrimental, color, terneza y pH de la carne de ovinos en engorda intensiva.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado bajo la supervisión y aprobación del comité académico de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, cumpliendo con las regulaciones establecidas por las leyes de protección animal vigentes en el Estado de México.

El experimento, se llevó a cabo entre los meses de Abril a Julio de 2015, en el Área Experimental de Producción Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, Localizada a 24° 51' de latitud Norte y 107° 26' de longitud Oeste, a 2600 m sobre el nivel medio del mar, con una temperatura media anual de 24.8° C y una precipitación media anual de 1000 a 1200 mm (INEGI, 2009).

6.1. Animales y Alimentación

Se utilizaron 32 ovinos Suffolk con peso vivo (PV) promedio de 25 ± 0.58 kg y 4 meses de edad, alojados en corraletas individuales, (1.5m x 1.5 m), equipadas con comedero y bebedero automático; los animales se identificaron con arete numerado, se vacunaron para prevenir enfermedades por *Clostridium*, *Pasteurella* y se desparasitaron con ivermectina/clorsurol, además se les aplicó vitamina A, D, E y complejo B.

Los animales fueron alimentados dos veces al día (8:00 y 15:00h) con una dieta basal (Cuadro 1) durante 89 días (15 días de adaptación y 74 días de medición), el rechazo del alimento se midió una vez al día.

6.2. Tratamientos

El total de ovinos se dividió en cuatro grupos formados por 8 animales y se asignaron aleatoriamente de la siguiente manera: 1) Testigo, 2) Metionina de Zinc (ZM), 3) clorhidrato de zilpaterol (CZ), 4) CZ+ZM. Los ovinos se suplementaron con 0.20 mg kg^{-1} PV de

Zilmax®, (Schering-Plough Animal Health, Summit, Nueva Jersey, EE.UU.) a partir del día 42 al 71 y con 80 mg kg MS^d Availa Zn 120, (Zinpro Corporation; Eden Prairie, MN, EE.UU.) durante el periodo de medición de la respuesta productiva.

Las dosis diarias de CZ y ZM se calcularon y se proporcionaron directamente en el comedero mezclándolo con la parte superior del alimento recientemente ofrecido. Los ovinos se pesaron cada dos semanas y se registró el PVI en el día uno de prueba y para el PVF en el día 74 previo al sacrificio.

Cuadro 2. Ingredientes de la dieta y su composición química

Ingredientes	(g kg⁻¹ MS)
Rastrojo de maíz	160.0
Maíz molido	600.0
Pasta de soya	140.0
Salvado de trigo	60.0
Bicarbonato de sodio	15.0
Pre mezcla vitaminas y minerales ¹	25.0
Composición química	
MS (g kg ⁻¹) ²	876.8
PC (g kg ⁻¹ MS) ²	140.8
FDN (g kg ⁻¹ MS) ¹	214.6
EM (MJ kg ⁻¹) ³	11.83
Zn (ppm) ³	18.03

¹Premezcla: micro min (mg kg⁻¹) I=0.3; Se=0.3; Co=0.09; Cu=10; Mn=4.0; Fe=5.0; macro minerales (%) S=0.09; P=0.10; Ca=0.45; Na=0.09; Cl=0.05;

²Determinado en laboratorio.

³Calculado a partir de la composición de los ingredientes de la dieta (NRC 2007).

6.3. Mediciones

6.3.1. Características de la canal

Una vez terminado el periodo de engorda, los ovinos fueron transportados en vehículo (54 km) a una planta de sacrificio cumpliendo lo establecido en los estándares (NOM-051-ZOO-1995). Los animales se pesaron antes del sacrificio (PVS) y las canales fueron pesadas inmediatamente después del sacrificio para obtener el peso de la canal caliente (PCC); el rendimiento en canal (RC) se obtuvo en relación al (PVS) y (PCC), posteriormente, las canales ovinas fueron refrigeradas a 4°C durante 24 h y se obtuvo el peso de la canal fría (PCF), sobre estas canales fueron tomadas las medidas de longitud, anchura y espesor, empleando cinta métrica y vernier; posteriormente se realizó un corte transversal en el musculo *Longuísimos dorsi*, del lado izquierdo de la canal, entre las costillas 12^a y 13^a para medir el espesor de la grasa dorsal (mm) con vernier y el área del *longuísimos dorsi* determinada con un planímetro (Planix7 TAMAYA).

El color de la carne se midió con un colorímetro (Minolta Chroma Meter CR-200), usando color CIELAB. El pH se midió con un potenciómetro equipado con un electrodo de penetración (modelo HANNA HI 99163).

6.3.2. Características y calidad de la carne

Para el análisis de la calidad de la carne se utilizaron muestras de músculo (50 g) de *longissimus dorsi* del lado izquierdo de cada canal, las cuales se empacaron y congelaron (-20 ° C) para su posterior análisis. El contenido de MS, cenizas, proteína y grasa fueron determinadas en función de la AOAC (2007) y La fuerza de corte se determinó con cuchilla Warner Bratzler; la pérdida por cocción se midió por métodos gravimétricos (AMSA, 1995).

6.4. Análisis estadístico

Los resultados del ensayo de crecimiento, de la evaluación de las características de la canal y de la calidad de la carne fueron analizados estadísticamente como un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2x2 de los tratamientos (CZ: 0 y 0.20 mg kg⁻¹ PV; ZM: 0 y 80 mg Zn kg⁻¹ MS), utilizando PROC MIXED (SAS, 2006); las medias de los tratamientos fueron comparadas usando la prueba de Tukey (P<0.05).

VII. RESULTADOS

7.1. Desempeño productivo

El crecimiento de los ovinos en términos de peso vivo final (PVF), consumo de materia seca (CMS), ganancia de peso total (GPT) y ganancia diaria de peso (GDP) (Cuadro 3) no fue afectado ($P \geq 0.05$) por los tratamientos aplicados; sin embargo, se observó una tendencia a cambiar en los ovinos tratados con CZ en las variables de conversión alimenticia (CA) ($P \leq 0.076$), eficiencia alimenticia (EA) ($P \leq 0.086$), peso de la canal caliente (PCC) ($P \leq 0.074$) y peso de la canal fría (PCF) ($P \leq 0.075$). El desempeño productivo no fue afectado ($P > 0.05$) por ZM y no se encontró efecto significativo de la interacción entre ZM con CZ ($P > 0.05$).

Cuadro 3. Desempeño productivo de ovinos suplementados con clorhidrato de zilpaterol y metionina de zinc

Variables	Tratamientos				¹ EEM	Efecto		
	-CZ		+CZ			CZ	ZM	CZ+ZM
	-ZM	+ZM	-ZM	+ZM				
PVI, Kg	25.375	25.150	25.400	25.150	2.053	-----	-----	-----
PVF, Kg	44.300	44.100	44.975	45.500	1.395	0.797	0.908	0.463
CMST, Kg	106.275	96.825	99.812	98.475	6.845	0.727	0.437	0.558
GDPT, Kg	18.925	18.950	19.575	20.375	1.548	0.508	0.791	0.804
GDP, Kg	0.253	0.255	0.264	0.275	0.021	0.193	0.370	0.939
CA, Kg	5.712	5.362	5.112	4.875	0.295	0.076 [†]	0.328	0.850
EA, %	0.177	0.191	0.197	0.206	0.009	0.086 [†]	0.263	0.801

-CZ, clorhidrato de zilpaterol 0 mg kg⁻¹ PV; +CZ, clorhidrato de zilpaterol 0.2 mg kg⁻¹ PV; -ZM, metionina de zinc 0 mg kg⁻¹ MS; +ZM, metionina de zinc 80 mg kg⁻¹ MS.

¹EEM, error estándar medio.

*Diferencia significativa ($P < 0.05$); [†]Tendencia estadística (de $P \leq 0.05$ a $P \leq 0.10$).

7.2. Características de la canal

En este estudio las características de la canal mejoraron con el CZ (Cuadro 4), hubo aumentos de PCC ($P \leq 0.07$), PCF, RCC, RCF, IC1, IC2 y área de chuleta ($P \leq 0.05$) (Cuadro 5). La grasa de la canal disminuyó ($P < 0.05$) con el CZ. La adición de ZM no afectó ninguna de las características previamente descritas, y no hubo efecto de la interacción del CZ más ZM para ninguna de las características de la canal.

Cuadro 4. Características de la canal de ovinos suplementados con clorhidrato de zilpaterol y metionina de zinc.

Variables	Tratamientos				¹ EEM	Efecto		
	-CZ		+CZ			CZ	ZM	CZ+ZM
	-ZM	+ZM	-ZM	+ZM				
PVS, kg	42.00	40.925	42.425	42.687	0.975	0.398	0.752	0.603
PCC, kg	19.687	20.587	21.675	22.212	0.860	0.074 [†]	0.467	0.854
PCF, kg	18.675	18.900	20.075	20.800	1.418	0.065 [†]	0.585	0.773
RCC, %	46.762	50.287	51.075	51.887	1.303	0.046*	0.137	0.347
RCF, %	44.275	46.175	47.287	48.700	0.490	0.042*	0.214	0.853
ÍC1 ²	0.315	0.316	0.346	0.355	0.012	0.010*	0.655	0.804
ÍC2 ³	0.298	0.293	0.317	0.331	0.011	0.024*	0.714	0.439

-CZ, clorhidrato de zilpaterol 0 mg kg-PV; +CZ, clorhidrato de zilpaterol 0.2 mg kg-PV; -ZM, metionina de zinc 0 mg kg⁻¹ MS; +ZM, metionina de zinc 80 mg kg⁻¹ MS.

¹ EEM, error estándar medio;

² Índice de compacidad 1 (PCC/LC).

³ Índice de compacidad 2 (PCF/LC).

* Diferencia significativa ($P < 0.05$); [†]Tendencia estadística (de $P \leq 0.05$ a $P \leq 0.10$).

7.3. Composición química de la carne

El contenido de extracto etéreo en la carne de los ovinos aumentó ($P \leq 0.001$) por efecto del ZM y también ($P \leq 0.05$) en los ovinos suplementados con ZM mas CZ (Cuadro 6); el contenido de proteína aumentó ($P \leq 0.05$) con la adición de CZ.

Cuadro 5. Características de la canal de ovinos suplementados con clorhidrato de zilpaterol y metionina de zinc.

Variables	Tratamientos				¹ EEM	Efecto		
	-CZ		+CZ			CZ	ZM	CZ+ZM
	-ZM	+ZM	-ZM	+ZM				
CMUE (1-5) ²	3.1	3.1	3.5	3.6	0.227	0.065 [†]	0.785	0.785
CMMEX (1-3) ³	2.3	2.2	2.3	2.5	0.179	0.492	1.000	0.492
Longitud canal, cm	62.44	64.37	62.63	62.75	1.965	0.460	0.291	0.353
Área chuleta, cm	12.29	15.42	17.36	16.76	1.306	0.020*	0.340	0.164
Grasa dorsal, mm	2.0	3.1	2.2	2.2	0.969	0.529	0.261	0.261
Engrasamiento (1-5) ²	3.0	3.1	2.7	2.5	0.108	0.014*	0.713	0.275
Grasa riñonada (1-3) ³	1.8	2.0	1.8	1.8	0.960	0.568	0.568	0.568

-CZ, clorhidrato de zilpaterol 0 mg kg-PV; +CZ, clorhidrato de zilpaterol 0.2 mg kg-PV; -ZM, metionina de zinc 0 mg kg⁻¹ MS; +ZM, metionina de zinc 80 mg kg⁻¹ MS.

¹EEM, error estándar medio;

²Conformación muscular Sistema Europeo.

³Conformación muscular Norma Mexicana;

*Diferencia significativa ($P \leq 0.05$); [†]Tendencia estadística (de $P \leq 0.05$ a $P \leq 0.10$).

Cuadro 6. Efecto del clorhidrato de zilpaterol y metionina de zinc sobre la composición nutrimental (g/100 g) de la carne de ovinos.

Variables	Tratamientos				¹ EEM	Efecto		
	-CZ		+CZ			CZ	ZM	CZ+ZM
	-ZM	+ZM	-ZM	+ZM				
Materia seca	28.80	30.46	29.44	29.59	0.694	0.850	0.340	0.164
Cenizas	1.46	1.55	1.66	1.52	0.205	0.686	0.907	0.576
Extracto etéreo	4.40	6.13	4.09	6.92	0.694	0.394	0.001*	0.043*
Proteína	22.2	22.0	23.7	23.7	0.817	0.049*	0.895	0.941

-CZ, clorhidrato de zilpaterol 0 mg kg⁻¹ PV; +CZ, clorhidrato de zilpaterol 0.2 mg kg⁻¹ PV; -ZM, metionina de zinc 0 mg kg⁻¹ MS; +ZM, metionina de zinc 80 mg kg⁻¹ MS.

¹EEM, error estándar medio.

*Diferencia significativa (P≤0.05); (**P≤0.01); †Tendencia estadística (de P≤0.05 a P≤0.10).

Los valores de pH obtenidos se observan en el Cuadro 6. El pH a las 24h fue más alto (P≤≤0.001) en las canales del tratamiento con CZ; respecto al color, los índices L*, a*, b*, C* y H* fueron más bajos (P≤0.01) con el suministro del CZ. La adición de ZM no afectó ninguna de las características previamente descritas y no hubo efecto de la interacción del CZ con ZM en las variables de pH y color (P>0.05).

Cuadro 7. Efecto de del clorhidrato de zilpaterol y metionina de zinc sobre el pH, color, pérdida de agua por cocción y fuerza de corte de la carne de ovinos

Variables	Tratamientos				¹ EEM	Efecto		
	-CZ		+CZ			CZ	ZM	CZ+ZM
	-ZM	+ZM	-ZM	+ZM				
pH a 45min	6.59	6.59	6.81	6.58	0.121	0.394	0.357	0.340
pH a 24h	5.62	5.85	6.13	6.06	0.637	0.0018*	0.4627	0.1447
Color								
L*	41.11	39.12	35.35	35.40	1.040	0.0017*	0.4821	0.4600
a*	16.07	14.26	12.18	11.99	0.708	0.0048*	0.321	0.4440
b*	6.15	5.20	3.59	3.53	0.456	0.0001*	0.2687	0.3261
C*	17.23	16.39	12.72	12.48	0.855	0.0001*	0.4970	0.7035
h*	21.46	18.78	14.19	16.39	2.569	0.0120*	0.8940	0.7035
Pérdida agua (g Kg)	8.15	9.24	7.93	7.95	0.466	0.269	0.410	0.428
FC (kg/cm ²)	7.88	8.39	10.66	9.85	0.635	0.117	0.907	0.613

-CZ, clorhidrato de zilpaterol 0 mg kg⁻¹ PV; +CZ, clorhidrato de zilpaterol 0.2 mg kg⁻¹ PV; -ZM, metionina de zinc 0 mg kg⁻¹ MS; +ZM, metionina de zinc 80 mg kg⁻¹ MS.

¹EEM, error estándar medio.

*Diferencia significativa (P<0.05); †Tendencia estadística (de P≤0.05 a P≤0.10).

VIII. DISCUSIÓN

8.1. Desempeño productivo

En las siguientes variables de crecimiento y características de la canal (CA, EA, PCC y PCF) se encontraron tendencias a cambiar por efecto del CZ, en general, el uso de β -AA puede aumentar el crecimiento y la eficiencia alimenticia (Domínguez *et al.*, 2009) por estimular la síntesis de proteína en el músculo esquelético y evitar su degradación; mientras que en el tejido adiposo los β -AA aumentan la lipólisis y reducen la lipogénesis (Oh y Choi, 2004); sin embargo, las variables de PVF, CMS, GPT y GDP no fueron afectadas debido, posiblemente, a que existen variaciones en la respuesta al suministro de β -AA; (Salinas *et al.*, 2006); Salinas-Chavira *et al.* (2004) observaron incrementos en el CMS y la GDP cuando se alimentó con CZ a corderos de la raza Pelibuey. No obstante, Felix *et al.* (2005) al suplementar a corderos de la raza Pelibuey con CZ no observaron ningún efecto durante el crecimiento y Mondragón *et al.* (2010) concluyó que el CZ en ovinos no afectó el comportamiento productivo pero sí aumentó el área del *Longissimus dorsi*.

8.2. Características de la canal

El clorhidrato de zilpaterol aumentó el PCC, PCF, RCC, RCF, IC1, IC2 y área de chuleta ($P \leq 0.05$), esto resultados son similares a lo encontrado por López *et al.* (2010) y Mondragón *et al.* (2010) lo cual podría ser debido a los efectos del CZ al aumentar la síntesis de proteína muscular (Li *et al.*, 2000); además, se han observados cambios en la proporción de ARN de transcripción para proteínas musculares (Miller *et al.*, 1988). En varios estudios, la suplementación a ovinos con CZ ha incrementado el rendimiento en la canal y el área del *Longissimus thoracis* (Macías-Cruz *et al.*, 2010; Avendaño-Reyes *et al.*, 2011). La tendencia a mejorar la conformación muscular de acuerdo a SEUROP en las canales de ovinos tratados con CZ ha sido previamente reportado por (Macías-Cruz *et al.*, 2010; Avendaño-Reyes *et al.*, 2011). Los β AA, también conocidos como repartidores de energía, derivan la energía de los alimentos y de la lipólisis hacia la síntesis proteica aumentando la masa muscular (Mersmann, 1998).

La grasa de la canal disminuyó ($P \leq 0.05$) con el CZ de manera similar al estudio de Koohmaraie *et al.* (1996), lo cual derivó en canales más magras; el CZ aumenta la lipólisis en el adiposito, lo que limita y reduce el depósito de grasa (Van Hoof *et al.*, 2005); la lipólisis aumenta debido a una mayor actividad del AMPc causada por los β AA, esta a su vez activa la proteína quinasa A, la cual fosforila a la hormona sensible a lipasa (HSL), la HSL fosforilada es la que inicia la lipólisis (Mersmann, 1998). La adición de ZM no afectó ninguna de las características previamente descritas.

8.3. Composición química de la carne

El contenido de extracto etéreo en la carne de los ovinos aumentó por efecto del ZM y también en los ovinos suplementados con ZM mas CZ; en otros estudios (Chen *et al.*, 1996) se ha reportado la acumulación de grasa corporal en ratones obesos suplementados con zinc; Greene *et al.* (1988) reportaron mayor índice de marmoleo y calidad de la canal de novillos alimentados con Zn metionina (360 mg de Zn kg^{-1} MS) en comparación con novillos alimentados con ZnO (360 mg de Zn kg^{-1} de MS) o novillos alimentados con una dieta control (82 mg de Zn kg^{-1} MS).

El Zn tiene efectos lipogénicos (Park *et al.*, 2003), esta influencia sobre el aumento de la lipogénesis en los adipocitos se debe principalmente a un aumento de la actividad de la insulina, pero no a una acción del Zn similar a la insulina (Chen *et al.*, 1995); la insulina tiene un fuerte efecto anabólico ya que aumenta la entrada de glucosa al músculo, al tejido adiposo y al hígado (Mertz, 1993), esto provoca el incremento de la síntesis de proteína, ácidos nucleicos (Sasaki, 2002) y síntesis de grasa (Mc Namara y Valdez, 2005); además, suprime el óxido nítrico (Oh y Choi, 2004), el cual inhibe la síntesis de glucosa, glucógeno y grasas, e incrementa la lipólisis en los adipocitos, actuando por diferentes vías a través de la fosforilación de la adenosine-3'-5'-monofosfato activada por proteínas cinasas (AMPK), fosforilando la lipasa sensible a hormonas (LSH) y perilipinas (Jobgen *et al.*, 2006); el Zn también tiene efectos sobre el metabolismo de la grasa y de los carbohidratos, incrementando el transporte de la glucosa, la síntesis de glucógeno y la lipogénesis, o inhibiendo la gluconeogénesis y lipólisis (Pessin y Saltiel, 2000; Park *et al.*, 2003), esto facilita la

señalización de la insulina, ya sea incrementando la fosforilación de la subunidad- β de los receptores de insulina (IR) (Tang y Shay, 2001), por un efecto inhibitorio sobre la proteína tirosina fosfatasa (PTPases) (Vardatsikos *et al.*, 2013), incrementando la fosforilación de múltiples receptores de la proteína tirosina cinasa (R-PTKs), como el receptor del factor de crecimiento parecido a la insulina tipo-1(IGF-1R), y el receptor del factor de crecimiento epidérmico (EGFR) (Vardatsikos *et al.*, 2013); otro efecto sobre las vías de señalización de la insulina, es el incremento de la fosforilación de la proteína cinasa B (PKB), por la estimulación directa de la fosfatidilinositol-3-cinasa (PI3K) (Eom *et al.*, 2001); la PKB incrementa el número de transportadores GLUT-4 que permiten la entrada de glucosa al interior de la célula (Hajduch *et al.*, 2001; Saltiel y Kahn, 2001). El aumento de la síntesis de glucógeno, es debido a la inhibición de la glucógeno sintetasa cinasa 3β (GSK-3 β), debido a que el Zn fosforila la GSK-3 β , de esta manera la inactiva, causando el incremento de la acción de la glucógeno sintetasa, aumentando la síntesis de glucógeno (Cole *et al.*, 2001).

En cuanto a la interacción del ZM con el CZ no existen reportes anteriores a lo indicado por Rodríguez *et al.* (2015), quienes realizaron un estudio en bovinos de engorda, concluyendo que la reducción de la grasa intramuscular y espesor de la grasa dorsal por el suministro de CZ más ZM no es muy claro. Por ejemplo, Bohrer *et al.* (2014), reportaron que el contenido de grasa de las canales no se ve afectado por la suplementación de Zn propionato a novillos alimentados con ractopamina.

El contenido de proteína aumentó con la adición de CZ; esto también fue reportado por Partida *et al.* (2015), atribuyéndose a un incremento en la retención de nitrógeno muscular inducido por el CZ (Mersmann, 1998). El AMPc se une a la sub unidad reguladora de la proteína quinasa A (PKA) para liberar la sub unidad catalítica que fosforila proteínas intracelulares (Strosberg, 1992; Liggett y Raymond, 1993).

Los valores de pH obtenidos coinciden con otros estudios realizados en ovinos (Dávila *et al.*, 2013); en el presente estudio se observaron valores de pH a las 24 h más altos en las canales

de ovinos tratamiento con CZ; esto puede ser causado por la administración de β -AA ya que estos reducen el depósito de glucógeno muscular afectando el descenso del pH que normalmente ocurre post faena debido al metabolismo anaeróbico de modo que la carne se caracteriza por un indeseable color oscuro (Moloney *et al.*, 1996).

Los valores de la coloración L*, a*, b*, C* y H fueron más bajos con el suministro del CZ, dando como resultado una carne más oscura, quizá debido a factores como los valores de pH superiores a 6 después de las 12 a 48 h *postmortem* (Garrido, 2015). Con pH altos (carnes DFD) aumenta la actividad de la enzima citocromo-oxidasa lo que reduce las posibilidades de captación de oxígeno y por lo tanto hay un predominio de la mioglobina reducida (desoxihemoglobina) de color rojo púrpura. (BOCCARD, 1992). Se han encontrado valores bajos en el índice b* al adicionar CZ en toretes (Rodríguez *et al.*, 2015), estos autores mencionan que el CZ disminuyó la oxidación de la mioglobina y fue expresado con una reducción en la intensidad del color. La intensidad del color está relacionada con la oxidación de la mioglobina a metamioglobina (Mac Dougall, 1977; Faustman *et al.*, 2010). La adición de ZM no afectó ninguna de las características previamente descritas, y no hubo efecto de la interacción del CZ x ZM ($P > 0.05$).

IX. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos de esta investigación, se concluye que la suplementación de CZ en ovinos mejora la respuesta productiva, aumenta el rendimiento de la canal y disminuye su engrasamiento; además, aumenta el contenido de proteína en la carne y el área del ojo de chuleta. No se observó efecto de ZM y de la interacción de CZ más ZM en la respuesta productiva y características de la canal. La suplementación con ZM y la interacción de CZ más ZM aumentó el extracto etéreo de la carne.

El aumento de extracto etéreo en la carne por efecto del ZM y CZ más ZM y en el contenido de proteína por efecto del CZ implica que la utilización de estos aditivos de en ovinos puede influir en la calidad de su carne; el efecto observado por la interacción de CZ más ZM podría representar ventajas al mejorar el crecimiento, las características de la canal y la carne de los ovinos.

X. LITERATURA CITADA

- Albertí, P., Ripoll, G., Lahoz, F. Sañudo, C., Olleta, J., Panea, B., Pardos, J. 2003. Estimación del porcentaje de carne de la canal a partir de la clasificación de las medidas morfológicas de la canal de terneros y añojos de siete razas. AIDA, Zaragoza. ITEA. 24: 76-78
- American Meat Science Association. Savoy (AMSA). 1995. Research Guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. IL, USA.
- Armendariz, A. A. L., Bacardí, G. M. y Jiménez C. A. 2007. Evidencias del efecto del cromo en personas con diabetes. Rev. Biomed. 18: 117-126.
- Anaya, A. D. L. 2005. Comportamiento productivo de ovinos engordados en corral utilizando clorhidrato de zilpaterol en el alimento. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 13(1): 324-326.
- Anderson, D. B., Moody, D. E., Hancock, D. L. 2005. Beta adrenergic agonist. In: Bell, W.G.P.A.W. Encyclopedia of Animal Science. Reino Unido: Taylor and Francis. 104-107.
- Arteaga, C. 2003. La industria ovina en México. Memoria del ciclo de conferencias para la capacitación de los productores beneficiarios de los programas de alianza contigo. Chihuahua. Chih. México.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2007. Official Methods of Analysis. 18th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, USA.
- Avendaño-Reyes, L. V., Torres-Rodríguez, F. J., Meraz-Murillo, C., Pérez-Linares, F., Figueroa, S. and Robinson, P. H. 2006. Effects of two β -adrenergic agonists on finishing performance, carcass characteristics, and meat quality of feedlot steers. J. Anim. Sci. 84: 3259-3265.
- Avendaño-Reyes, L., Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F. D., Águila-Tepato, E., Torrentera-Olivera, N. G. and Soto-Navarro, S. A. 2011. Effects of zilpaterol hydrochloride on growth performance, carcass characteristics, and whole sale cut

- yield of hair-breed ewe lambs consuming feedlot diets under moderate environmental conditions. *J. Anim. Sci.* 89: 4188-4194.
- Barriada, M. 1995. Variables que determinan la calidad de la canal y de la carne en vacuno. *Bovis.* 66: 95-111.
- Beeson, W. M., Perry, T. W., and Zurcher, T. D. 1977. Effect of supplemental zinc on growth and on hair and blood serum levels of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 45: 160-165.
- Beckett, J. L., Delmore, R. J., Duff, G. C., Yates, D. A., Allen, D. M., Lawrence, T. E. 2009. Effects of zilpaterol hydrochloride on growth rates, feed conversion, and carcass traits in calf-fed Holstein steers. *J. of Anim. Sci.* 87: 4092-4100.
- Bohrer, B. M., Edenburn, B. M., Boler, D. D., Dilger, A. C., and Felix, T. L. 2014. Effect of feeding ractopamine hydrochloride (Optaflexx) with or without supplemental zinc and chromium propionate on growth performance, carcass characteristic, and meat quality of finishing steers. *J. Anim. Sci.* 92: 3988-3996.
- Braña, V. D., Ramírez, R. E., Rubio, L. M., Sánchez, E. A., Torrescano, U. G., Arenas, M. M., Partida, P. J., Ponce, A. E. y Ríos, R. F. 2011. Manual de Análisis de Calidad en Muestras de Carne. CNIDFM y INIFAP. Folleto técnico No. 11. ISBN: 978-607-425-612-3.
- Bratzler, L. J. 1949. Determining the tenderness of meat by use of the Warner-Bratzler method. *Proc. Recip. Meat Conf.* 2: 117-121.
- Bray, T. M. and Bettger, W. J. 1990. The physiological role of zinc as an antioxidant. *Free Radic. Biol. Med.* 8: 281-291.
- Briskey, E. J. and Bray, R. W. 1964. A special study of the beef grade standards. In American National Cattlemen's Association. (ANCA).
- Brown, T. F., Zeringue, L. K. 1994. Laboratory evaluations of solubility and structural integrity of complexed and chelated trace mineral supplements. *J. Dairy Sci.* 77: 181-189.
- Castellanos, R. A. F., Rosado, R. J. G., Chel, G. L. A. y Betancur, A. D. A. 2006. Empleo del zilpaterol en novillos con alimentación intensiva en Yucatán, México. *Archivos*

- Chai, F., Truong-Tran, A. Q., Ho, L. H. and Zalewski, P. D. 1999. Regulation of caspase activation and apoptosis by cellular zinc fluxes and zinc deprivation: a review. *Immunol. Cell Biol.* 77: 272-278.
- Chambaz, A., Scheeder, M., Kreuzer, M., Dufey, P. 2003. Meat quality of Angus, Simmental Charolais and Limousin steers compared at the same intramuscular fat content. *Meat Sci.* 63: 491-500.
- Chambers, E. N., and Bowers, J. R. 1993. Consumer perception of sensory quality in muscle foods. *Food Tech.* 47: 116-120.
- Chen, M., Lin, P., Cheng, V. and Lin, W. 1996. Zinc supplementation aggravates body fat accumulation in genetically obese mice and dietary-obese mice. *Biol. Trace Elem. Res.* 52: 125-132.
- Chen, M. D., Liou, S. J., Lin, P. Y., Yang, V. C., Alexander, P. S. and Lin, W. H. 1998. Effects of zinc supplementation on the plasma glucose level and insulin activity in genetically obese (ob/ob) mice. *Biol. Trace Elem. Res.* 61: 303-311.
- Chimienti, F., Aouffen, M., Favier, A. and Seve, M. 2003. Zinc homeostasis regulating proteins: new drug targets for triggering cell fate. *Curr. Drug Targets.* 4: 323-338.
- Choi, C. B., Jung, K. K., Chung, K. Y., Yang, B. S., Chin, K. B., Suh, S. W., Oh, D. H., Jeon, M. S., Baek, K. H., Lee, S. O., Kim, S. I., Lee, Y. H., Yates, D. A., Hutcheson, J. P. and Johnson, B. J. 2013. Administration of zilpaterol hydrochloride alters feedlot performance, carcass characteristics, muscle, and fat profiling in finishing Hanwoo steers. *Liv. Sci.* 157: 435-441.
- Cianzio, D. S., Topel, D. G., Whitehurst, G. B., Beitz, D. C., Self, H. L. 1985. Adipose tissue growth and cellularity: Changes in bovine adipocyte size and number. *J. of Anim. Sci.* 60: 970-976.
- Cole A., Frame, S. and Cohen, P. 2001. Further evidence that the tyrosine phosphorylation of glycogen synthase kinase-3 (GSK3) in mammalian cells is an autophosphorylation event. *Biochem. J.* 359: 1-16.

- Cousins, R. J. 1999. Cinc. En: Ziegler, E. E., Filer, L. J. Conocimientos actuales sobre nutrición. Séptima Edición. Washington: International Life Sciences Institute. pp. 312-327.
- Cross, H. R. and Savell, J. W. 1994. What do we need for a value based beef marketing system? *Meat Sci.* 36: 19-27.
- Dávila, R. J. L., Avendaño, R. L., Macías, C. U., Torrentera, O. G., Zamorano, G. L., Peña, R. A., and González, R. H. 2013. Effects of zilpaterol hydrochloride and soybean oil supplementation on physicochemical and sensory characteristics of meat from hair lambs. *Small Rum. Res.* 114(2-3): 253-257.
- De la Garza U. A., Garza, G. J. R., Fimbres, C. J. F., Picon, D. H., 2005. Memorias del XXIX Congreso Nacional de Buiatria. Monterrey, Mex.
- Delmore, R. J., Hodgen, J. M. and Johnson, B. J. 2010. Perspectives on the application of zilpaterol hydrochloride in the United States beef industry. *J. Anim. Sci.* 88: 2825-2828.
- Díaz-Zagoya, J. and Hicks-Gómez, J. J. 1995. Bioquímica. Segunda edición. México: Interamericana-McGraw-Hill. p. 203-253.
- Díaz, C. M. 2001. Características de la canal y de la carne de corderos lechales manchegos. Correlaciones y ecuaciones de predicción. Facultad de Veterinaria. Departamento de fisiología Animal. Universidad Complutense de Madrid. ISBN: 84-669-2155-9.
- Dikeman, M. E. 2007. Effects of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. *Meat Sci.* 77: 121-135.
- Domínguez-Vara, I. A., Mondragón-Ancelmo, J., Gonzales, R. M, Salazar-García, F., Bórquez-Gastelum, J. L. y Aragón-Martínez, A. 2009a. Los β -agonistas adrenérgicos como modificadores metabólicos y su efecto en la producción, calidad e inocuidad de la carne de bovinos y ovinos: una revisión. *CIENCIA ergo sum.* 16: 278-284.
- Dunshea, F.R.; D'Souza, D. N.; Pethick, D. W.; Harper, G. S.; Warner, R. D. 2005. Effects of dietary factors and other metabolic modifiers on quality and nutritional value of meat. *Meat Sci.* 71: 8-38.

- Eggert, K. W., Zwick, E. M., Batschulat, K., Rohr, G., Armbruster, F. P., Petzoldt, D. and Strowitzki, T. 2002. Are zinc level in seminal plasma associated with seminal leukocyte and other determinant of semen quality. *Fertil. Steril.* 7: 260-269.
- 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. *Can. J. of Anim. Sci.* Vol. 80, Num. 20.
- Eom, S. J., Kim, E.Y., Lee, J.E., Kang, H. J., Shim, S. U., Gwag, B. J. and Choi, E. J. 2001. Zn⁽²⁺⁾ induces stimulation of the C-Jun N-terminal kinase signaling pathway through phospho-inositide 3-kinase. *Mol. Pharmacol.* 59: 981-986.
- FAO, 2015. <http://www.fao.org/ag/agis/industrias-agroalimentarias/carne-y-leche/calidad-e-inocuidad-de-la-carne/calidad-de-la-carne/es/>. Consultado el 6 de noviembre de 2015.
- FAO 2014. Consumo de Carne. <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/background.html>. Consultado el 6 de noviembre de 2014.
- FAO 2012. Perspectivas alimentarias. ISSN 1564-2801. <http://www.fao.org/docrep/015/al989s/al989s00.pdf>. Consultado el 10 de junio del 2014.
- FAOSTAT, 2013. <http://faostat.fao.org>
- Faustman, C., Sun, Q., Mancini, R. and Suman, S. P. 2010. Myoglobin and lipid oxidation interactions: Mechanistic bases and control. *Meat Sci.* 86: 86-94.
- Felix, A., Estrada-Angulo, A., Ríos, F. G., Ramos, C. H. and Pérez, A. B. 2005. Effect of Zilpaterol Clorhidrate on growth performance and carcass traits in finishing sheep. *J. Anim. Sci.*, 83 (Suppl 1): 63 (Abstr.).
- Folch, J., Lees, M. and Stanley, S. G. H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 226: 497-509.
- Forrest, J. C., Aberle, E. D., Hedrick, H. B., Judge, M. D. y Merkel, R. 1979. *Fundamentos de ciencia de la carne*. Editorial Acribia. Zaragoza (España).

- Garrido MD, Bañon S, Álvarez D. 2005. Medida del pH. In: Cañeque V, Sañudo C. (ed.) Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Madrid, España: Monografías INIA, Serie ganadera No. 3.
- Garza, F. J. D.; Ramírez, C. J. H., Montgomery, T. H. y Garza, F. J. 1997. Comportamiento productivo y características de canal en vaquillas de engorda suplementadas con zilpaterol en condiciones comerciales. XXXII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Veracruz, México.
- Godoy, F.M., Gomez, R. L., Morales, M. M., Ibarra, M. L. y Bulnes, R.R. 1986. Rendimiento de las grasas viscerales en novillos de raza de doble propósito. Avances en Ciencias Veterinarias. Vol. 1 No. 2: 93-96.
- Greene, L. W., Lunt, D. K., Byers, F. M., Chirase, N. K., Richmond, C. E., Kuntson, R. E. and Schelling, G. T. 1988. Performance and carcass quality of steers supplemented with zinc oxide or zinc methionine. J. Anim. Sci. 66: 1818-1823.
- Hajduch, E., Litherland, G. J. and Hundal, H. S. 2001. Protein kinase B (PKB/Akt)-a key regulator of glucose transport. FEBS Lett. 492: 199–203.
- Helferich, W. G., Jump, D. B., Anderson, D. B., Skjaerlum, D. M., Merkel, R. A. and Bergen, W. G. 1990. Skeletal muscle β -actin is increased pretranslational in pigs fed the phenotholamine ractopamine. Endocrinology. 126: 3096-3100.
- Hazlewood, C. F. 1995. Water movement and diffusion in tissues. In: Bihan, D. L, ed. Diffusion and perfusion magnetic resonance imaging. New York: Raven Press. pp. 123.
- Herbert, F., Hovell, F. D. and Reeds, P. J. 1985. Beta-agonists and their effect on animal growth. Nutr. Soc. 44: 5.
- Hernández, B.1994. Estudio del color en carnes: Caracterización y control de calidad. Ph. D. Thesis. Universidad de Zaragoza. Spain.
- Hernández, B. J., Gómez, V. A., Núñez, G. F., Ríos, R. F., Mendoza, M. G., García, M. J., Villegas, A. Y., Hernández, S. D., Joaquín, T. B. 2009. Rendimiento de la canal y de

- los componentes no cárnicos de toretes pardo suizo x cebú en tres sistemas de alimentación en clima cálido húmedo. *Universidad y Ciencia*. 25: 173-180.
- Herring, H. K., Cassens, R. G., Suess, G. G., Brungardt, V. H. and Briskey, E. J. 1967. Tenderness and associated characteristics of stretched and contracted bovine muscles. *J. Food Sci.* 32: 317-323.
- Hill, F. 1966. The solubility of intramuscular collagen in meat animals of various ages. *Journal of food Sci.* 31: 161-166.
- INEGI. 2009, centro.paot.org.mx/documentos/inegi/Agenda_2009.pdf
- Jobgen, W. S., Fried, S. K., Fu, W. J., Meininger, C. J., Wu, G. 2006. Regulatory role for the arginine–nitric oxide pathway in metabolism of energy substrates. *J. of Nutrit. Bioch.* 17: 571-588.
- Johnson, J. B., Smith, B. S. and Chung, Y. K. 2014. Historical Overview of the Effect of β -Adrenergic Agonists on Beef Cattle Production. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 27: 757-766.
- Kawasaki, E. 2012. ZnT8 and type 1 diabetes. *Endocrine journal*, 59, 531-537.
- Kennedy, K. J., Rains, T. M., Shay, N. F. 1998. Zinc deficiency changes preferred macronutrient intake in subpopulations of Sprague-Dawley outbred rats and reduces hepatic pyruvate kinase gene expression. *J Nutr.* 128: 43-9.
- Kempster, A.J., Cuthbertson, A. and Harrington, A. 1982. Carcass evaluation in livestock breeding, production and marketing. Granada Ed. Londres.
- Koohmaraie, M. 1992. Effect of pH, temperature, and inhibitors of autolysis and catalytic activity of bovine skeletal muscle m-calpain. *J. Anim. Sci.* 70: 3071-3080.
- Koohmaraie, M. 1996. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization processes of meat. *Meat Sci.* 43: 193-201.
- Krammer, A. 1994. Use of colour measurements in quality control of food. *Food Technol.* 48: 63-71.

- Lawrence, T. E., Gasch, T. E., Hutcheson, C. A. and Hodgen, J. P. 2011. Zilpaterol improves feeding performance and fabrication yield of concentrate-finished cows. *J. Anim. Sci.* 89: 2170-2175.
- Lawrie, R. A. 1991. *Meat Science* (5th ed.), pp. 1, 28-37, 48-52, 184-212. Pergamon Press, Oxford.
- Lawrie, R. A. 1966. The eating quality of meat. In *Meat Sci.* Pergamon Press, London.
- Lehninger, L., Lavet, P. y Bozal, F. 1978. *Bioquímica*. Edit. Omega.
- Li, Y. Z., Christopherson, B. T., Ly and Moibi, J. A. 2000. Effects of Beta-Adrenergic Agonist (L-644,969) on Performance and Carcass Trait of Growth Lambs in a Cold Environment. *Can. J. of Anim. Sci.* 80: 4.
- Liggett, S. B., and Raymond, J. R. 1993. Pharmacology and molecular biology of adrenergic receptors. *Bailleres Clin. Endocrinol. Metab.* 7: 279-306.
- López, C. M. A., Ramírez, R. G., Aguilera, S. J., Aréchiga, C. F., Méndez, L. F., Rodríguez, H., Silva, J. M. 2010. Effect of ractopamine hydrochloride and zilpaterol hydrochloride on growth, diet digestibility, intake and carcass characteristics of feedlot lambs. *Liv. Sci.* 131: 23-30.
- MacDougall, D. B. 1977. Colour in meat. In G. G. Birch, J. G. Brennan, and K. Parker, *Sensory properties of foods*. pp. 5). London: Appl. Sci. Publishers.79-305.
- Macías-Cruz, U., Álvarez-Valenzuela, F. D., Torrentera-Olivera, N. G., Velázquez-Morales, J. V., Correa-Calderón, A., and Avendaño-Reyes, L. 2010. Effect of zilpaterol hydrochloride on feedlot performance and carcass characteristics of ewe lambs during heat-stress conditions. *Anim. Prod. Sci.* 50: 983-989.
- Mayland, H. F., Rosenau, R. C., Florence, A. R. 1980. Grazing cow and calf responses to zinc supplementation. *J. Anim. Sci.* 51: 966-974.
- Malcolm-Callis, K. J., Duff, G. C, Gunter, S. A, Kegley, E. B. and Vermeire, D. A. 2000. Effects of supplemental zinc concentration and source on performance, carcass characteristics, and serum values in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.* 78: 2801-2808.

- Marsh, B. B. 1977. Symposium the basis of quality in muscle foods the basis for tenderness in muscle foods. *J. Food Sci.* 42: 295-297.
- McBeth, L.J., Stein, D. R., Pillai, A. T. V., Hersom, M. J., Krehbiel, C. R., De Silva, U., Geisert, R. D., Malayer, J. R., Morgan, J. B., Larson, C. K. and Ball, R. L. 2005. Effect of Zinc Source and Level on Finishing Cattle Performance, Carcass Characteristics, and Adipocyte Differentiation. *Okla. Agr. Exp. Sta. Res.* 4:1-9
- McCrae, S. E., Secombe, C. G., Marsh, B. B., y Carse, W. A. 1971. Studies in meat tenderness. IX. The tenderness of various lamb muscles in relation to their skeletal restraint and delay before freezing. *J. Food Sci.* 36: 566-572.
- McNamara, J. P. and Valdez, F. 2005. Adipose tissue metabolism and production responses to calcium propionate and chromium propionate. *J. Dairy. Sci.* 88: 2498-2507.
- McPhee, M. J., Hopkins, D. L. and Pethick, D. W. 2008. Intramuscular fat levels in sheep muscle during growth. *Aust. J. of Exp. Agric.* 48: 904-909.
- Méndez, R. D., Meza, C. O., Berruecos, J. M., Garcés, P., Delgado E. J. and Rubio, M. S. 2009. A survey of beef carcass quality and quantity attributes in Mexico. *J Anim. Sci.* 87: 3782-3790.
- Mersmann, H. J. 1998. Overview of the effects of beta-adrenergic receptor agonists on animal growth including mechanisms of action. *J. Anim. Sci.* 76: 160-72.
- Minson, D. J. 1990. Forages in ruminant nutrition. New York: Academic Press.
- Miller, M. F., García, D. K., Coleman, M. E., Ekeren, P. A., Lunt, D. K., Wagner, K. A., Procknor, M., Welsh, T. H. and Smith, S. B. 1988. Adipose Tissue, Longissimus Muscle and Anterior Pituitary Growth and Function in Clembuterol-Fed Heifers, *J. of Anim. Sci.* 66: 12-20.
- Miller, R.K. 2002. Factors affecting the quality of raw meat. In *Meat Processing: Improving Quality*. Kerry, J., Kerry, J., and Ledward, D. eds. CRC Press LLC. USA.
- Mills, S. and Mersmann H. J. 1995. Beta- Adrenergic Agonists, their Receptors, and Growth: Special Reference to Peculiarities in Pigs, en Smith, S. B. y D. R. Smith (eds.). *The Biology of Fat in Meat Animals: Current Advances*. Am. Soc. of Anim. Sci. Champaign. USA.

- Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente (MAAMA), 2013. Metodología. Estadísticas de Producciones Ganaderas (Directorios y Encuestas). http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/UV_tcm7-231976.pdf
- Moloney, A. P., and Beermann, D. H. 1996. Mechanisms by which beta-adrenergic agonists alter grow and body composition in ruminants. In G. Enne, H. A. Kupier & Valentini (Eds.), Residues of veterinary drugs and mycotoxin in animal production. New methods for risk assessment and residues control. Wagening Pers, The Netherlands.
- Mondragón, A. J. 2008. Efecto de la concentración de clorhidrato de zilpaterol sobre el crecimiento, características de la canal y calidad de la carne de ovinos en engorda intensiva. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Mondragón, J., Domínguez-Vara, I. A., Pinos-Rodríguez, J. M., González, M., Bórquez, J. L., Domínguez, A. and Mejía, M. L. 2010. Effects of feed supplementation of zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass traits of finishing lambs. *Acta Agric. Scan. Anim. Sci.* 60: 47-52.
- Mondragón, J., Domínguez-Vara, I. A., Rebollar-Rebollar, S., Bórquez-Gastelum, J. L., Hernández-Martínez, J. 2012. Margins of sheep meat marketing in Capulhuac, State of Mexico. *Trop. and Subtrop. Agroecosys.* 14:331-335.
- Monin, G. 1988. Evolution post mortem du Tissu Musculaire et Conséquence sur les Qualités de la Viande de Porc. *Journées Rech. Porcine en France.* 20: 201-214.
- Murray A. C. 1989. Factors affecting beef color at time of grading. *Can. J. Anim. Sci.* 69: 347
- National Research Council. 2007. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats, cervids, and new world camelids. ed. Natl. Acad. Press, 384 Washington, D.C
- NOM-ZOO-1995. [3 de julio 1995]. NOM-051-ZOO-1995. Norma Oficial Mexicana Trato humanitario en la movilización de animales. DF, México: Diario Oficial de la Federación.

- Nunnery, G. A., Vasconcelos, J. T., Parsons, C. H., Salyer, G. B., Defoor, P. J., Valdez, F. R. and Galyeen, M. L. 2007. Effects of source of supplemental zinc on performance and humoral immunity in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 85: 2304-2313.
- OECD-FAO Agricultural Outlook 2012-2021. 2013.
http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=HIGH_AGLINK_2012.
- Offer, G., and Knight, P. 1988. The structural basis of water-holding capacity in meat. Part 2: drip losses. In R. Lawrie (Ed.). *Developments in meat science* (Vol. 4, pp. 173–243). London: Elsevier Science Publications.
- Oh Y. S. and Choi, C. B. 2004. Effects of zinc on lipogenesis of bovine intramuscular adipocytes. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 2004. 17: 1378-1382.
- Oksbjerg, N., Fernández. J. A., Jorgensen, H., Olsen, O. H., Rulph, T. and Agergaard, N. 1996. Effects of salbutamol on protein and fat deposition in pigs fed two levels of protein. *J. of Anim. Physiol. and Anim. Nutrit.* 75.
- Olivan, M., Martínez, A., García, P., Noval, G., Osoro, K. 2001. Estimation of the carcass composition of yearling bulls of “Asturiana de los Valles” breed from the dissection of a rib joint. *Meat Sci.* 57: 185-190.
- Ouali, A., Hernán, C., Coulis, G., Becila, S., Boudjellal, A., Aubry, L., Sentandreu, M. A. 1990. Revisiting the conversion of muscle into meat and the underlying mechanisms. *Meat Sci.* 74: 44-58.
- Partida, P. J. A., V. D. Braña. 2011. Metodología para la evaluación de la canal ovina. Folleto Técnico INIFAP. 9: 2-57
- Partida, P. J. A., & Martínez, R. L. 2010. Composición corporal de corderos Pelibuey en función de la concentración de la dieta y del peso de sacrificio. *Veterinaria México*, 41(3): 177-190.
- Partida, P. J. A., Braña, V. D., & Martínez, R. L. 2009. Desempeño productivo y propiedades de la canal en ovinos Pelibuey y sus cruizas con Suffolk o Dorset. *Técnica Pecuaria en México.* 47(3): 313-322.

- Partida, P. J. A., Vázquez, S. E. T., Rubio, L. M. S., Méndez, M. D. 2012. Effect of sire on carcass traits and meat quality of Katahdin lambs. *J. of Food Res.* 1(4): 141-159.
- Partida, P. J. A., Casaya, A. T., Rubio, S. M., Méndez, D. R. 2015. Meat quality in katahdin lamb terminal crosses treated with zilpaterol hydrochloride, *J. of Food Res.* 4: 6.
- Park K. S., Lee, N. G., Lee, K. H., Seo, J. T., Choi, K. Y. 2003. The ERK pathway involves positive and negative regulations of HT-29 colorectal cancer cell growth by extracellular zinc. *Am. J.*
- Pearson, A. M. 1966. Desirability of beef - its characteristics and their measurement. *J. of Anim. Sci.* 25: 843-851.
- Pearson, A. M., Love, J. D., Shorland, F. B. 1977. Warmed over-flavor in meat, poultry and fish. *Adv. in Food Res.* 23: 1-74
- Pearson, A. M. and Young, R. B. 1989. *Muscle and meat biochemistry.* Academic Press, Inc. 395.
- Pérez-Alvarez, J. A. 1996. Contribución al estudio objetivo del color en productos cárnicos crudo-curados. Tesis Doctoral. Valencia, España., Departamento de Tecnología de Alimentos. Universidad Politecnica de Valencia.
- Pérez-Alvarez, J. A. 2006. Color. Capítulo 6 en: *Ciencia y Tecnología de la carne*, Hui Y.H., Guerrero, I., Rosmini, M.R. Limusa, México, pp. 163-183.
- Perry, D. K., Smyth, M. J., Stennicke, H. R., Salvesen, G. S., Luriez, P., Poirier, G. G. y Hannun, Y. A. 1997. Zinc is a potent inhibitor of the apoptotic protease, caspase-3. A novel target for zinc in the inhibition of apoptosis. *J. Biol. Chem.* 272: 18530-18533.
- Pessin, J. E. and Saltiel, A. R. 2000. Signaling pathways in insulin action: molecular targets of insulin resistance. *J. Clin. Invest.* 106: 165-169.
- Plascencia, A., Torrentera, N. and Zinn, Z. 1999. Influence of the Agonist Zilpaterol on Growth, Performance and Carcass Characteristics of Feedlot Steers. *Am. Soc. of Anim. Sci.* 50.

- Plascencia, A., Torrentera, N. G. and Zinn, R. A. 2008. Influence of the β -agonist, zilpaterol, on growth performance and carcass characteristics of feedlot steers. *J. Anim. Vet. Adv.*, 7: 1257-1260.
- Producción Animal y Gestión (PAG). 2006. Incidencia de la alimentación en el engrasamiento de la canal. Departamento de producción animal universidad de Córdoba ISSN: 1698-4226 DT 1, Vol. 1.
- Ponnampalam, E. N., Hopkins, D. L., Butler, K. L., Dunshea, F. R., Warne, R. D. 2007. Genotype and age effects on sheep meat production 2. Carcass quality traits. *Austr. J. of Exp. Agric.* 47:1147-1154.
- Rathmann, R. J., Bernhard, B. C., Swingle, R. S., Lawrence, T. E., Nichols, W. T., Yates, D. A., Hurcheson, J. P., Streeter, M. N., Brooks, J. C., Miller, M. F. and Johnson, B. J. 2012. Effect of zilpaterol hydrochloride and days on the finishing diet on feedlot performance, carcass characteristics, and tenderness in beef heifers. *J. Anim. Sci.* 90: 3301-3311.
- Reeds, P. J., Mersmann, H. J. 1991. Protein and energy requirements of animal treated with β -adrenergic agonists: A discussion. *J. Anim. Sci.* 59: 1247-1255.
- Ricks, C. A., Dalrymple, R. H., Baker, P. K. and Ingle, D. L. 1984. Use of a β -agonist to alter fat and muscle deposition in steers. *J. Anim. Sci.* 59: 1247-1255.
- Roets, M., Kirsten, F. 2005. Commercialisation of goat production in South Africa. *Small Rum. Res.* 60:87-196.
- 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, G. M., Domínguez, V. I., Barajas, C. R., Mariezcurrema, B. A., Bórquez, G. J., Cervantes, P.B. 2015. Effects of zilpaterol hydrochloride and zinc methionine on growth performance and carcass characteristics of beef bulls. *Can. J. Anim. Sci.* 95(4): 609-615.

- Rubio, L. M., Braña, V. D., Méndez, M. D., Torrescano, U. G., Sánchez, E. A., Figueroa, S. F. y Delgado, S. E. 2013. Guía práctica para la estandarización y evaluación de canales bovinas mexicanas. Folleto Técnico N°. 23. ISBN: 978-607-37-0005-4.
- SAGARPA, 2011. Perspectivas de largo plazo para el sector agropecuario de México 2011 – 2020. http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/estudios_economicos/escenariobase/perspectivalp_11-20.pdf.
- SAGARPA, 2012. Boletín de prensa. <http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/jalisco/boletines/2012/noviembre/Documents/B0502012.pdf>.
- Salinas, C. J., Domínguez, M. M., Díaz, M. R., Cruz, B. P., Montañón, G. M. F. and. Arzola, A. C. 2006. Effect of Duration of Zilpaterol Hydrochloride Treatment on Carcass Characteristics and Weight Gain in Grazing Pelibuey Lambs. *J. Appl. Anim. Res.* 29.
- Salinas, C. J., Ramírez, R. G., Domínguez-Muñoz, M., Palomo-Cruz, R. and López-Acuña, V. H. 2004. Influence of zilpaterol hydrochloride on growth and carcass characteristic of Pelibuey lambs. *J. Appl. Anim. Res.* 26: 33-16.
- Saltiel, A. R. and Kahn, C. R. 2001. Insulin signalling and the regulation of glucose and lipid metabolism. *Nature.* 414: 799-806.
- Sañudo, C., Sierra, I., Alcalde, M. J., Rota, A. y Osorio, J. C. 1993. Calidad de la canal y de la carne en corderos ligeros y semipesados de las razas Rasa Aragonesa, Lacoune y Merino Alemán, pp. 203-214. *Información Técnica Económica Agraria*, 89 A.
- SAS Institute, Inc. 2006. SAS User's guide: Statistics version 9.1.3. SAS Institute Inc., Cary, North Caroline, USA.
- Sasaki, S. 2002. Mechanism of insulin action on glucose metabolism in ruminants. *Anim. Sci. J.* 73: 423-433.
- Savell, J. W., and Cross, H. R. 1986. The role of fat in the palatability of beef, pork and lamb. *Meat Res. Update* 1(4):1-10.

- Sentandreu, M. A., Coulis, G. and Ouali, A . 2002. Role of muscle endopeptidases and their inhibitors in meat tenderness. *Trend. Food Sci. Tech.* 13: 400-421.
- Shisheva, A., Gegel, D. and Shechter, Y. 1992. Insulin-like effects of zinc ion in vitro and in vivo. Preferential effects on desensitized adipocytes and induction of normoglycemia in streptozocin-induced rats. *Diabetes.* 41: 982-988.
- SIAP. 2012a. Resumen Nacional. Población ganadera, avícola y apícola 2002-2011. <http://infosiap.siap.gob.mx/ventana.php?idLiga=991&tipo=1>.
- SIAP. 2012b. Bovino Carne y Leche. Población ganadera 2002-2011. <http://infosiap.siap.gob.mx/ventana.php?idLiga=993&tipo=1>.
- SIAP. 2012c. Ovino Población ganadera 2002-2011. http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaBasica/Pecuario/PoblacionGanadera/ProductoEspecie/ovino.pdf.
- SIAP. 2014. Resumen nacional producción, precio, valor, animales sacrificados y pesos 2014. <http://www.siap.gob.mx/resumen-nacional-pecuario/>
- SIAP. 2015. Resumen nacional producción, precio, valor, animales sacrificados y pesos 2015. <http://www.siap.gob.mx/resumen-nacional-pecuario/>
- Sissom, E. K., Reinhardt, C. D., Hutcheson, J. P., Nichols, W. T., Yates, D. A., Swingle, R. S. and Johnson, B. J. 2007. Response to ractopamine-HCl in heifers is altered by implant strategy across days on feed. *J. Anim. Sci.* 85: 2125-2132.
- Smith, D. J. 1998. The Pharmacokinetics, Metabolism and Tissue Residues of Beta-Adrenergic Agonists in Livestock. *J. of Anim. Sci.* 76.
- Smith, G. C. 2000. Providing Assurances of Quality, Consistency, Safety and a Caring Attitude to Domestic and International Consumers of U.S. Beef. The Department of Animal Science Colorado State University. 49th Annual Montana Nutrition Conference in Bozeman, Montana. April 25.
- Soria, J. L. B. y Arias, M. J. A. 1997. Señalización celular por segundos mensajeros. En Curso Internacional Pre Congreso “Actualización en Fisiología”. XI Congreso Nacional de Temas Fisiológicos. Ed. Sociedad Nacional de Temas Fisiológicos.

- Spears, J. W., and Kegley, E. B. 2002. Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *J. Anim. Sci.* 80: 2747-2752.
- Spears, J. W. and Kegley, E. B. 2002. Effect of zinc source (zinc oxide vs. zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *J. Anim. Sci.* 80: 2747-2752.
- Steel, R. G. D., Torrie, J. H. and Dickey, D. A. 1997. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 3rd ed., McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA. Pp. 600p.
- Sumano, L. H., Ocampo, Ocampo, Gutiérrez, O. L. 2002. Clembuterol y otros β -agonistas, ¿una opción para la producción pecuaria o un riesgo para la salud pública?. *Veterinaria México.* 2:137-160.
- Tanaka, E. S., Takahashi, T., and Yano, H. 2000. Zinc Promotes Adipocyte Differentiation *in vitro*. Division of Applied Biosciences, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kyoto, Japan. 606-8502.
- Tang, X. and N. F. Shay. 2001. Zinc has an insulin-like effect on glucose transport mediated by phosphoinositol-3-kinase and Akt in 3T3-L1 fibroblasts and adipocytes.
- Torrescano, G., Sánchez, A., Peñúñuri, F., Velázquez, J., Sierra, T. 2009. Características de la canal y calidad de la carne de ovinos Pelibuey, engordados en Hermosillo, Sonora *BIOtecnia.* 11(1):41-50.
- Torres, A. R y Bahr, V.P. 2004. El zinc: la chispa de la vida. *Rev. Cuba. Pediatr.* 76(4). ISSN 1561-3119.
- Truong, T. A. Q., Ho, L. H., Chai, F. and Zalewski, P. D. 2000. Cellular zinc fluxes and the regulation of apoptosis/gene-directed cell death. *J. Nutr.* 130: 1459S-1466S.
- Underwood, E. J., Somers, M. 1969. Studies of zinc nutrition in sheep. I. The relation of zinc to growth, testicular development, and spermatogenesis in young rams. *Aust. J. Agric. Res.* 20: 889-887.
- Underwood, E. J., and Suttle, N. F. 1999. The mineral nutrition of livestock. Third ed. CABI Publishing. New York, U.S.A. p. 614.

- USDA. 1997. United States Standards for Grades of Carcass Beef. Agric. Marketing Service, USDA, Washington, DC.
- U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Health and Human Services. 2010. Dietary Guidelines for Americans, 2010. 7th Edition, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, December 2010.
- United States Department of Agriculture, USDA. 2011. Method for grid assessment of beef carcass rib eye area. In:<http://www.ams.usda.gov/AMSV1.0/getfile?dDocName=STELPRDC5090712>. Marzo 18, 2014.
- Vandergrift, B. 1992. Theory and practice of mineral proteينات in the animal feed industry. Proceedings of Alltech's Eighth Annual Symposium. Alltech Techn. Publ. Nicholasville, KY, USA. p.179-192.
- Vierboom, M., Engle, T. E. and Kimberling, C. V. 2003. Effects of gestational status on apparent absorption and retention of copper and zinc in mature Angus cows and Suffolk ewes. Asian Austr. J. Anim. Sci. 16: 515-518.
- Yang, Y. T., Mcelligott, M. A. 1989. Multiple actions of beta-adrenergic agonists on skeletal muscle and adipose tissue. Bioch. J. 26: 1-10.
- Yen, T. T., Anderson, D. B. and Veehuizen, E. L. 1989. Phenethanolamines: reduction of fat and increase of muscle from mice to pigs. In: Lardy H., Stratman, (Ed.) Hormones, hermogenesis and Obesity. Elsevier. New York.
- Zago, M. P. y Oteiza, P. I. 2001. The antioxidant properties of zinc: interactions with iron and antioxidants. Free Radic. Biol. Med. 31: 266-274.
- Zubay, G. L. 1998. Biochemistry. Fourth Edition. WCP Publishers. Dubuque, IA, USA.

X. ANEXOS



Instituto de Ciencias y Tecnología Agropecuaria

Revista Agrociencia

"Año del Centenario de la Promulgación de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos"

28 de febrero de 2017

CARTA DE RECEPCIÓN

Dr. Ignacio A. Domínguez Vara

igy92@hotmail.com

Le comunico haber recibido la siguiente contribución para iniciar el proceso editorial en la revista AGROCIENCIA.

Título: **CRECIMIENTO, CALIDAD DE CANAL Y CARNE DE OVINOS EN ENGORDA INTENSIVA COMPLEMENTADOS CON CLORHIDRATO DE ZILPATEROL Y ZINC ORGÁNICO.**

Autores: **Manuel Guerrero-Bárcena, Ignacio A. Domínguez-Vara, Ernesto Morales-Almaraz, Juan E. Sánchez-Torres, Efrén Ramírez-Briblesca y Daniel Hernández Ramírez.**

Su contribución ha sido formalmente recibida, asignándole la clave: **17-058**. Copias de la misma serán enviadas a dos árbitros y a un editor, quienes evaluarán su contenido. Oportunamente se le comunicará los dictámenes respectivos.

Asimismo, le agradeceré que en toda correspondencia: a) Indique la clave asignada; b) notifique cualquier cambio de domicilio por correo electrónico.

Le recuerdo que como **autor responsable**, usted debe recabar las autorizaciones de los coautores (de haberlos) de que están conformes con el contenido de cada una de las versiones requeridas durante el proceso editorial y mantenerlos informados oportunamente de los avances respectivos. Es decir, **el suscrito sólo extenderá constancias a usted** por lo que le agradeceré que, de requerirse, sea el conducto para hacerle llegar copias a los interesados.

Finalmente le anticipo que, en caso de ser aprobada para publicación, su contribución deberá ser traducida al idioma inglés. Para tal efecto la dirección de Agrociencia ha seleccionado un grupo de traductoras que han probado su competencia en esa tarea. La traducción será asignada por el suscrito a una de ellas, en el entendido de que el pago que se convenga será hecho directamente por el autor responsable a la traductora. Ninguna persona de la oficina de Agrociencia actuará como intermediaria en los aspectos financieros involucrados.


SERGIO S. GONZÁLEZ MONZÓ
DIRECTOR DE AGROCIENCIA

♦ SSCM/yfm

Oficina Central, Cuernavaca #9, Esquina Avenida Hidalgo
56251, San Luis Huixtla, Tlaxcala, Estado de México
01 (595) 6284427 01(595) 6284013

· Colegio de Postgraduados · Campus Montecillo · Estadística ·
· Carretera México-Tlaxcala, Km. 36.5, 56230, Montecillo ·
· Tlaxcala, Estado de México ·

· Apartado Postal 199, 56100, Tlaxcala ·
· Apartado Postal 58, 56230, Chapingo ·
· editorial@colpos.mx ·

1er. CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA CARNE



UAEM | Universidad Autónoma
del Estado de México
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Red Temática de Investigación en Ciencia y Tecnología de la Carne de Especies Pecuarias

Otorga la presente

Constancia

**A : M. Guerrero Bárcena, I.A. Domínguez Vara*, E. Morales Almaráz,
J.E. Sánchez Torres, L. Robles Jimenez, D. Arizmendi Cotero**

Por su participación con la Ponencia Oral:

*SUPLEMENTACIÓN DE ZINC ORGÁNICO Y CLORHIDRATO DE ZILPATEROL EN OVINOS EN ENGORDA
2: EFECTOS EN LA CALIDAD DE LA CARNE*

en el

**1er. CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y
TECNOLOGÍA DE LA CARNE**

Impartida el día 19 de octubre de 2016 en el
Auditorio de la Biblioteca de Área Académica "El Cerrillo"

PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO
"2016, Año del 60 Aniversario de la Universidad Autónoma del Estado de México"
"2016, Año de Leopoldo Flores Valdés"

Dr. en C. Roberto Montes de Oca Jiménez
Director

DIRECCIÓN





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Otorgan la presente

Constancia

A: **M. Guerrero Bárcena, I.A. Domínguez Vara, E. Morales Almaráz, J.E. Sánchez Torres, L. Robles Jimenez, I. Pérez-Toribio.**

POR SU PARTICIPACIÓN COMO PONENTE CON EL TEMA

SUPLEMENTACIÓN DE ZINC ORGÁNICO Y CLORHIDRATO DE ZILPATEROL EN OVINOS EN ENGORDA 2: EFECTOS EN LA CALIDAD DE LA CARNE

XXVI REUNIÓN INTERNACIONAL SOBRE PRODUCCIÓN DE CARNE Y LECHE EN CLIMAS CÁLIDOS

REALIZADO EN MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, LOS DÍAS 6 Y 7 DE OCTUBRE DE 2016.


Dr. Roberto Soto Ortiz
Director del ICA-UABC


Dr. Miguel Cervantes Ramírez
Presidente Comité Organizador

1 **CRECIMIENTO, CALIDAD DE CANAL Y CARNE DE OVINOS EN ENGORDA**
2 **INTENSIVA COMPLEMENTADOS CON CLORHIDRATO DE ZILPATEROL Y**
3 **ZINC ORGÁNICO**

4
5 **Manuel Guerrero-Bárcena¹, Ignacio A. Domínguez-Vara^{1*}, Ernesto Morales-**
6 **Almaraz¹, Juan E. Sánchez-Torres¹, Efrén Ramírez-Bribiesca², Daniel Hernández**
7 **Ramírez¹**

8
9 **RESUMEN**

10 El Clorhidrato Zilpaterol (CZ), redistribuye la energía del alimento, mejora el
11 comportamiento productivo y las características de la canal de ovinos y bovinos en engorda;
12 sin embargo, al aumentar la lipólisis, se reduce la grasa intramuscular pudiendo afectar la
13 calidad de la carne en sus atributos de color, jugosidad, sabor, aroma y suaviidad; en
14 contraste, el Zn, por su efecto lipogénico, asociado a la insulina, puede mejorar el marmolero
15 de la carne sin detrimento de la eficiencia en el crecimiento. En el presente estudio, se usaron
16 32 ovinos machos Suffolk (25 ± 0.58 kg PV), para evaluar el suministro de clorhidrato de
17 zilpaterol y metionina de zinc (ZM) sobre la eficiencia del crecimiento, las características de
18 la canal y la calidad de la carne. Se utilizó un diseño completamente al azar, con arreglo
19 factorial 2x2, dos niveles de CZ (0 y 0.2 mg kg PV) y dos niveles de ZM (0 y 80 mg de Zn
20 kg^{-1} MS). El CZ aumento ($P < 0.05$) el rendimiento en la canal, el índice de compacidad, el
21 área de ojo de la chuleta y disminuyó el engrasamiento ($P < 0.02$). El contenido de extracto
22 etéreo en la grasa intramuscular de la carne aumentó ($P < 0.05$) en los ovinos complementados

1 con ZM mas CZ y en los ovinos con sólo ZM (P <0.0001). El CZ aumentó (P <0.05) el
2 contenido de proteína en la carne y disminuyo (P<0.002) los valores de color L*, a*, b*, C*,
3 y H*. Se concluye que el CZ aumenta el rendimiento de la canal y disminuye el
4 engrasamiento. El aumento de extracto etéreo en la carne por efecto de ZM, y CZ más ZM,
5 y en la proteína por efecto del CZ, implica que la utilización de estos aditivos en ovinos en
6 engorda puede influir sobre la calidad de su carne.

7 **Palabras clave:** ovinos, clorhidrato de zilpaterol, zinc metionina, canal, carne.

8 **INTRODUCCIÓN**

9 Los β Agonistas Adrenérgicos (β AA) redistribuyen la energía de la dieta promoviendo su
10 almacén en sitios específicos de la canal; los β AA son agentes químicos que actúan a nivel
11 de los receptores adrenérgicos los cuales están asociados a la proteína G, derivando la energía
12 de los alimentos y de la lipolisis hacia la síntesis proteica (Domínguez *et al.*, 2009); es decir,
13 producen una redirección del metabolismo energético celular favoreciendo la síntesis
14 proteica (Reeds y Mersmann, 1991). El CZ es un β AA que se encuentra autorizado para uso
15 comercial en la ganadería de México, Sudáfrica, Estados Unidos (FDA, NDA 141-258) y
16 Canadá (Dikeman, 2007; Delmore *et al.*, 2010). El CZ tiene efectos positivos sobre el
17 comportamiento productivo y las características de la canal, aumenta el peso vivo (Avendaño
18 *et al.*, 2006) y el peso de la canal (Beckett *et al.*, 2009; Avendaño *et al.*, 2006; Castellanos *et al.*,
19 2006). Sin embargo, los β AA, al estimular la lipolisis y disminuir la grasa intramuscular
20 y visceral pueden tener efectos negativos en la calidad de la carne, afectando el color, la
21 jugosidad y la ternesa o suavidad de la misma (Partida y Braña, 2011; Mondragón *et al.*,
22 2010). El contenido mínimo de grasa intramuscular, necesario para una buena palatabilidad

1 de la carne fresca es de 3 por ciento BH (Savell y Cross, 1986); en particular, en el ganado
2 ovino, la intensidad para almacenar grasa intramuscular ocurre después de alcanzar la
3 madurez sexual (Cianzio *et al.*, 1985); a diferencia de otras especies, en los ovinos, el
4 contenido de grasa intramuscular es menor a 5 % (McPhee *et al.*, 2008); en contraste, la canal
5 del ovino, a edad avanzada, puede tener gran cantidad de grasa subcutánea, sin embargo, el
6 mayor aumento proporcional de grasa intramuscular ocurre a una edad temprana
7 (Ponnampalam *et al.*, 2007).

8 En la industria cárnica ovina se buscan alternativas que modifiquen las condiciones para
9 aumentar el contenido de grasa intramuscular del ganado alimentado con CZ. El zinc es un
10 microelemento esencial requerido para la acción de más de 300 metalo enzimas (Smith y
11 Akinbamizo, 2000). El zinc está involucrado en el metabolismo de los carbohidratos, es
12 necesario en la glucólisis, activa a la enzima piruvatoquinasa, que cataliza la reacción del
13 fosfoenolpiruvato a piruvato (Díaz *et al.*, 1995), y en la secreción de insulina (Kennedy,
14 1998; Vierboom *et al.*, 2003), la proinsulina es ensamblada en el aparato de Golgi, bajo la
15 forma de hexámeros, que requieren dos iones de zinc para ser co secretados (Kawasaki,
16 2012), el zinc también está involucrado en el metabolismo de los lípidos (Chen, 1996), y, por
17 lo tanto, puede también estarlo con en el sobrepeso y la obesidad. El zinc se ha relacionado
18 en varios mecanismos como un compuesto lipogénico (Malcolm-Callis *et al.*, 2000; Oh y
19 Choi, 2004), se cree imita algunas acciones de la insulina para aumentar la utilización de la
20 glucosa y de esta forma promover una mayor lipogénesis (Chen *et al.*, 1996). En bovinos de
21 engorda, Spears y Kegley (2002), encontraron un efecto del zinc sobre la ganancia de peso,
22 el rendimiento de la canal y un mayor marmoleo. En ratones obesos, el zinc aumenta la grasa

1 corporal y reduce el consumo de alimento (Chen *et al.*, 1996). Por lo tanto, la hipótesis del
2 estudio es que el suministro de CZ más ZM aumentan la grasa intramuscular, la ternura de
3 la carne, las características de la canal y la eficiencia productiva de ovinos en engorda. El
4 NRC (2007) recomienda dar de 24 a 51 mg de Zn kg⁻¹ MS para ovinos de 20 a 40 kg PV. El
5 objetivo del estudio consistió en evaluar los efectos del CZ y ZM sobre la eficiencia del
6 crecimiento y uso del alimento, las características de la canal y en calidad de la carne de
7 ovinos en engorda con alimentación intensiva.

8 **MATERIALES Y METODOS**

9 La presente investigación fue aprobada por el Comité de Bioética y Bienestar Animal de
10 la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de
11 México, siguiendo los principios establecidos por el Consejo Canadiense de los Animales
12 (1993). El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Unidad Experimental en
13 Producción Animal del Departamento de Nutrición de la Facultad de Medicina Veterinaria y
14 Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca México.

15 **Animales y tratamientos**

16 Se utilizaron 32 ovinos Suffolk con peso vivo (PV) promedio de 25±0.58 kg y 4 meses de
17 edad, alojados en corraletas individuales (1.5m x 2.5m), equipadas con comedero y bebedero
18 automático. Los animales fueron alimentados dos veces al día (8:00 y 15:00h) con una dieta
19 basal (Tabla 1) durante 89 días (15 días de adaptación y 74 días de medición). El total de
20 ovinos se dividió en cuatro grupos, con 8 ovinos por grupo, asignados aleatoriamente: 1)
21 Testigo, 2) Metionina de Zinc (ZM), 3) Clorhidrato de Zilpaterol (CZ), 4) CZ+ZM. Los
22 ovinos se suplementaron, del día 42 al 71 de la engorda, con 0.2 mg CZ kg⁻¹ PV d⁻¹ de

1 Zilmax®, (Schering-Plough Animal Health, Summit, Nueva Jersey, EE.UU.), y con 80 mg
 2 de Zn kg⁻¹ MS (Availla Zn 120, Zinpro Corporation; Eden Prairie, MN, EE.UU.) durante todo
 3 el periodo de medición. Las dosis diarias de CZ y ZM, de cada ovino, se proporcionaron
 4 directamente en el comedero, mezclando el producto con la parte superior del alimento
 5 matutino recientemente ofrecido. Se colectaron muestras del alimento suministrado (Cuadro
 6 1) y se analizó el contenido de proteína cruda (método 107976.05, AOAC, 2007) y de FDN
 7 (Van Soest *et al.*, 1991) modificado para su uso en Ankom analizador de fibra, Ankom
 8 Tecnología, Fairport, Nueva York, EE.UU.). Los ovinos se pesaron cada dos semanas y se
 9 registró el PVI del día 1 de prueba y para el PVF el día 74, previo al sacrificio.

Cuadro 1. Ingredientes de la dieta y su composición química.

Composición de los ingredientes	(g kg ⁻¹ MS)
Maíz molido	600.0
Rastrojo de maíz	160.0
Pasta de soya	140.0
Salvado de trigo	60.0
Bicarbonato de sodio	15.0
Pre mezcla de vitaminas y minerales ¹	25.0
Composición química	
Materia Seca (g kg ⁻¹)	876.8
Proteína Cruda (g kg ⁻¹ MS) ²	140.8
Fibra Detergente Neutro (g kg ⁻¹ MS) ²	214.6
Energía Metabolizable (MJ kg ⁻¹ MS) ³	11.83
Zinc (mg kg ⁻¹ MS) ⁴	18.03

1 ¹Premezcla: micro min (mg kg⁻¹) I=0.3; Se=0.3; Co=0.09; Cu=10; Mn=4.0; Fe=5.0;

2 Macro minerales (%) S=0.09; P=0.10; Ca=0.45; Na=0.09; Cl=0.05.

3 ² Determinado en laboratorio.

4 ³ Calculado a partir de la composición de los ingredientes de la dieta (NRC, 2007).

5 ⁴ Determinado por espectrofotometría de absorción atómica de flama (Fick *et al.*, 1979).

6 **Características de la canal**

7 Una vez terminado el periodo de engorda, los ovinos fueron transportados en un vehículo
8 (distancia de 54 km; 1.0 h) a una planta de sacrificio, con dos a tres horas de descanso antes
9 de la matanza, cumpliendo con lo establecido en los estándares (NOM-051-ZOO-1995). Los
10 ovinos se pesaron antes del sacrificio (PVS) y las canales fueron pesadas inmediatamente
11 después para obtener el peso de la canal caliente (PCC), el rendimiento en canal (RC) se
12 obtuvo en relación al (PVS) y (PCC), posteriormente fueron refrigeradas a 4°C durante 24 h,
13 y se obtuvo el peso de la canal fría (PCF), sobre la canal fría se evaluó la morfometría
14 (mediciones lineales) con uso de una cinta métrica y un vernier; posteriormente, se realizó
15 un corte transversal en el musculo *Longísimus dorsi*, del lado izquierdo de la canal, entre las
16 costillas 12^a y 13^a, para medir el espesor de la grasa dorsal (mm) con vernier y el área del
17 *longísimus dorsi* con un planímetro (Planix 7 TAMAYA). El color de la carne se midió con
18 un colorímetro (Minolta Chroma Meter CR-200), usando color CIELAB. El pH se midió con
19 un potenciómetro equipado con un electrodo de penetración (modelo HANNA HI 99163).

20

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22

Evaluación de la calidad de la carne

Para analizar la calidad de la carne, se utilizaron muestras (50 g) de músculo *Longissimus dorsi* del lado izquierdo de cada canal, las cuales se empacaron al alto vacío y se congelaron (-20 °C) para su posterior análisis. El contenido de MS, cenizas, proteína y grasa fue determinado en según lo establecido por la AOAC (2007). La fuerza de corte se determinó con cuchilla Warner Bratzler y la pérdida por cocción se midió por métodos gravimétricos (AMSA, 1995).

Análisis estadístico

Los resultados de crecimiento, características de la canal y calidad de la carne fueron analizados estadísticamente como un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2 x 2 de tratamientos (CZ: 0 y 0.2 mg kg⁻¹ PV; ZM: 0 y 80 mg de Zn kg⁻¹ MS) utilizando PROC MIXED (SAS, 2006); las medias de los tratamientos con diferencia significativa (P <0.05) fueron comparadas usando la prueba de Tukey.

RESULTADOS Y DISCUSION

Desempeño productivo

El crecimiento de los ovinos (Cuadro 2) en términos de PVF, CMS, GPT y GDP no fue afectado (P >0.05) por los tratamientos aplicados; sin embargo, se observó una tendencia a cambiar en los ovinos tratados con CZ en las variables CA (P ≤0.076), EA (P ≤0.086), PCC (P ≤0.074) y PCF (P ≤0.075); en general, el uso de βAA puede aumentar el crecimiento y la eficiencia alimenticia (Domínguez *et al.*, 2009) por estimular la síntesis de proteína en el músculo esquelético y evitar su degradación; mientras que en el tejido adiposo, los βAA

1 aumentan la lipólisis y reducen la lipogénesis (Oh y Choi, 2004); sin embargo, hay
2 variaciones en la respuesta al suministro de los β AA; Salinas et al. (2006) indicaron que en
3 ovinos Pelibuey el CZ no mejoró la GDP; Mondragón *et al.* (2010) concluyó que el CZ en
4 ovinos no afectó el comportamiento productivo pero sí aumentó el área del *Longissimus*
5 *dorsi*. El desempeño productivo no fue afectado ($P > 0.05$) por el ZM y no hubo efecto de la
6 interacción ($P > 0.05$) del ZM con el CZ.

7 **Características de la canal**

8 Las características de la canal mejoraron con el CZ (Cuadro 3); hubo aumento ($P \leq 0.07$)
9 en las variables PCC, PCF, RCC, RCF, IC1, IC2 y área de chuleta ($P \leq 0.05$), los resultados
10 coinciden con los encontrados por López *et al.* (2010) y Mondragón *et al.* (2010), lo cual
11 puede deberse a los efectos del CZ en la síntesis de proteína muscular (Li *et al.*, 2000);
12 además, se han observados cambios en la proporción de ARN de transcripción en proteínas
13 musculares (Miller *et al.*, 1988).

14 La grasa de la canal disminuyó ($P < 0.05$) por efecto del CZ, similar al estudio de
15 Koohmaraie *et al.* (1996), produciendo canales ovinas más magras; lo anterior puede deberse
16 al efecto lipolítico del CZ en el adiposito, lo que limita y reduce la lipogénesis (Van Hoof *et*
17 *al.*, 2005). La adición de ZM no afectó ninguna de las características previamente descritas,
18 y no hubo efecto de la interacción ($P > 0.05$) del CZ con ZM en ninguna de las características
19 de la canal estudiadas.

20

1 Cuadro 2. Desempeño productivo de ovinos suplementados con clorhidrato de zilpaterol y
 2 metionina de zinc.

Variables	Tratamientos				¹ EEM	Efecto		
	-CZ		+CZ			CZ	ZM	CZ+ZM
	-ZM	+ZM	-ZM	+ZM				
PVI (Kg) ²	25.375	25.150	25.400	25.150	2.053	-----	-----	-----
PVF (Kg)	44.300	44.100	44.975	45.500	1.395	ns	ns	Ns
CMST (Kg)	106.275	96.825	99.812	98.475	6.845	ns	ns	Ns
GDPT (Kg)	18.925	18.950	19.575	20.375	1.548	ns	ns	Ns
GDP (Kg)	0.253	0.255	0.264	0.275	0.021	ns	ns	Ns
CA (Kg)	5.712	5.362	5.112	4.875	0.295	0.076 [‡]	ns	Ns
EA (%)	0.177	0.191	0.197	0.206	0.009	0.086 [‡]	ns	Ns

3 -CZ, clorhidrato de zilpaterol 0 mg kg⁻¹ PV; +CZ, clorhidrato de zilpaterol 0.2 mg kg⁻¹ PV; -
 4 ZM, metionina de zinc 0 mg kg⁻¹ MS; +ZM, metionina de zinc 80 mg kg⁻¹ MS.

5 ¹EEM, error estándar medio.

6 *Diferencia significativa (P<0.05); [‡]Tendencia estadística (de P>0.05 a P≤0.10).

7 ²PVI, peso vivo inicial; PVF, peso vivo final; CMST, consumo de materia seca total; GDPT,
 8 ganancia de peso total; GDP, ganancia diaria de peso; CA, conversión alimenticia; EA,
 9 eficiencia alimenticia;

10

1 Cuadro 3 Características de la canal de ovinos suplementados con clorhidrato de zilpaterol y
 2 metionina de zinc.

Variables	Tratamientos				¹ EEM	Efecto		
	-CZ		+CZ			CZ	ZM	CZ+ZM
	-ZM	+ZM	-ZM	+ZM				
PVS (kg) ²	42.00	40.925	42.425	42.687	0.975	ns	ns	ns
PCC (kg)	19.687	20.587	21.675	22.212	0.860	0.074 [‡]	ns	ns
PCF (kg)	18.675	18.900	20.075	20.800	1.418	0.065 [‡]	ns	ns
RCC (%)	46.762	50.287	51.075	51.887	1.303	0.046*	ns	ns
RCF (%)	44.275	46.175	47.287	48.700	0.490	0.042*	ns	ns
ÍC1 ³	0.315	0.316	0.346	0.355	0.012	0.010*	ns	ns
ÍC2 ⁴	0.298	0.293	0.317	0.331	0.011	0.024*	ns	ns

3 -CZ, clorhidrato de zilpaterol 0 mg kg⁻¹ PV; +CZ, clorhidrato de zilpaterol 0.2 mg kg⁻¹ PV; -

4 ZM, metionina de zinc 0 mg kg⁻¹ MS; +ZM, metionina de zinc 80 mg kg⁻¹ MS.

5 ¹EEM, error estándar medio.

6 ² PVS, peso vivo a sacrificio; PCC, peso de la canal caliente; RCC, rendimiento de la canal
 7 caliente; PCF, peso de la canal fría; RCF, rendimiento de la canal fría.

8 ³Índice de compacidad 1 (PCC_{kg}/LC_{cm}); ⁴Índice de compacidad 2 (PCF_{kg}/LC_{cm}).

9 *Diferencia significativa (P<0.05); [‡]Tendencia estadística (de P>0.05 a P≤0.10).

1 Cuadro 4. Características de la canal de ovinos suplementados con clorhidrato de zilpaterol

Variables	Tratamientos				¹ EEM	Efecto		
	-CZ		+CZ			CZ	ZM	CZ+ZM
	-ZM	+ZM	-ZM	+ZM				
CMUE (1-5) ²	3.1	3.1	3.5	3.6	0.227	0.065 [‡]	ns	ns
CMMEX (1-3) ³	2.3	2.2	2.3	2.5	0.179	Ns	ns	ns
Longitud canal (cm)	62.44	64.37	62.63	62.75	1.965	Ns	ns	ns
Área chuleta (cm ²)	12.29	15.42	17.36	16.76	1.306	0.020*	ns	ns
Grasa dorsal (mm)	2.0	3.1	2.2	2.2	0.969	Ns	ns	ns
Engrasamiento (1-5) ²	3.0	3.1	2.7	2.5	0.108	0.014*	ns	ns
Grasa riñonada (1-3) ³	1.8	2.0	1.8	1.8	0.960	Ns	ns	ns

2 y metionina de zinc.

3 -CZ, clorhidrato de zilpaterol 0 mg kg⁻¹ PV; +CZ, clorhidrato de zilpaterol 0.2 mg kg⁻¹ PV; -

4 ZM, metionina de zinc 0 mg kg⁻¹ MS; +ZM, metionina de zinc 80 mg kg⁻¹ MS.

5 ¹EEM, error estándar medio.

6 ²Conformación muscular Sistema Europeo.

7 ³Conformación muscular Norma Mexicana.

8 *Diferencia significativa (P<0.05); [‡]Tendencia estadística (de P>0.05 a P≤0.10).

Calidad nutrimental de la carne

1
2 El contenido de extracto etéreo en la grasa intramuscular de la carne de los ovinos aumentó
3 (P <0.001) por efecto del ZM y también (P <0.05) por efecto del tratamiento del ZM mas el
4 CZ (Cuadro 5); en otros estudios (Chen *et al.*, 1996) se ha reportado la acumulación de grasa
5 corporal en ratones obesos suplementados con zinc; Greene *et al.* (1988) reportaron mayor
6 índice de marmoleo y mayor calidad de la canal de novillos alimentados con Zn metionina
7 (360 mg de Zn kg⁻¹ MS) en comparación con novillos alimentados con ZnO (360 mg kg⁻¹ de
8 MS) o novillos alimentados con una dieta control (82 mg de Zn kg⁻¹ MS). McBerth *et al.*
9 (2005) no encontraron diferencia significativa en el índice de marmoleo de la carne de
10 novillos alimentados con una dieta con 90 ppm de Zn, sin embargo, la diferencia numérica
11 fue de más de 4% en los novillos con Zn. El Zn tiene efecto lipogénico (Park *et al.*, 2003),
12 esta influencia sobre el aumento de la lipogénesis en los adipocitos se debe, principalmente,
13 a un aumento de la actividad de la insulina, pero no a una acción similar a la insulina (Chen
14 *et al.*, 1998); además, el Zn suprime la acción del óxido nítrico (Oh y Choi, 2004), el cual
15 inhibe la síntesis de la glucosa, del glucógeno y de las grasas, pero estimula la lipólisis en los
16 adipocitos, actuando por diferentes vías, a través de la fosforilación de la adenosine-3'-5'-
17 monofosfato, activada por proteínas cinasas (AMPK), fosforilando la lipasa sensible a
18 hormonas (LSH) y perilipinas (Jobgen *et al.*, 2006). En cuanto a la interacción del ZM con
19 el CZ no se encontraron, en la literatura publicada, reportes anteriores a lo indicado por
20 Rodríguez *et al.* (2015), quienes realizaron un estudio con bovinos de engorda, concluyendo
21 que la reducción de la grasa intramuscular y el espesor de la grasa dorsal por efecto del CZ
22 más ZM no es muy claro. El contenido de proteína aumentó (P <0.05) con la adición del CZ;

1 esto también fue reportado por (Partida et al. 2015), atribuyéndose a un incremento en la
 2 retención de nitrógeno muscular inducido por el CZ (Mersmann, 1998).

3 **Cuadro 5.** Efecto del clorhidrato de zilpaterol y metionina de zinc sobre la composición
 4 nutrimental de la carne de ovinos.

Variables	Tratamientos				¹ EEM	Efecto		
	-CZ		+CZ			CZ	ZM	CZ+ZM
	-ZM	+ZM	-ZM	+ZM				
Materia seca (g 100 g)	28.80	30.46	29.44	29.59	0.694	ns	Ns	ns
Cenizas (g 100 g)	1.46	1.55	1.66	1.52	0.205	ns	Ns	ns
Extracto etéreo (g 100 g)	4.40	6.13	4.09	6.92	0.694	ns	0.001*	0.043*
Proteína cruda (g 100 g)	22.2	22.0	23.7	23.7	0.817	0.049*	Ns	ns

5 -CZ, clorhidrato de zilpaterol 0 mg kg⁻¹ PV; +CZ, clorhidrato de zilpaterol 0.2 mg kg⁻¹ PV; -
 6 ZM, metionina de zinc 0 mg kg⁻¹ MS; +ZM, metionina de zinc 80 mg kg⁻¹ MS.

7 ¹EEM, error estándar medio.

8 *Diferencia significativa (P<0.05; **P<0.01); †Tendencia estadística (de P>0.05 a P≤0.10).

9 **Valores de pH y color de la carne**

10 Los valores de pH obtenidos (Cuadro 6) coinciden con otros estudios realizados en ovinos
 11 (Dávila et al. 2013); en el presente estudio se observaron valores de pH más altos a las 24 h
 12 (P<0.001) en las canales de ovinos tratados con el CZ; esto pudo ser causado por el suministro

1 del β AA ya que se reduce el depósito de glucógeno muscular, afectando el descenso del pH,
 2 que normalmente ocurre post faena, debido al metabolismo anaeróbico; de modo que cuando
 3 el pH no alcanza a bajar a un valor menor de 6, la carne puede tener un color más oscuro
 4 (Moloney y Beermann, 1996).

5

6 Cuadro 6. Efecto del clorhidrato de zilpaterol y metionina de zinc sobre los valores de pH,
 7 color, pérdida de agua por cocción y fuerza de corte de la carne de ovinos.

Variables	Tratamientos				¹ EEM	Efecto		
	-CZ		+CZ			CZ	ZM	CZ+ZM
	-ZM	+ZM	-ZM	+ZM				
pH a 45 min	6.59	6.59	6.81	6.58	0.121	ns	ns	ns
pH a 24 h	5.62	5.85	6.13	6.06	0.637	0.0018*	ns	ns
Color								
L*	41.11	39.12	35.35	35.40	1.040	0.0017*	ns	ns
a*	16.07	14.26	12.18	11.99	0.708	0.0048*	ns	ns
b*	6.15	5.20	3.59	3.53	0.456	0.0001*	ns	ns
C*	17.23	16.39	12.72	12.48	0.855	0.0001*	ns	ns
H°	21.46	18.78	14.19	16.39	2.569	0.0120*	ns	ns
Pérdida agua (g kg ⁻¹)	8.15	9.24	7.93	7.95	0.466	ns	ns	ns
Fuerza corte (kg/cm ²)	7.88	8.39	10.66	9.85	0.635	ns	ns	ns

1 -CZ, clorhidrato de zilpaterol 0 mg kg⁻¹ PV; +CZ, clorhidrato de zilpaterol 0.2 mg kg⁻¹ PV; -
2 ZM, metionina de zinc 0 mg kg⁻¹ MS; +ZM, metionina de zinc 80 mg kg⁻¹ MS.

3 ¹EEM, error estándar medio.

4 *Diferencia significativa (P<0.05; **P<0.01); †Tendencia estadística (de P>0.05 a P≤0.10).

5

6 Los valores L*, a*, b*, C* y H, aunque están dentro del rango normal para carne de ovino
7 en engorda intensiva, fueron más bajos (P <0.01) por efecto del suministro del CZ, esto quizá
8 debido a factores relacionados con el valor de pH obtenido a las 24 h *postmortem* (Garrido,
9 2005), así como al distinto contenido de grasa intramuscular en la carne de los ovinos tratados
10 con ZM y CZ mas ZM. La adición de ZM no afectó ninguna de las características
11 previamente descritas y no hubo efecto de la interacción (P >0.05) del CZ con el ZM.

12

CONCLUSIONES

13 De acuerdo a los resultados obtenidos de la investigación, se concluye que el suministro
14 del clorhidrato de zilpaterol en ovinos en engorda mejora la tasa de crecimiento y la eficiencia
15 alimenticia, aumenta el rendimiento en canal y disminuye su engrasamiento. No se observó
16 efecto del zinc y del clorhidrato de zilpaterol más zinc en la respuesta productiva y en las
17 características de la canal. El aumento de la grasa intramuscular en la carne por efecto de
18 zinc y del clorhidrato de zilpaterol más zinc, y en el contenido de proteína por efecto del
19 clorhidrato de zilpaterol, implica que el uso de estos aditivos en ovinos en engorda puede
20 influir sobre la calidad de la carne; el efecto observado de la interacción clohidrato de
21 zilpaterol con el zinc podría representar una ventaja en la calidad de los atributos sensoriales
22 de la carne de ovinos en engorda con alimentación intensiva.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Universidad Autónoma del Estado de México y por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología del Gobierno de México.

LITERATURA CITADA

AMSA. American Meat Science Association. Savoy. 1995. Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat. IL, USA.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. 2007. Official Methods of Analysis Association of Official Analytical Chemists. 18th 226 ed. AOAC. Arlington, VA, USA.

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

Beckett, J. L., R. J. Delmore, G. C. Duff, D. A. Yates, D. M. Allen, T. E. Lawrence. 2009. Effects of zilpaterol hydrochloride on growth rates, feed conversion, and carcass traits in calf-fed Holstein steers. *J. Anim. Sci.* 87: 4092-4100.

Canadian Council on Animal Care. 1993. Guide to the care and use of experimental animals. Volume 1. 2nd ed. E. D. Olfert, B. M. Cross, and A. A. McWilliam, eds. CCAC, Ottawa, ON.

- 1 Castellanos, R. A. F., R. J. G. Rosado, G. L. A. Chel, y A. D. A. Betancur. 2006. Empleo del
2 zilpaterol en novillos con alimentación intensiva en Yucatán, México. Archivos
3 Latinoamericanos de Producción Animal. 14: 2.
- 4 Chen, M. D., P. Y. Lin, V. Cheng, and V. H. L. Lin. 1996. Zinc supplementation aggravates
5 body fat accumulation in genetically obese (ob/ob) mice and dietary-obese mice. Biol.
6 Trace. Elem. Res. 52: 125-132.
- 7 Chen, M. D., Liou, S.J., Lin, P.Y., Yang, V.C., Alexander, P.S. and Lin, W.H. 1998. Effects
8 of zinc supplementation on the plasma glucose level and insulin activity in genetically
9 obese (ob/ob) mice. Biol. Trace Elem. Res. 61: 303-311.
- 10 Cianzio, D. S., D. G. Topel, G. B. Whitehurst, D. C. Beitz, H. L. Self. 1985. Adipose tissue
11 growth and cellularity: Changes in bovine adipocyte size and number. J. Anim. Sci.
12 60: 970-976.
- 13 Dávila, R. J. L., R. L. Avendaño, C. U. Macías, O. G. Torrentera, G. L. Zamorano, R. A.
14 Peña, and R. H. González. 2013. Effects of zilpaterol hydrochloride and soybean oil
15 supplementation on physicochemical and sensory characteristics of meat from hair
16 lambs. Small Rum. Res. 114(2-3): 253-257.
- 17 Delmore, R. J., J. M. Hodgen, and B. J. Johnson. 2010. Perspectives on the application of
18 zilpaterol hydrochloride in the United States beef industry. J. Anim. Sci. 88: 2825-
19 2828.
- 20 Díaz-Zagoya, J., y J. J. Hicks-Gómez. 1995. Bioquímica. Segunda edición. México:
21 Interamericana-McGraw-Hill; p.203-253.

- 1 Dikeman, M. E. 2007. Effect of metabolic modifiers on carcass traits and meat quality. *Meat*
2 *Sci.* 77: 121-135.
- 3 Domínguez, V. I., A. J. Mondragón, R. M. González, G. F. Salazar, G. J Bórquez, y A. M.
4 Aragón. 2009. Los β -agonistas adrenérgicos como modificadores metabólicos y su
5 efecto en la producción, calidad e inocuidad de la carne de bovinos y ovinos: una
6 revisión. *CIENCIA ergo sum.* 16: 278-284.
- 7 Garrido, M. D., S. Bañon, y D. Álvarez. 2005. Medida del pH. En: Cañeque, V. y Sañudo,
8 C. (Ed.). Estandarización de las metodologías para evaluar la calidad del producto
9 (animal vivo, canal, carne y grasa) en los rumiantes. Madrid, España: Monografías
10 INIA, Serie ganadera No. 3.
- 11 Greene, L. W., D. K. Lunt, F. M. Byers, N. K. Chirase, C. E. Richmond, R. E. Knutson, and
12 G. T. Schelling. 1988. Performance and carcass quality of steers supplemented with
13 zinc oxide or zinc methionine. *J. Anim. Sci.* 66: 1818-1823.
- 14 Jobgen W.S., S.K. Fried, W.J. Fu, C.J. Meininger, and G. Wu. 2006. Regulatory role for the
15 arginine–nitric oxide pathway in metabolism of energy substrates. *J. Nutri. Bioch.*
16 17: 571-588.
- 17 Kawasaki, E. 2012. ZnT8 and type 1 diabetes. *Endocrine J.* 59: 531-537.
- 18 Kennedy, K. J., T. M. Rains, and N. F. Shay. 1998. Zinc deficiency changes preferred
19 macronutrient intake in subpopulations of Sprague-Dawley outbred rats and reduces
20 hepatic pyruvate kinase gene expression. *J. Nutr.* 128: 43-9.
- 21 Koohmaraie, M. 1996. Biochemical factors regulating the toughening and tenderization
22 processes of meat. *Meat Sci.* 43: 193-201.

- 1 Li, Y. Z., B. T. Cristopherson, T. Ly, and J. A. Moibi. 2000. Effects of a Beta-Adrenergic
2 Agonist (L-644,969) on Performance and Carcass Traits of Growing Lambs in a Cold
3 Environment. *Can. J. Anim. Sci.* 80: 4.
- 4 López, C. M. A., R. G. Ramírez, S. J. Aguilera, C. F. Aréchiga, L. F. Méndez, H. Rodríguez,
5 and J. M. Silva. 2010. Effect of ractopamine hydrochloride and zilpaterol
6 hydrochloride on growth, diet digestibility, intake and carcass characteristics of
7 feedlot lambs. *Liv. Sci.* 131: 23-30.
- 8 McBeth, L. J., D. R. Stein, A. T. V. Pillai, M. J. Hersom, C. R. Krehbiel, U. De Silva, R. D.
9 Geisert, J. R. Malayer, J. B. Morgan, C. K. Larson, and R. L. Ball. 2005. Effect of
10 Zinc Source and Level on Finishing Cattle Performance, Carcass Characteristics, and
11 Adipocyte Differentiation. *Okla. Agr. Exp. Sta. Res.* 4: 1-9.
- 12 Malcolm-Callis, K. J., J. C. Duff, S. A. Gunter, E. B. Kegley, and D. A. Vermeire. 2000.
13 Effects of supplemental zinc concentration and source on performance, carcass
14 characteristics, and serum values in finishing beef steers. *J. Anim. Sci.* 78: 2801-2808.
- 15 McPhee, M. J., D. L. Hopkins, and D. W. Pethick. 2008. Intramuscular fat levels in sheep
16 muscle during growth. *Aust. J. Exp. Agric.* 48: 904-909.
- 17 Mersmann, H. J. 1998. Overview of the effects of beta-adrenergic receptor agonists on animal
18 growth including mechanisms of action. *J. Anim. Sci.* 76: 160-172.
- 19 Miller, M. F., D. K. García, M. E. Coleman, P. A. Ekeren, D. K. Lunt, K. A. Wagner, M.
20 Procknor, T. H. Welsh, and S. B. Smith. 1988. Adipose Tissue, Longissimus Muscle
21 and Anterior Pituitary Growth and Function in Clembuterol/Fed Heifers. *J. Anim. Sci.*
22 66.

- 1 Moloney, A. P., and D. H. Beermann. 1996. Mechanisms by which beta-adrenergic agonists
2 alter growth and body composition in ruminants. Residues of veterinary drugs and
3 mycotoxin in animal production. New methods for risk assessment and residues
4 control. Wageningen Pers, the Netherlands. Pp.124-136.
- 5 Mondragón, A. J., I. A. Domínguez-Vara, J. M. Pinos-Rodríguez, M. González, J. L.
6 Bórquez, A. Domínguez, and M. L. Mejía. 2010. Effects of feed supplementation of
7 zilpaterol hydrochloride on growth performance and carcass traits of finishing lambs.
8 *Acta Agric. Scan. Anim. Sci.* 60: 47-52.
- 9 National Research Council. 2007. Nutrient requirements of small ruminants: Sheep, goats,
10 cervids, and new world camelids. ed. Natl. Acad. Press, 384 Washington, D.C.
- 11 NOM-ZOO-1995. [3 de julio 1995]. NOM-051-ZOO-1995. Norma Oficial Mexicana Trato
12 humanitario en la movilización de animales. DF, México: Diario Oficial de la
13 Federación.
- 14 Oh, Y. S., and C. B. Choi. 2004. Effects of zinc on lipogenesis of bovine intramuscular
15 adipocytes. *Asian Austr. J. Anim. Sci.* 17: 1378-1382.
- 16 Ponnampalam, E. N., D. L. Hopkins, K. L. Butler, F. R. Dunshea, and R. D. Warne. 2007.
17 Genotype and age effects on sheep meat production 2. Carcass quality traits. *Austr. J.*
18 *of Exp. Agric.* 47: 1147-1154.
- 19 Park, K. S., N. D. Lee, K. H. Lee, J. T. Seo, and K. Y. Choi. 2003. The ERK pathway involves
20 positive and negative regulations of HT-29 colorectal cancer cell growth by
21 extracellular zinc. *Am. J. Physiol. Gastroin. and Liver Physiol.* 285: 1181-1188.

- 1 Partida, P. J. A., and V. D. Braña. 2011. Metodología para la evaluación de la canal ovina.
2 Folleto Técnico INIFAP. 9: 2-57
- 3 Partida, P. J. A., A. T. Casaya, S. M. Rubio, D. R. Méndez. 2015. Meat quality in Katahdin
4 lamb terminal crosses treated with zilpaterol hydrochloride. *J. Food Res.* 4: 6.
- 5 Reeds, P. J., and H. J. Mersmann. 1991. Protein and energy requirements of animal treated
6 with adrenergic agonists: A discussion. *J. Anim. Sci.* 59: 1247-1255.
- 7 Rodríguez, G. M., I. A. Domínguez, C. B. Barajas, B. A. Mariezcurrema, J. L. Bórquez, and
8 P. B. Cervantes. 2015. Effects of zilpaterol hydrochloride and zinc methionine on
9 growth performance and carcass characteristics of beef bulls. *Can. J. Anim. Sci.*
10 95(4): 609-615.
- 11 Salinas, C. J., M. M. Domínguez, M. R. Díaz, B. P. Cruz, G. M. F. Montaña, and A. C.
12 Arzola. 2006. Effect of duration of zilpaterol hydrochloride treatment on carcass
13 characteristics and weight gain in grazing Pelibuey lambs. *J. Appl. Anim. Res.* 29.
- 14 SAS. 2006. SAS User's guide: Statistics version 9.1.3. SAS Institute Inc., Cary, North
15 Caroline, USA.
- 16 Savell, J. W., and . R. Cross. 1986. The role of fat in the palatability of beef, pork and lamb.
17 *Meat Res. Update* 1(4):1-10.
- 18 Smith, O. B., and O. O. Akinbamizo. 2000. Micronutrients and reproduction in farm animals.
19 *Anim. Reprod. Sci.* 60-61: 549-560.
- 20 Spears, J. W., and e. b. Kegley. 2002. Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate)
21 and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing
22 and finishing steers. *J. Anim. Sci.* 80: 2747-2752.

- 1 Van Hoof, N., R. Schilt, E. Van der Vlis, P. Boshuis, M. Van Baak, A. Draaijer, K. De
2 Wasch, M. Van de Wiele, J. Van Hende, D. Courtheyn, and H. De Brabander. 2005.
3 Detection of zilpaterol (Zilmax ®) in calf urine and faeces with liquid
4 chromatography-tandem mass spectrometry. *Anal. Chem. Acta.* 529.
- 5 Van Soest, P. J., J. B. Robertson, and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral
6 detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy*
7 *Sci.* 74: 3583-3597.
- 8 Vierboom, M., T. E. Engle, and C. V. Kimberling. 2003. Effects of gestational status on
9 apparent absorption and retention of copper and zinc in mature Angus cows and
10 Suffolk ewes. *Asian Austr. J. Anim. Sci.* 16: 515-518.

11

12



III Reunión Nacional de Investigación Pecuaria
del 30 noviembre al 2 de diciembre del 2016

Querétaro
2016

**El Comité Organizador de la
III Reunión Nacional de Investigación Pecuaria
otorga la presente**

Constancia

a

**Guerrero BM, Domínguez VIA, Morales AE, Sánchez Torres JE,
Robles JL y Mendoza VN.**

por su ponencia, en formato Cartel, titulada:

**SUPLEMENTACIÓN DE ZINC ORGÁNICO Y CLORHIDRATO
DE ZILPATEROL EN OVINOS EN ENGORDA 1: EFECTOS EN
EL CRECIMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL.**


Independiente del Comité Organizador
Dr. Cesar Augusto Méndez Escobar





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Otorgan la presente

Constancia

A: **M. Guerrero Bárcena, I.A. Domínguez Vara, E. Morales Almaráz, J.E. Sánchez Torres, L. Robles Jimenez, N. Mendoza Velázquez.**

POR SU PARTICIPACIÓN COMO PONENTE CON EL TEMA

SUPLEMENTACIÓN DE ZINC ORGÁNICO Y CLORHIDRATO DE ZILPATEROL EN OVINOS EN ENGORDA 1: EFECTOS EN EL CRECIMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE LA CANAL

XXVI REUNIÓN INTERNACIONAL SOBRE PRODUCCIÓN DE CARNE Y LECHE EN CLIMAS CÁLIDOS

REALIZADO EN MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, LOS DÍAS 6 Y 7 DE OCTUBRE DE 2016.


Dr. Roberto Soto Ortiz
Director del ICA-UABC


Dr. Miguel Cervantes Ramírez
Presidente Comité Organizador



52
RNIP

Querétaro
2016

LII Reunion Nacional de Investigación Pecuaria
del 30 noviembre al 2 de diciembre del 2016

**El Comité Organizador de la
LII Reunión Nacional de Investigación Pecuaria**
otorga la presente

Constancia

a

Guerrero BM, Domínguez VIA, Morales AE, Sánchez Torres JE,
Robles JL y Mendoza VN.

por su ponencia, en formato Cartel, titulada:

**SUPLEMENTACIÓN DE ZINC ORGÁNICO Y CLORHIDRATO
DE ZILPATEROL EN OVINOS EN ENGORDA 2: EFECTOS EN
LA CALIDAD DE LA CARNE.**

Vicepresidente del Comité Organizador
Dr. Cesar Augusto Mejia Guadarrama

